

Universidad Pública de Navarra

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
AGRÓNOMOS



*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN GOI MAILAKO  
ESKOLA TEKNIKO*

# EVALUACIÓN DE DISTINTOS COMPOST (INDUSTRIAL Y DOMÉSTICO) COMO INGREDIENTE DE SUSTRATO Y LA ACCIÓN DE LAVADO SOBRE LOS MISMOS EN PENSAMIENTO



Presentado por

MARIA ARANTZAZU OLLO ALCASENA *(k)*

*aurkeztua*

INGENIERO AGRÓNOMO

*NEKAZARITZA INGENIARITZA*

Pamplona, 28 de marzo de 2014  
*Iruñea, 2014ko Martxoaren 28an*



“LA VIDA ES AQUELLO QUE TE VA SUCEDIENDO MIENTRAS TE EMPEÑAS EN HACER OTROS PLANES”

(JOHN LENNON)

“NO PERMITAS QUE NADIE TE DIGA QUE ERES INCAPAZ DE HACER ALGO, NI SIQUIERA YO, SI TIENES UN SUEÑO DEBES CONSERVARLO. SI QUIERES ALGO SAL A BUSCARLO, Y PUNTO. LA GENTE QUE NO LOGRA CONSEGUIR SUS SUEÑOS SUELEN DECIRLES A LOS DEMÁS QUE TAMPOCO CUMPLIRÁN LOS SUYOS”

(EN BUSCA DE LA FELICIDAD)

“SI NO ESTÁS PRESENTE DURANTE MI LUCHA, NO ESPERES ESTAR PRESENTE DURANTE MI ÉXITO”

(WILL SMITH)

Francesco STORINO e Ignacio IRIGOYEN IRIARTE, del Departamento de Ciencias del Medio Natural y Producción Agraria de la Universidad Pública de Navarra.

CERTIFICAN: Que el presente Trabajo de Fin de Carrera titulado "Evaluación de distintos compost (industrial y doméstico) como ingrediente de sustrato y la acción de lavado sobre los mismos en pensamiento", elaborado por María Arántzazu Ollo Alcasena, ha sido realizado bajo su dirección.

Para que así conste, firma el presente en Pamplona a 28 de Marzo de dos mil catorce.

Fdo: Francesco STORINO

Fdo: Ignacio IRIGOYEN IRIARTE

## RESUMEN

---

El presente trabajo evalúa el efecto del compost industrial y doméstico como ingrediente de sustrato. Se han utilizado 4 tipos de compost: uno comercial, otro formado por residuos vegetales y dos domésticos con residuos cárnicos (cada uno con distintas proporciones de estructurante). Se realizaron los distintos tratamientos mezclando cada compost (al 25 y 75 % v/v) con sustrato base obtenido con turba y perlita (proporción 3:1 v/v). El sustrato base se empleó puro como tratamiento de control. Dos de los compost con mayor conductividad eléctrica (CE) se han lavado y se ha medido la CE de los lixiviados así como su composición (incluyendo metales pesados) (análisis ICP-OES). Se han transplantado las plantas ornamentales (*Viola x wittrockiana*) a cada una de las macetas, habiendo 4 réplicas por tratamiento (44 macetas en total). Durante el ensayo se ha medido la altura, número de hojas y flores, y diámetro de las flores. Al final del ensayo se han cosechado las plantas y se ha medido el índice SPAD, así como peso de hojas, flores y de la planta entera. En general, el compost doméstico se puede aplicar a dosis altas sin ningún efecto negativo sobre el rendimiento, mientras que el compost industrial puede dañar al cultivo al aplicarlo a dosis tan altas. El lavado sirvió para disminuir la CE e hizo que los niveles de metales pesados fuesen bajos. En términos de crecimiento, se observaron diferencias significativas en la precocidad de floración. Además, se puede decir que la mezcla de compost doméstico que contiene residuos cárnicos produce un producto final de calidad, que puede sustituir a la turba. Así, estos composts utilizados se convierten en una alternativa al uso de la turba (material no renovable) y sirven para dar salida a determinados residuos.

**Palabras Clave:** biorresiduos, compost, sustrato, medio de cultivo, lavado, ornamental, *Viola x wittrockiana*, cultivo en maceta

**Keywords:** biowaste, compost, substrate, growing media, leachate, ornamental, *Viola x wittrockiana*, potted crop

# LABURPENA

---

Lan honetan erabilitako konpostak etxean eta industrian du jatorria. Hauek sustratu bezala erabili dira, lurrik gabe. Helburua beraz, hauen egokitasuna aztertzea izan da. Osotara, lau konpost erabili dira: komertziala, etxe hondakinez osatutakoa eta animalia hondakinekin nahasitakoa (horrelako bi) eta landare hondakinez osatutakoa. Hauetaz gain, turba eta perlitaz (3:1 b/b) osatutako "Kontrol" deritzon beste bat. Ikerketa hasi baino lehen, oinarritzko lau konposten ezaugarriak aztertu dira, eta konduktibitate elektrikorik altuena duten biek beste bi tratamendu osatu dira. Hauek garbituak izan dira urarekin, eta lortutako likidoaren ezaugarriak (konduktibitate elektrikoa elementuen osaera, metal astunak barne) aztertu dira. Guzti hauetan, konpostaren bi proportzio ezberdin erabili dira: %25 eta %75a (b/b), eta falta dena turba eta perlitarekin (3:1 b/b) osatu da. Garbitutako likidoaren osaera aztertzeko ICP-OES teknika erabili da. Azkenean, 11 tratamendu ezberdin sortu dira eta horiekin 4 erreplika, horrela, 44 lorontzi osatu dira. Lorontzi guzti horietan *Viola x wittrockiana* landareak birlandatu dira. Ikerketa honek hilabete bat eta zertxobait gehiago iraun du eta denbora horretan zehar honakoak aztertu dira: altuera, hosto eta lore kopurua eta loreen diametroa. Denbora hau pasata hostoetan SPAD indizea neurtu da eta landare eta hostoen pisua ere bai. Orokorrean, etxe-konposta dosi altuetan erabili daitekeela esan daiteke, landareen hazkundean inolako eragozpenik sortu gabe. Konpost industriala ordea, dosi altuetan landarea kaltetu dezake, nahiz eta lan honetan ez den horrelakorik gertatu. Garbituak izan diren bi tratamenduetan konduktibitate elektrikoa jaitea lortu izan da, landareen hazkuntzarako egokiak diren balioetara ailegatuz. Metal astunen kontzentrazioa ere nabarmenki jaitsi da. Hazkuntzari dagokionez, ezberdintasunak ikusi dira loratzearen goiztiartasunari dagokionez. Beraz, animalia hondakinak dituen etxe-konpostak, kalitatezko sustratua sortzen duela esan daiteke, eta turbaren ordezkari ona izan daitekeela ere. Hortaz, lan honetan erabili diren konpostak berriztagarria ez den turba ordezkatzeko balio du eta sortutako hainbat hondakinak berrerrabiltzeko ere bai.

# TABLA DE CONTENIDOS

---

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES .....	5
2.1. Compost .....	5
2.2. Cultivos con compost como sustrato .....	11
2.3. El cultivo ornamental: Pensamiento .....	16
2.4. La salinidad, alcalinidad y presencia de metales pesados en los sustratos de cultivo... 18	
3. OBJETIVOS .....	22
4. MATERIAL Y MÉTODOS .....	23
4.1. Esquema del experimento .....	23
4.2. Materiales utilizados y descripción de los tratamientos .....	23
4.3. Lavado de sustratos .....	25
4.4. Parámetros medidos durante el ensayo y al final del mismo .....	28
4.5. Tratamiento estadístico.....	29
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
5.1. Lavado de sustratos .....	29
5.2. Respuesta del pensamiento ( <i>Viola x wittrockiana</i> ) a los distintos tratamientos .....	34
6. CONCLUSIONES.....	40
7. BIBLIOGRAFÍA .....	41
ANEXOS.....	46
1. Estadillo de lavado .....	46
2. Parámetros destructivos - cosecha final .....	46
3. Parámetros no destructivos e intermedios -cosecha final .....	47

# ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

---

## TABLAS:

	<i>Página</i>
<b>Tabla 1.</b> Composición de la bolsa tipo de los residuos de competencia municipal, valores medios de España y de Pamplona.....	<b>6</b>
<b>Tabla 2.</b> Efectos de la materia orgánica en los suelos cultivados.....	<b>7</b>
<b>Tabla 3.</b> Características de diferentes materiales y su relación con el proceso de compostaje y la calidad del producto final.....	<b>8</b>
<b>Tabla 4.</b> Intervalos óptimos para las propiedades físico-químicas y químicas de los sustratos de cultivo orgánicos.....	<b>14</b>
<b>Tabla 5.</b> Requerimientos mínimos de calidad de los composts en España.....	<b>20</b>
<b>Tabla 6.</b> Límites de concentración de metales pesados, mg/kg de materia seca (RD 865/2010)..	<b>22</b>
<b>Tabla 7.</b> Características físicas y químicas de los compost utilizados en el ensayo.....	<b>24</b>
<b>Tabla 8.</b> Medias y desviaciones típicas conductividad eléctrica (CE) inicial, conductividad eléctrica final, eficiencia de lavado (EL), agua de riego total empleada y líquido drenado de los tratamientos T1-75L (compost industrial) y P2E1-75L (compost doméstico).....	<b>32</b>
<b>Tabla 9.</b> Medias y desviaciones típicas de componentes químicos en los tratamientos T1-75L (compost industrial) y P2E1-75L (compost doméstico) del líquido drenado acumulado tras el lavado. Contenido los principales elementos (g/maceta) al inicio del ensayo y la variación (%) respecto al lavado.....	<b>33</b>
<b>Tabla 10.</b> Respuesta del pensamiento ( <i>Viola x wittrockiana</i> ) a los distintos tratamientos como medios de cultivo.....	<b>35</b>

## FIGURAS:

	<i>Página</i>
<b>Figura 1.</b> Distribución de la producción de flores y plantas ornamentales.....	<b>16</b>
<b>Figura 2.</b> Producción de planta ornamental en porcentaje por comunidades autónomas en el año 2011.....	<b>16</b>
<b>Figura 3.</b> Disposición de las macetas en el invernadero en las instalaciones de la Universidad Pública de Navarra.....	<b>23</b>



<b>Figura 4.</b> Macetas de 2 litros con compost y sustrato base introducidas en recipientes tipo "Mitscherlich" (blanco) junto con el sistema de recolección del líquido drenado (negro).....	<b>26</b>
<b>Figura 5.</b> Conductivímetro portátil "Hanna DIST 6".....	<b>26</b>
<b>Figura 6.</b> Aparato de medida de metales pesados y microelementos (P, K, Mg, Ca, y S): IRIS INTREPID II XDL THERMO y medidor de C y N: LECO TRUSPEC CN empleados.....	<b>28</b>
<b>Figura 7.</b> Conductividad eléctrica (mS/cm) en los tratamientos T1-75L (compost industrial) y P2E1-75L (compost doméstico) del líquido drenado tras el lavado. El porcentajes corresponde al descenso de la CE tras el lavado.....	<b>30</b>
<b>Figura 8.</b> Conductividad eléctrica (mS/cm) en los tratamientos T1-75L (compost industrial) y P2E1-75L (compost doméstico) del líquido drenado acumulado tras el lavado.....	<b>31</b>
<b>Figura 9.</b> Evolución de la altura de las plantas durante el ensayo (tratamientos T1, CE1 y Control).....	<b>37</b>
<b>Figura 10.</b> Evolución de la altura de las plantas durante el ensayo (tratamientos P2E1, P2E2 y Control).....	<b>37</b>
<b>Figura 11.</b> Evolución del número de flores durante el ensayo (tratamientos T1-CE1).....	<b>38</b>
<b>Figura 12.</b> Evolución del número de flores durante el ensayo (tratamientos P2E1, P2E2 y Control).....	<b>38</b>
<b>Figura 13.</b> Evolución del número de hojas durante el ensayo (tratamientos T1, CE1 y Control)....	<b>39</b>
<b>Figura 14.</b> Evolución del número de hojas durante el ensayo (tratamientos P2E1, P2E2 y Control).....	<b>39</b>

# ABREVIATURAS Y SIGLAS

---

**ANOVA:** análisis de la varianza

**BOE:** Boletín Oficial del Estado

**CE:** conductividad eléctrica

**CIC:** capacidad de intercambio catiónico

**CEBAS-CESIC:** Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura- Consejo superior de investigaciones científicas

**DIF:** diferencia de temperaturas diurnas y nocturnas

**EDAR:** Estación depuradora aguas residuales

**EL:** eficiencia de lavado

**FEPEX:** Federación Española de Asociaciones de Productores Exportadores de Frutas, Hortalizas, Flores y Plantas Vivas,

**FORM:** fracción orgánica residuos municipales

**ICP-OES:** Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry

**MAGRAMA:** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

**MO:** Materia orgánica

**m.s.:** materia seca

**PF:** peso fresco

**PS:** peso seco

**p.s.:** peso seco

**RAE:** Real Academia Española

**RD:** Real Decreto

**RSU:** Residuos sólidos urbanos

**S-N-K:** Student-Newman-Keuls

# 1. INTRODUCCIÓN

El compost, es la enmienda orgánica obtenida a partir del tratamiento biológico, aerobio y termófilo de residuos biodegradables recogidos separadamente.

En la actualidad, se promueve la gestión de residuos orgánicos para así disminuir la materia orgánica llegada a vertederos y favorecer la fijación de carbono al aplicar compost en el suelo (Moreno y Moral, 2008). Ésta es una práctica que impulsa tanto la Unión Europea como el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

El compost de origen municipal, se ha convertido en un tipo de sustrato idóneo para la producción de planta en invernadero y en viveros (Zhang *et al.*, 2004). Asimismo, su utilización proveniente de la fracción orgánica de residuos municipales (FORM) como fertilizante, es una práctica inocua y segura ampliamente implantada en la unión europea y que presenta gran cantidad de ventajas desde un punto de vista económico y medioambiental (da salida a estos residuos). Además de como fertilizante, también se puede utilizar como sustrato o componente de sustrato, o como enmienda para mejorar alguna de las características del suelo (Moreno y Moral, 2008).

Hoy día, uno de los materiales más extendidos para ser utilizado como sustrato es la turba (costoso según su procedencia), y el compost se presenta como alternativa a este material no renovable. No obstante, la utilización de este tipo de compost (municipal) como material en el uso de sustratos de cultivo, genera ciertas dudas por sus características. Esto ocurre especialmente cuando provienen de sistemas de compostaje en los que se incorporan restos de alimentos entre los que se incluyen alimentos de origen animal (carne y/o pescado). Además, suele tener dos posibles limitaciones principales para su uso: escasa capacidad de aireación (lo que posibilita la aparición de anoxia) y alto contenido en sales (alta conductividad eléctrica, CE) y/o metales pesados.

Por estas dos razones, se han buscado distintas alternativas, como la de mezclarlo con otros materiales orgánicos más porosos que facilitan la aireación (turba, fibra de madera, etc.) o el lavado para disminuir la CE (Carrión, *et al.*, 2005; Moreno y Moral, 2008; Fornes *et al.*, 2010).

Este aumento de la conductividad eléctrica en este material, se debe a la descomposición de la materia orgánica en el proceso de compostaje, lo cual aumenta la fracción de los elementos en forma soluble. El problema de la salinidad es especialmente importante en las fases iniciales donde las plantas son más sensibles (Carrión *et al.*, 2005). Se establecen como valores máximos (Ansorena, 1994; Burés, 1997) de la conductividad eléctrica de 2 dS/m para los sustratos destinados a plantas de vivero (de poco tamaño) y de 3,5 dS/m para los sustratos dedicados al cultivo de las plantas adultas en general.

La influencia de la sal en los cultivos varía según: el estado de desarrollo del cultivo cuando aumenta la salinidad, la salinidad final, la parte del cultivo que se aprovecha, tipo de cultivar, etc (Del Amor *et al.*, 2001).

No obstante, hay que resaltar los beneficios que puede aportar el uso del compost, que son (en gran parte gracias a su contenido en materia orgánica): *físicos*; menor compactación, aireación, estabilidad de los agregados, retención y almacenamiento de agua, infiltración y erosión hídrica del suelo, *químicos*; capacidad de intercambio catiónico, regulación del pH, aporte de macro y micronutrientes, y *biológicos*; favorece el equilibrio de los organismos del suelo (Moreno y Moral, 2008), aumento de la diversidad y

cantidad de microorganismos (Plana, 2011), control de patógenos vegetales (Moreno y Moral, 2008), disminución de la viabilidad de semillas durante la fase termófila, etc (De las Heras *et al.*, 2003).

Además de los ya mencionados, su uso también puede presentar una serie de inconvenientes: producción de lixiviados, presencia de metales pesados en el producto final, dependencia del clima (a pequeña escala y si está al aire libre), etc. Todo ello, condiciona su posterior uso y su adecuación a unos u otros cultivos, como podría ser el cultivo ornamental.

Tanto en España como en el sur de Europa, el sector de planta ornamental es muy importante en sus múltiples variantes (maceta, tiesto, etc.) debido a las condiciones climáticas (Lazcano, y Domínguez, 2010). Las plantas ornamentales tienen especiales exigencias ambientales, hídricas y de protección sanitaria durante los primeros estados de desarrollo (Moreno y Moral, 2008). Por ello, surge la necesidad de aumentar la eficiencia en el uso de agua y nutrientes en este sector con el fin de minimizar insumos (Lazcano y Domínguez, 2010).

Es habitual que este tipo de cultivos se hagan sin suelo (cultivos hidropónicos), es decir, en un sistema de cultivo en el que la planta desarrolla su sistema radical en un medio (sólido o líquido) confinado en un espacio limitado y aislado, fuera del suelo (Mendoza, 2010).

Para la realización de los ensayos, la elección de la especie cultivada se hizo sobre una de las especies de planta ornamental más relevantes, el pensamiento (*Viola × wittrockiana*), una planta perenne de climas templados (Zawadzinska y Janicka, 2007). Su ciclo es corto y tolera el frío, por lo que es apta en lugares de primaveras y noches de verano frescas (Rajabalipour *et al.*, 2013). También es apta en invernaderos fríos y es una alternativa para los meses otoñales y de primavera (Antoniazzi, 2007).

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Compost

#### 2.1.1. Generalidades

El compost según la RAE ([www.rae.es](http://www.rae.es)) se define como el "humus obtenido por descomposición bioquímica en caliente de residuos orgánicos". Según la Ley 22/2011 se define como "enmienda orgánica obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio y termófilo de residuos biodegradables recogidos separadamente. No se considerará compost el material orgánico obtenido de las plantas de tratamiento mecánico biológico de residuos mezclados, que se denominará material bioestabilizado".

Para obtenerlo ha habido previamente un proceso de compostaje. Este proceso se ha realizado desde que la humanidad existe, concretamente con el desarrollo de la agricultura.

La importancia de realizar compost radicaba en el querer aprovechar los nutrientes de tejidos animales y vegetales, así como en dar salida a los residuos formados. La forma de dar salida a estos residuos era muy diversa: se enterraban, se quemaban, se utilizaban como alimento para ganado o se acumulaban para que se fuesen descomponiendo y posteriormente ser utilizados en el campo entre otros usos.

Con el aumento de la población, el problema de los residuos se empieza a gestionar de manera que éstos son recogidos con el fin de evitar problemas sanitarios. Conforme ha ido avanzando el sector industrial

también ha ido aumentando el uso de fertilizantes minerales, dejando de lado los residuos orgánicos para este fin, convirtiéndose éstos en un “problema” a resolver. Por ello, en la actualidad, se promueve la gestión de los residuos orgánicos y así disminuir la materia orgánica llegada a vertederos y favorecer la fijación de carbono al aplicar compost en el suelo (Moreno y Moral, 2008).

Además, los elevados costes económicos de otros medios de gestión de residuos orgánicos (vertido, incineración, etc.) hacen recomendable el uso de compostaje como alternativa más rentable y con tecnología más sencilla de aplicar (Criner *et al.*, 1995; Eweis *et al.*, 1999; Mendoza, 2010).

### 2.1.2. Importancia del compostaje en la gestión de residuos orgánicos.

Al hilo de lo mencionado anteriormente, y debido a la gran cantidad de residuos que se generan en el día a día, surge hace ya mucho tiempo la necesidad de gestionar y dar salida a los mismos.

Según la Ley 22/2011 de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (BOE nº 181 de 29/7/2011) un *biorresiduo* es: aquel residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de venta al por menor; así como, residuos comparables procedentes de plantas de procesado de alimentos. Para entender mejor la importancia de estos residuos en la Tabla 1 se muestra el porcentaje de los mismos respecto al total de los residuos.

**Tabla 1.** Composición de la bolsa tipo de los residuos de competencia municipal, valores medios de España (MAGRAMA, 2011) y de Pamplona (Mancomunidad de la Comarca de Pamplona, 2010).

España		Pamplona			
Materiales	%	2008		2009	2010
		Materiales	%		
<i>Materia Orgánica</i>	42,7	<i>Materia orgánica</i>	42	40	43
Papel y cartón	18,7	Papel y cartón	21	20	19
Envases ligeros	11,4	Vidrio	10	10	9
Vidrio	6,9	Plástico	6	8	7
Resto	17,6	Objetos voluminosos	4	3	4
		Metales	2	3	3
		Textiles	2	3	3
		Briks	1	1	1
		Otros productos	12	13	11

### 2.1.3. Importancia de la materia orgánica

La materia orgánica (MO), puede definirse como la totalidad de sustancias orgánicas presentes en el suelo que proceden de restos de plantas y animales en diferentes estados de transformación, exudados radicales, aportes orgánicos externos (estiércol, compost) y productos xenobióticos (algunos pesticidas), así como los organismos edáficos (biomasa del suelo) y productos resultantes de su senescencia y metabolismo (De las Heras *et al.*, 2003).

En los suelos de cultivo, representa un sistema complejo, heterogéneo (Moreno y Moral, 2008) –debido a la enorme diversidad de sus constituyentes–, y dinámico ya que está en continua evolución (Labrador *et al.*, 1993).

No obstante, hay que tener en cuenta la cantidad y calidad de la materia orgánica para entender mejor su comportamiento en el sistema agrícola. Debido a sus múltiples beneficios es de vital importancia para el buen funcionamiento del suelo. En la Tabla 2 se muestra un resumen de las propiedades, muchas de las cuales son a su vez las que se le atribuyen al compost (Moreno y Moral, 2008).

**Tabla 2.** Efectos de la materia orgánica en los suelos cultivados (Urbano, 2001).

<b>Propiedades del suelo</b>	<b>Efectos de la materia orgánica humificada</b>
<i>FÍSICAS</i>	Aumento de la capacidad calorífica Suelos más calientes en primavera Reducción de las oscilaciones térmicas Agregación de partículas elementales Da soltura a suelos arcillosos y cohesión a los arenosos Aumenta la estabilidad estructural Aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa Suelos menos encharcadizos Facilita el drenaje Reduce la erosión Mejora el balance hídrico
<i>QUÍMICAS</i>	Aumento del poder tampón Regula el pH Aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) Mantiene los cationes en forma cambiante Forma fosfohumatos Forma quelatos Mantiene las reservas de nitrógeno
<i>BIOLÓGICAS</i>	Favorece la respiración radicular Favorece la germinación de las semillas Favorece el estado sanitario de órganos subterráneos Regula la actividad microbiana Fuente de energía para los microorganismos heterótrofos El CO <sub>2</sub> desprendiendo favorece la solubilización de compuestos minerales Contrarresta los efectos de algunas toxinas Modifica la actividad enzimática

Propiedades del suelo	Efectos de la materia orgánica humificada
	Activa la rizogénesis
	Mejora la nutrición mineral de los cultivos

### 2.1.4. Tipos de compost según su origen y sus características

El tipo de materia orgánica condiciona el proceso de compostaje, por ello, es necesario conocer las características de los residuos orgánicos, para valorar la idoneidad de su uso posterior. En la Tabla 3 se muestra un resumen de los principales residuos orgánicos.

**Tabla 3.** Características de diferentes materiales y su relación con el proceso de compostaje y la calidad del producto final (Moreno y Moral, 2008).

	Densidad	Porosidad	Humedad	Materia Orgánica	Biodegradabilidad	C/N	Contaminantes	Patógenos	Cómo afecta a:	
									Proceso	Calidad Producto
<i>RSU</i>	m	a	m	m	m	m	a	a	Control difícil Ocupación de espacio Desgaste de maquinaria Cantidad elevada de rechazo Baja eficiencia	Mala
<i>FORM</i>	a	b	a	a	a	m-b	b	a	Necesidad de material complementario Necesidad de correcto mezclado Necesidad de control estricto Posibles problemas con lixiviados	Buena
<i>Lodos EDAR urbana</i>	a	b	a	a	a-m <sup>1</sup>	b	a	a	Necesidad de material complementario Necesidad de correcto mezclado Necesidad de control estricto Posibles problemas por emisiones de amoníaco	Regular**
<i>Lodos EDAR industrial</i>	a	b	a	a-b <sup>1</sup>	a-m <sup>1</sup>	b-m <sup>2</sup>	a-b <sup>2</sup>	a-m <sup>2</sup>	Necesidad de material complementario Necesidad de correcto mezclado Necesidad de control estricto Todo muy dependiente del tipo de industria	Buena**
<i>Industria papelera</i>	a	b	m	a-b <sup>1</sup>	b	a	m	b	Necesidad de material complementario	Regular
<i>Industria cárnica</i>	a	b	a	a	a	b	b	a	Necesidad de material complementario	Buena

	Densidad	Porosidad	Humedad	Materia Orgánica	Biodegradabilidad	C/N	Contaminantes	Patógenos	Cómo afecta a:	
									Proceso	Calidad Producto
									Necesidad de correcto mezclado Necesidad de control estricto Posibles problemas por emisiones de amoniaco Posibles problemas con lixiviados	
<i>Industria láctica</i>	a	b	a	a	a	b	b	b	Necesidad de material complementario Necesidad de correcto mezclado Necesidad de control	Buena
<i>Restos vegetales</i>	b	a	b	a	b	a	b	b	Lentitud Baja necesidad de control	Buena
<i>Estiércol</i>	a-m <sup>3</sup>	a-b <sup>3</sup>	a-m	a	m-b	m <sup>3</sup>	b	a	Todo muy dependiente del tipo de granja y su manejo Posibles problemas con lixiviados	Buena

\* a: alto; m: medio; b: bajo

\*\* 1: depende del tratamiento; 2: depende del origen de las aguas; 3: depende del tipo y manejo de la explotación

RSU: residuos sólidos urbanos; FORM: fracción orgánica residuos municipales; EDAR: estación depuradora aguas residuales

### 2.1.5. Utilidades del compost

Las utilidades del compost son múltiples. Una de ellas es la de aplicarlo como *fertilizante*, para ello es necesario conocer los componentes químicos que lo forman y así evaluar la cantidad y calidad de los elementos incorporados (Moreno y Moral, 2008). No obstante, el Real Decreto 506/2013 sobre productos fertilizantes es el que regula qué características mínimas se le exigen. También es usual hablar de *abonos órgano-minerales*, aquellos en los que se combina el compost con fertilizantes minerales para que corrijan y/o complementen al compost (Vaughan *et al.*, 2011).

Otro de los usos es el de utilizarlo como *enmienda* (mejorador del suelo). Entre los aportes que se realizan mediante esta vía está el de añadir materia orgánica por sus múltiples beneficios, como la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Además, puede utilizarse para *corregir el pH*, gracias al aumento de la MO debido a su poder tampón.

Por último, está el uso como *sustrato*, que suele tener dos limitaciones. La primera de ellas es la escasa capacidad de aireación que tiene el compost, lo que posibilita la aparición de anoxia, y la segunda, el alto contenido en sales en la mayoría de los casos. Por estas dos razones, se han buscado distintas alternativas, como la de mezclarlo con otros materiales orgánicos más porosos como la turba, fibra de madera, etc. (Moreno y Moral, 2008).



## 2.1.6. Beneficios y posibles riesgos del compostaje

Por las razones que se han mencionado anteriormente, el compost es un producto de gran utilidad. Por ello, hay que tener en cuenta los beneficios que derivan de su uso y aplicación, así como los riesgos si el proceso no se lleva a cabo de forma adecuada:

### Beneficios

- Aumenta la materia orgánica del suelo (humus).
- Mejora de las propiedades del suelo: *físicas*; compactación, aireación, estabilidad de los agregados, retención y almacenamiento de agua, infiltración y erosión hídrica del suelo, *químicas*; capacidad de intercambio catiónico, regulación del pH, aporte de macro y micronutrientes, y *biológicas*; favorece el equilibrio de los organismos del suelo (Moreno y Moral, 2008), aumento de la diversidad y cantidad de microorganismos (Plana, 2011), control de patógenos vegetales (Moreno y Moral, 2008), disminución de la viabilidad de semillas durante la fase termófila, etc (De las Heras *et al.*, 2003).
- Facilita el manejo y almacenamiento de subproductos orgánicos, debido a la reducción de peso, volumen, contenido de humedad, y actividad biológica. Así, se reducen los problemas de olores y moscas, y puesto que se puede almacenar, el compost puede ser aplicado en cualquier época del año y en múltiples formas (De las Heras *et al.*, 2003).

### Riesgos

- Posible germinación de plantas de semillas no deseadas que en el proceso de compostaje no han sido inactivadas.
- Aparición de olores en mayor medida en las fases iniciales del proceso.
- Producción de lixiviados, especialmente al principio del proceso que es cuando el contenido de humedad es mayor, y cuando se alcanzan mayores temperaturas.
- Dependiendo del origen de los residuos orgánicos, frecuentemente tras el proceso de compostaje, el producto final suele tener un alto contenido en metales pesados. Este es uno de los principales problemas que hay que abordar especialmente si el compost va a ser utilizado en agricultura.
- En relación a los metales pesados, hay que tener en cuenta que tras sucesivas aplicaciones aumenta la concentración de los mismos, y aumenta la probabilidad de que sea tóxico para los vegetales.
- Dependencia del clima (si está al aire libre): si el clima es muy frío, el proceso se alarga debido a las bajas temperaturas, e incluso, a veces, se para. Las lluvias excesivas también pueden dar lugar a problemas de encharcamientos y de anaerobiosis si no hay un buen drenaje y una inclinación adecuada del terreno. Esta dependencia ocurre en los procesos que se llevan a cabo a pequeña escala (doméstica), no en procesos de gran envergadura.

## 2.2. Cultivos con compost como sustrato

### 2.2.1. Generalidades

El Real Decreto 865/2010 define como *sustrato de cultivo*: material sólido distinto de suelos «in situ», donde se cultivan las plantas y *componente de sustrato de cultivo* como: material que es adecuado para ser utilizado como ingrediente de un sustrato de cultivo. Asimismo, Moreno y Moral, (2008), lo definen como: cualquier material sólido y poroso diferente del suelo que pueda actuar como anclaje a las raíces de la planta y permita la circulación del agua y los gases. Puede ser mineral u orgánico, y con (o sin) actividad química y biológica. A su vez, éste, puede ser natural o de síntesis y puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición vegetal (Climent *et al.*, 1996).

Por otro lado, se entiende como *sustrato orgánico*: aquellos materiales no inertes, que están sufriendo transformaciones; cambios en las relaciones C/N o O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, actividad enzimática, actividad supresora frente a patógenos, influencia sobre otras poblaciones microbianas, etc (Labrador, 2001).

Sus aplicaciones van desde servir como fuente de nutrientes, como cubierta para mantener la humedad de los suelos, como anclaje, hasta ser útil como producto supresor de enfermedades vegetales. Además, el compost tiene múltiples usos, entre los que se encuentra el de utilizarlo como sustrato o como componente de sustrato. Este uso surge como alternativa al cultivo convencional de flores y plantas hortícolas sobre suelos naturales, degradados o contaminados por cultivos repetitivos y el empleo masivo de fertilizantes químicos y plaguicidas. Otra de las razones por la que el compost cada vez cobra más importancia en la utilización como sustrato, es la de uso como sustituto de materiales no renovables y cuya extracción es muy dañina para ecosistemas débiles (como el caso de la turba) (Moreno y Moral, 2008). En núcleos urbanos, por ejemplo, el compost producido a partir de residuos orgánicos (domésticos, de jardines, etc.) podría ser una alternativa a la utilización de turba (Boldrin *et al.*, 2010).

Pese a los múltiples beneficios del compost, hay que resaltar que por norma general y salvo contadas excepciones, como componente único, no puede ser utilizado como sustrato hortícola. Las razones son dos:

- La primera de ellas, y más limitante, es la escasa capacidad de aireación que tienen algunos compost. Esto provoca que el compost sea muy asfijante para el cultivo, ya que éste soporta en las horas o días siguientes a la aplicación de cualquier riego una saturación de agua. Así, se produce la anoxia en el medio radical, lo que hace inviable un correcto funcionamiento.
- La segunda, es la elevada salinidad resultante del compostaje. En este proceso, se produce una acumulación de sales procedentes de la materia orgánica descompuesta lo que provoca el aumento de la conductividad eléctrica (CE).

Por estas dos razones, el compost puede utilizarse mezclado con otros materiales orgánicos más porosos. Existen numerosos ensayos al respecto y en la mayoría de ellos se obtiene que el sustrato con un 20-25 % v/v (máximo) de compost con material poroso, supera el rendimiento productivo respecto al material poroso solo (Moreno y Moral, 2008). Para remediar el problema de la salinidad se puede utilizar el compost mezclado con otros materiales o lavarlo (Carrión *et al.*, 2005; Fornes *et al.*, 2010).

### 2.2.2. El compost como sustrato de cultivo

En la actualidad hay una mayor preocupación por que la producción de plantas y animales sea respetuosa con el medio ambiente, lo que ha incrementado los estudios respecto al problema de la producción de residuos y sus posibles usos (Lazcano y Dominguez, 2010). En los siguientes apartados se describen algunos de los usos a gran escala del compost en agricultura.

Uno de los usos del compost es el de introducirlo en cultivos hidropónicos, es decir, en cultivos sin suelo junto con otros materiales inertes. Esto se recomienda en aquellos casos en los que el compost presente baja salinidad y elevada porosidad.

También puede ser apto para el cultivo de plántulas leñosas, aunque éste presenta una serie de particularidades; debido al mayor tamaño de los mismos, la altura y volumen, permiten un mayor margen de actuación respecto al inconveniente anterior mencionado.

Por último, hay que mencionar en uso del compost en semilleros de plantas hortícolas y ornamentales en macetas. En este tipo de cultivos, las exigencias ambientales, hídricas y de protección sanitaria son altas. Debido a la gran importancia que tiene este sector en España (en el año 2003 se produjeron más de 2.958 millones de plántulas de especies hortícolas) hay que tener en cuenta que el sustrato que se utiliza sea de calidad.

A modo de conclusión, se puede decir que no es fácil realizar con éxito una sustitución total de la turba (principal componente de sustrato utilizado en la actualidad) por compost en los sustratos para semilleros hortícolas u ornamentales, presentándose la mezcla de ambos materiales como la opción más adecuada. Por ello, es muy importante determinar las propiedades de la mezcla resultante, y ver qué proporción es la idónea (Moreno y Moral, 2008).

#### El compost de origen animal

La presencia de materiales de origen animal como materia prima para la realización de compostaje doméstico es hoy en día objeto de debate, pese a que se están obteniendo buenos resultados (Vidussi y Rynk, 2001) si se gestiona de forma adecuada (Trémier, 2012).

El origen de este compost puede estar en restos de animales muertos, carnicerías, domicilios, etc., pudiendo ser éstos utilizados para usos agrícolas (Hansen, 2002). Así, el compostaje doméstico o industrial se puede considerar una alternativa de este tipo de materia orgánica. Para ello, hay que garantizar la eficacia del proceso de compostaje, ya que su uso es a menudo criticado debido a algunos posibles riesgos durante el proceso y la supuesta mala calidad del compost producido. Su uso en la producción de cultivos (como sustrato) o en paisajismo y jardinería también ha suscitado incertidumbre debido a su supuesta fitotoxicidad.

No obstante, si el proceso se lleva de forma adecuada, este compost se considera de alta calidad, aunque algunos autores han observado que hay casos puntuales en los que esto no es cierto; como en los casos en los que tiene una alta salinidad (Hicklenton *et al*, 2001; Herrera *et al*, 2008), valores de pH altos (Ansorena, 2011; Dimambro *et al*, 2007) y alto contenido de metales pesados (Vázquez *et al*, 2012; Zheljazkov y Warman, 2004).

### 2.2.3. El compost como sustrato en cultivo ornamental en maceta

En los cultivos de plantas ornamentales en maceta no es habitual utilizar únicamente suelo debido al mal comportamiento físico de éste cuando se coloca en un contenedor (maceta) y debido a las barreras de seguridad fitosanitaria impuestas a las importaciones de plantas vivas. Esto ha hecho que crezca la demanda de sustratos alternativos, como lo son los materiales orgánicos (turba *Sphagnum*, compost de diferentes residuos y subproductos orgánicos). No obstante, en España hay una gran dependencia de sustratos preparados con turbas, siendo el origen de éstas foráneo (en la mayoría de los casos), lo que hace que aumente su precio e impacto medioambiental.

Debido al gran uso que se hace de la turba (material no renovable), y para solventar el uso de otro tipo de sustratos que puedan agotarse, existen numerosos estudios sobre el uso de otros materiales orgánicos alternativos. En estos estudios se han obteniendo resultados muy diversos ya que las variables que se estudian son múltiples: origen del compost, proporción de sustratos empleados, planta utilizada, manejo, etc.

En este sentido, el uso de compost cercanos a la zona de uso, aporta múltiples beneficios: se reduce el impacto medioambiental, reporta un beneficio económico y se evita el problema de los hongos asociado a la turba entre otros (Moreno y Moral, 2008).

Para que cumplan las características deseadas, los residuos y subproductos orgánicos han de ser compostados para adecuarlos a fines hortícolas. Sólo aquel compost que esté "maduro" podrá ser utilizado como sustrato (Raviv, 2011). Para estos fines, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2014) ha elaborado una lista de los sustratos de cultivo que pueden ser utilizados clasificados según su origen y por comunidades autónomas. La legislación sobre sustratos de cultivo es la siguiente: en RD 865/2010 y su posterior modificación; el RD 1039/2012, en la que se detallan los "productos orgánicos como sustratos de cultivo o componentes de sustratos de cultivo", que son: compost, compost de restos del cultivo de hongos, compost de estiércol, compost vegetal, corteza de pino envejecida, corteza de pino comportada, corteza de pino esterilizada por aire caliente, fibra o corteza de coco, fibra de madera, turba de *sphagnum*, turba herbácea, vermicompost o humus de lombriz, cáscara de arroz, arcilla, arcilla cocida, arcilla expandida, arcilla granulada, arena y gravillas, arena y gravillas silíceas, arenas y gravillas volcánicas, cerámica triturada, perlita, grava, grava volcánica, recuperado de construcción y demolición, sepiolita, tierra natural, vermiculita, espuma de urea formaldehído y lana mineral granulada.

En la producción de planta ornamental al aire libre, una densidad aparente elevada encarece el proceso de elaboración del sustrato y el transporte una vez que está en el contenedor, pero proporciona estabilidad mecánica al conjunto planta-maceta. Por otro lado, la gran variedad de orígenes de compost hace que la fertilidad asociada sea muy variada y la dinámica de descomposición también, por lo que esto interferiría en programas de abonado. Esta situación se complica más aún cuando el compost es mezclado con otros sustratos (Moreno y Moral, 2008).

Así, la producción de planta ornamental en maceta junto con los sistemas hortícolas, se presenta como uno de los ámbitos de aplicación más importantes del compost como sustrato. A continuación, se describen los factores de los que depende la respuesta de las plantas ornamentales al compost:

1. Las características y propiedades físicas, químicas y biológicas del compost, que a su vez depende de la materia orgánica del mismo y del proceso de compostaje.

2. Conductividad eléctrica del mismo, que en el caso de que sea mayor del óptimo se puede recurrir al lavado.
3. Las exigencias y requerimientos de la especie cultivada: equilibrio *aire: agua*, pH y salinidad en el entorno de la rizosfera.
4. Los tratamientos aplicados al compost con objeto de adecuarlo como sustrato de cultivo.
5. El manejo del sistema utilizado, especialmente la altura o profundidad de la maceta, los programas de riego y fertilización aplicados.

El compost una vez que ha sido utilizado (finalizada su vida útil como sustrato), puede reutilizarse como material orgánico para fertilización de suelos y plantas. Sin embargo, existen una serie de factores limitantes, tales como: presencia de materiales inertes (piedras, gravas, plásticos, etc.), densidad aparente elevada, baja capacidad de retención de agua a bajas tensiones, pH alcalino, salinidad elevada, niveles fototóxicos de macro- y micronutrientes, etc (Moreno y Moral, 2008). A lo que se suma la presencia de lixiviados en el caso de que sea necesario el lavado para su posterior uso.

#### 2.2.4. Características deseables de los compost como sustrato para el cultivo sin suelo

Para el cultivo de plantas se establecen como valores máximos de la conductividad eléctrica de 2 dS/m para los sustratos destinados a plantas de vivero (pequeñas) y de 3,5 dS/m para los sustratos dedicados al cultivo de las plantas adultas en general (Ansorena, 1994; Burés, 1997). Estos valores de conductividad suelen ser superados en la mayoría de los casos por los compost de diferentes procedencias.

Cuando el compost es utilizado como enmienda o abono orgánico, el volumen que se aplica es muy inferior a cuando se utiliza como sustrato (o componente de sustrato). En este último caso, es posible que se emplee puro o mezclado con otros materiales y ello obliga a aumentar las exigencias en cuanto a calidad (Moreno y Moral, 2008).

#### Características físico-químicas y químicas

Al igual que las propiedades físicas, en la Tabla 4 se muestran aquellos intervalos de las propiedades químicas más significativas.

**Tabla 4.** Intervalos óptimos para las propiedades físico-químicas y químicas de los sustratos de cultivo orgánicos (Moreno y Moral, 2008).

Propiedad	Unidad	Intervalo óptimo
<i>pH (pasta saturada)</i>		5,2-6,3
<i>Conductividad Eléctrica (extracto de saturación)</i>	dm/cm	0,75-3.49
<i>Materia Orgánica total</i>	%	<20
<i>Relación C/N</i>	%	>80

Propiedad	Unidad	Intervalo óptimo
Nutrientes asimilables (extracto de saturación):	-	-
<i>Nitrógeno nítrico</i>	mg/l de extracto	100-199
<i>Nitrógeno amoniacal</i>	mg/l de extracto	0-20
<i>Fósforo</i>	mg/l de extracto	6-10
<i>Potasio</i>	mg/l de extracto	150-249
<i>Calcio</i>	mg/l de extracto	>200
<i>Magnesio</i>	mg/l de extracto	>70
<i>Hierro</i>	mg/l de extracto	0,3-3,0
<i>Manganeso</i>	mg/l de extracto	0,02-3,0
<i>Molibdeno</i>	mg/l de extracto	0,01-0,1
<i>Zinc</i>	mg/l de extracto	0,3-3,0
<i>Cobre</i>	mg/l de extracto	0,001-0,5
<i>Boro</i>	mg/l de extracto	0,05-0,5

Cabe destacar que cuando el origen de los compost son los lodos de depuradora u otros tipos de residuos (los de origen industrial, etc.), existe el riesgo de que haya metales pesados (Ni, Pb, Hg, Cd, etc.), sobre los que la legislación (RD 506/2013) recoge los niveles máximos permitidos. No obstante, las condiciones aeróbicas y de reacción alcalina que suceden en un correcto proceso de compostaje promueven la oxidación de todos estos metales a formas poco solubles y no asimilables para las plantas (Moreno y Moral, 2008).

#### Propiedades biológicas

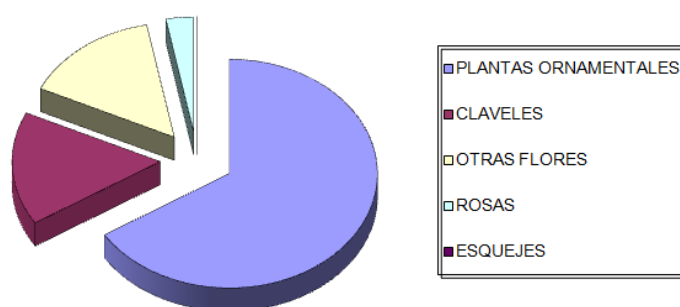
La principal característica que ha de tener el compost utilizado como sustrato es que tenga una alta estabilidad biológica. En caso contrario, la biodegradación continuará dentro de los contenedores (macetas) durante el cultivo. En tal caso, se produciría un fuerte consumo de oxígeno y un ambiente reductor en la rizosfera, inmovilización de N, producción de sustancias fitotóxicas y alteración de las propiedades físicas (debido a la disminución del volumen por la descomposición).

En relación con la anterior, otra característica a tener en cuenta, es la de que el compost ha de estar libre de patógenos vegetales. En principio, las altas temperaturas durante las fases iniciales del proceso de compostaje son eficaces para ello. A este fenómeno se le suma la competición de las poblaciones microbianas del compost frente a los microorganismos patógenos (mecanismo de supresividad) (Moreno y Moral, 2008).

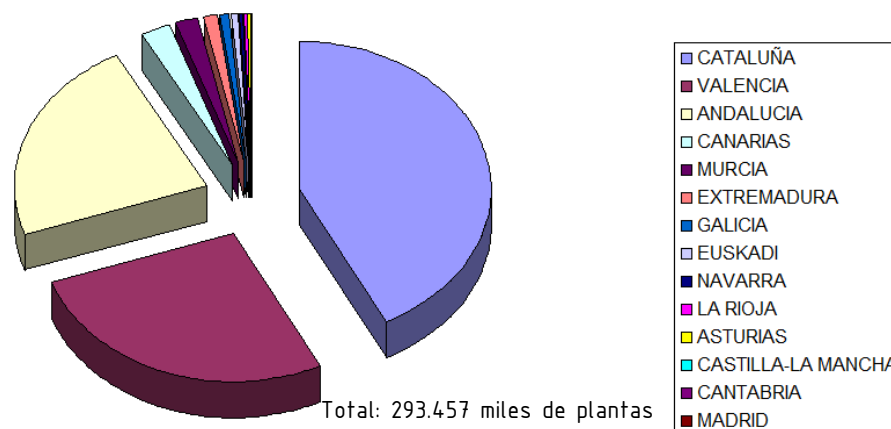
## 2.3. El cultivo ornamental: Pensamiento

### 2.3.1 Generalidades del cultivo ornamental

Tanto en España como en el sur de Europa el sector de planta ornamental es muy importante (Figura 1) en sus múltiples variantes (maceta, tiesto, etc.) debido a las condiciones climáticas (Lazcano y Dominguez, 2010). En los últimos años (2008-2011) la producción ha oscilado entre 182 (año 2008) y 293 millones de unidades (año 2011), siendo Cataluña la Comunidad Autónoma que más produce (Figura 2). A nivel europeo, los países a los que más se exporta son Francia (31 %) e Italia (16 %), y de los que más se importa: Países bajos (44 %) e Italia (14 %)(FEPEX, 2014).



**Figura 1.** Distribución de la producción de flores y plantas ornamentales en España (Anuario de estadísticas agrarias, 2011).



**Figura 2.** Producción de planta ornamental en porcentaje por comunidades autónomas en el año 2011 (Elaboración propia. Anuario de estadísticas agrarias, 2011).

### 2.3.2. Características del cultivo ornamental

Las plantas ornamentales tienen especiales exigencias ambientales, hídricas y de protección sanitaria durante los primeros estados de desarrollo (Moreno y Moral, 2008). Por ello, surge la necesidad de

aumentar la eficiencia en el uso de agua y nutrientes en este sector con el fin de minimizar insumos (Lazcano y Dominguez, 2010).

Su control se hace más fácil sobre instalaciones de pequeña superficie y con una densidad muy alta de plantas (en semilleros). Cuando se trasplantan al terreno definitivo, se reducen los riesgos económicos en comparación con la siembra directa. Así, también hay una mayor eficiencia en el uso del suelo, acortamiento del ciclo de crecimiento, mejor control de las primeras malas hierbas, etc.

Estos requerimientos tecnológicos, han contribuido a que cada vez más el sector productivo de plántulas hortícolas y ornamentales esté en manos de empresas especializadas, sustituyendo a los horticultores.

Generalmente, las plántulas crecen en contenedores de forma troncopiramidal insertos, a modo de alvéolos, sobre bandejas de diferentes dimensiones y 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 (Moreno y Moral 2008).

Es habitual que este tipo de cultivos se hagan sin suelo (hidropónico). Se entiende por cultivo sin suelo cualquier sistema de cultivo en el que la planta desarrolla su sistema radical en un medio (sólido o líquido) confinado en un espacio limitado y aislado, fuera del suelo.

Estos cultivos sin suelo, suelen clasificarse en: "cultivos hidropónicos" (cultivo en soluciones nutritivas o sobre materiales sólidos inertes) y "cultivos en sustrato" (cultivo sobre materiales químicamente activos, con fertilidad inicial y/o capacidad de intercambio catiónico apreciables) (Mendoza, 2010).

### **2.3.3. El cultivo de pensamiento (*Viola × wittrockiana*)**

El género *Viola* es originario de España y de la zona del Pirineo (incluido Andorra y el suroeste de Francia). Engloba unas 500 especies, y se encuentra dentro de un mercado competitivo en el que se requiere de estudios rápidos para la búsqueda de nuevas variedades. Para la realización de estos ensayos han de pasar años (para hacer las réplicas necesarias) y así crear variedades rentables para los productores. El pensamiento es una de las plantas ornamentales más cultivadas en maceta (Kelly *et al.*, 2006).

Dentro de este género se encuentra el pensamiento, *Viola × wittrockiana*, que es una planta perenne de climas templados y dentro de las plantas ornamentales de primavera es de las más tempranas (Zawadzińska y Janicka, 2007). Pese a que es una planta perenne, en la actualidad se trabaja con ella como si fuese anual o bienal (Dalbato *et al.*, 2013). Su ciclo es corto y tolera el frío, por lo que es apta en lugares de primaveras y noches de verano frescas (Rajabalipour *et al.*, 2013), y también es apta en invernaderos fríos y es una alternativa para los meses otoñales y de primavera (Antoniazzi, 2007). No obstante, sus semillas presentan un periodo de latencia que deriva en una baja germinación o plántulas anormales (Rajabalipour *et al.*, 2013). Esta variedad tiene una respuesta clara a la temperatura y al fotoperiodo, y hoy en día se están estudiando combinaciones de temperatura y luz que influyen en la calidad de la planta (Niu *et al.*, 2000).

El tamaño de la flor en *Viola × wittrockiana* Gams decrece de forma lineal con el incremento de la temperatura de 9 a 31 °C. Si se incrementa la integral térmica aumenta también el tamaño de las flores



y el número de botones florales. También hay estudios que señalan que la altura de la planta es mayor cuando la diferencia de temperaturas diurnas y nocturnas (DIF) es mayor, aunque en el caso del pensamiento se sabe más bien poco (Niu *et al.*, 2000). Puede llegar a alcanzar los 15-25 cm de altura y una única flor de más de 10 cm (unicolor, bicolor, tricolor o multicolor) en el pedúnculo más largo (Dalbato *et al.*, 2013).

En este género es habitual el cruce espontáneo dentro de plantas del mismo género que dan lugar a otras nuevas que también son fértiles. Esto mismo que ocurre de forma natural, se puede hacer de forma inducida y así conseguir nuevos genotipos que den lugar a fenotipos con mayor vigor, mayores flores, nuevos colores, compacidad, e incluso tolerancia a patógenos o al estrés ambiental. Estos avances han hecho que la planta con la que se trabaja hoy día sea de mayor porte y tamaño de flor que sus antecesores (Dalbato *et al.*, 2013).

Las plantas jóvenes a la espera de ser trasplantadas deben almacenarse frescas y moderadamente húmedas. También hay que controlar la subida diurna de la temperatura porque esto puede provocar el alargamiento de los tallos y de los pedúnculos. Para la siembra se recomienda utilizar un sustrato con pH 5,4-5,8 y con una fertilización reducida debido a la sensibilidad a las sales de las plantas jóvenes de Viola (Antoniazzi 2007). Pese a todo, se puede decir que el cultivo de Viola es sencillo y barato cuando el ciclo del cultivo está avanzado (Zawadzińska y Janicka, 2007).

## 2.4. La salinidad, alcalinidad y presencia de metales pesados en los sustratos de cultivo

### 2.4.1. Generalidades

Uno de los factores principales que interviene en el problema de la salinidad es el aumento de la conductividad eléctrica (CE) por los aportes externos en los cultivos (abonos, compost, etc.) (Villarino y Mattson, 2011). Se recomienda que en cultivos sin suelo la CE esté en el rango de 0,75-1,99 mS/cm (Abad *et al.*, 1993). La CE aumenta en el proceso del compostaje, esto se debe a la descomposición de la materia orgánica, lo cual aumenta la fracción de los elementos en forma soluble.

El uso de compost también puede acarrear el problema de aumentar la concentración de metales pesados. Para evitar este inconveniente se puede lavar el compost con agua o mezclarlo con otros materiales (Carrión *et al.*, 2005; Fornes *et al.*, 2010). Los factores que afectan a la lixiviación son las propiedades físicas del medio de cultivo, forma de riego, duración y frecuencia del riego, etc. Cuando a un sustrato se le aplica una solución, el flujo es complejo y moderado debido a la conductividad hidráulica, grado de saturación, porosidad, capacidad de intercambio catiónico, adsorción de iones, etc. Hay estudios que demuestran que aplicando una cantidad de agua de una a 1,5 veces el volumen del sustrato se reduce la CE hasta valores próximos a cero (Cretu *et al.*, 2009).

No obstante, aunque el lavado sea una posible solución, hay que dar salida a los lixiviados producidos. Hay que tener en cuenta que la calidad del agua de riego es importante en cultivos de invernadero, como

también lo es el sustrato (Kuehny y Morales, 1998). Con el fin de no contaminar aguas subterráneas y superficiales hay que dar salida a esta agua, más aún teniendo en cuenta que el consumo de agua en la floricultura es elevado (se estima que para producir 1 kg de materia seca en una planta hacen falta entre 100 y 350 kg de agua).

Los beneficios del uso de esta agua son: conservación de agua, ahorro de nutrientes, ahorro de materia orgánica, conservación de la energía, protección del medio ambiente, etc. No obstante, esta agua suele tener una mayor concentración de sales, y no es apta para determinados cultivos, por lo que se requieren estudios para ver su idoneidad (Cassaniti *et al.*, 2012).

Además del agua residual, la industria relacionada con cultivos producidos en invernaderos, crea otros muchos residuos causantes de problemas medioambientales si no se gestionan de forma adecuada (Mazuela y Urrestarazu, 2009).

Por todo lo mencionado anteriormente, hay que seguir estudiando en el uso de compost y turba como sustrato y el uso de los lixiviados debido al posible contenido de contaminantes (Boldrin *et al.*, 2010).

#### **2.4.2. Consecuencias de la salinidad, alcalinidad y la presencia de metales pesados**

La influencia de la sal en los cultivos varía según: el estado de desarrollo del cultivo cuando aumenta la salinidad, la salinidad final, la parte del cultivo que se aprovecha, tipo de cultivar, etc (Del Amor *et al.*, 2001). La alta concentración en sales de los composts es un factor limitante en la producción, especialmente en las fases iniciales donde las plantas son más sensibles (Carrión, *et al.*, 2005). Para evitar este inconveniente se puede lavar el compost con agua o mezclarlo con otros materiales no tan salinos (Carrión *et al.*, 2005; Fornes *et al.*, 2010). No obstante, la salinidad no se considera un factor limitante de forma absoluta (ya que se soluciona con el lavado entre otros métodos), a diferencia de las características físicas o el pH que el compost pueda tener (Raviv, 2011).

Hay cultivos, como los tomates, que toleran mejor la salinidad y por ello los compost (en general) resultan aptos para su cultivo (Raviv, 2011). No obstante, muchos compost no se pueden utilizar directamente como sustratos por su alto contenido en sales. Para remediarlo hay distintas técnicas: lavar el compost con agua de grifo antes de su uso (García-Gómez *et al.*, 2002, Fornes *et al.*, 2010; Gonani *et al.*, 2011); lavar el compost una vez que está en el contenedor antes de su uso; lavar el sustrato cuando el cultivo está en crecimiento; mezclar el compost con otro sustrato pobre en sales, etc. El inconveniente de estos métodos es que hace falta una gran cantidad de agua de calidad para conseguir reducir la CE (Fornes *et al.*, 2010).

Altos contenidos en sodio pueden causar clorosis en las hojas, así mismo, los cloruros también pueden llegar a ser tóxicos para las plantas (Kuehny y Morales, 1998). La permeabilidad del agua y los iones de las raíces está muy relacionado con la tolerancia a la salinidad, y a su vez, ésta depende de la capacidad de las raíces para restringir el paso de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  (An *et al.*, 2002).

Otro posible problema es la alcalinidad, su síntoma más evidente es el de la aparición de clorosis en las hojas más jóvenes y retraso del crecimiento. Esta clorosis es atribuida a la falta de hierro y a una menor disponibilidad del mismo (debido a la alcalinidad). La falta de Zinc también está asociada a la alcalinidad en algunos cultivos como el olivo. La alcalinidad máxima tolerable depende de la especie, edad de la planta, tipo de sustrato, duración del ciclo de cultivo, etc. La mayoría de estudios en este ámbito

se han realizado en cultivos en parcela, y no tanto en plantas y cultivos de invernadero. En el caso del pensamiento, el número de flores disminuye y el borde de las hojas se necrosa con una concentración mayor de 3,3 mM HCO<sup>-3</sup> (Valdez-Aguilar y Reed, 2007).

En cuanto a los metales pesados, cabe decir que cuando el sustrato hortícola está formado por compost puede haber lixiviados tanto en aguas superficiales como subterráneas (Xia *et al.*, 2007). De manera que con el lavado surgen dos problemas: el primero es el de un alto consumo de agua de calidad, y el segundo, la producción de lixiviados con una conductividad eléctrica alta y ricos en nutrientes.

Un vivero de tamaño medio productor de planta ornamental, en España produce alrededor de 800.000 plantas al año y utiliza unos 1.000 m<sup>3</sup> de sustrato. De este sustrato el 50 % (500 m<sup>3</sup>) podría estar constituido por compost, de manera que, si fuese necesario su lavado, se estima que se producirían 815-1800 m<sup>3</sup> de lixiviados.

Una posibilidad interesante desde el punto de vista medioambiental podría ser la de reutilizar los lixiviados como fertilizantes líquidos, y así recuperar los nutrientes perdidos con la lixiviación. Dependiendo de las especies a cultivar con estos líquidos, habría que ajustarlos mediante la mezcla con agua dulce. En este sentido resulta interesante la aplicación en especies tolerantes a la salinidad y rentables desde el punto de vista económico (Fornes *et al.*, 2010).

### 2.4.3. Requerimientos mínimos de calidad de los composts en España

En la Tabla 5 se muestran un resumen de los requerimientos de calidad de los compost en España, recogidos en el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. Según este Real Decreto los productos fertilizantes elaborados con materias primas de origen animal o vegetal no podrán superar el contenido de metales pesados indicado según sea su clase A, B o C.

**Tabla 5.** Requerimientos mínimos de calidad de los composts en España (RD 506/2013).

Parámetro	Enmienda		Abono
	Compost	Compost vegetal	
<i>Materia orgánica total</i>	≥35%	≥40%	
<i>Relación C/N</i>	<20	<15	
<b>Metales pesados</b>	<b>mg/kg de materia seca</b>		
	Clase A	Clase B	Clase C
<i>Cd</i>	0,7	2	3
<i>Pb</i>	45	150	200
<i>Cu</i>	70	300	400
<i>Zn</i>	200	500	1000
<i>Ni</i>	25	90	100
<i>Cr (total)</i>	70	250	300

Parámetro	Enmienda		
	Compost	Compost vegetal	Abono
<i>Cr (V)</i>	No detectable según el método oficial	No detectable según el método oficial	No detectable según el método oficial
<i>Hg</i>	0,4	1,5	2,5

*Clase A:* Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna A.

*Clase B:* Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna B.

*Clase C:* Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna C. No aplicar a suelos agrícolas en dosis superiores a 5 t (ms)/ha x año.

Limitaciones de uso:

1. Sin perjuicio de las limitaciones establecidas en el capítulo IV del RD 506/2013, los productos fertilizantes elaborados con componentes de origen orgánico se aplicarán al suelo siguiendo los códigos de buenas prácticas agrarias.
2. Los productos de Clase C no podrán aplicarse sobre suelos agrícolas en dosis superiores a cinco toneladas de materia seca por hectárea y año. En zonas de especial protección, particularmente a efectos del cumplimiento del Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, las comunidades autónomas modificarán, en su caso, la cantidad anterior.

Tanto la legislación española como la de otros países europeos establecen la calidad del compost desde una perspectiva ambiental, Sin embargo, para determinar la calidad agronómica de un compost deben tomarse en cuenta parámetros físicos, físico-químicos, químicos y biológicos. Entre los citados se encuentran: la granulometría, el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de intercambio catiónico, la relación C/N, el nivel de nutrientes minerales, el contenido y estabilidad de la materia orgánica, y el índice de germinación de semillas entre otros.

De manera que el control de la calidad debe realizarse durante todo el proceso de compostaje y no solamente sobre el producto final (Mendoza, 2010).

#### 2.4.4. Límites máximos de microorganismos y metales pesados en los sustratos de cultivo

En los sustratos de cultivo de origen orgánico, se acreditará que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos:

- Salmonella: Ausente en 25 g de producto elaborado.
- Listeria monocytogenes: Ausente en 1 g de materia bruta (únicamente para cultivos cuya producción se consuma en crudo).

- *Escherichia coli*: < 1000 número más probable por gramo de producto elaborado.
- *Enterococcaceae*: entre 10<sup>4</sup> y 10<sup>5</sup> número más probable por gramo de producto elaborado.
- *Clostridium perfringens*: entre 10<sup>2</sup> y 10<sup>3</sup> número más probable por gramo de producto elaborado.

En lo que a metales pesados se refiere, en la Tabla 6 se muestran los límites establecidos en España.

**Tabla 6.** Límites de concentración de metales pesados, mg/kg de materia seca (RD 865/2010).

	Clase A	Clase B
<i>Cd</i>	0,7	2
<i>Pb</i>	45	150
<i>Cu</i> *	70	300
<i>Zn</i>	200	500
<i>Ni</i> *	25	90
<i>Cr (total)</i>	70	250
<i>Cr (V)</i>	0,5	0,5
<i>Hg</i>	0,4	1,5

\* En el caso de las lanas minerales, no se aplicarán los límites en Cr, Cu y Ni indicados en la tabla, puesto que estudios de distintos organismos internacionales reflejan que estos elementos no están disponibles para el suelo ni las plantas en las condiciones de empleo prescritas.

*Clase A:* Sustratos de cultivo cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna A.

*Clase B:* Sustratos de cultivo cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna B.

Los productos de la clase B no podrán aplicarse en cultivos hortícolas comestibles.

### 3. OBJETIVOS

- El objetivo del presente trabajo es evaluar distintos compost domésticos e industriales como ingrediente de sustrato en pensamientos y la acción de lavado sobre los mismos.
- Ver si el uso de residuos cárnicos tiene efecto sobre la planta de pensamiento.

# 4. MATERIAL Y MÉTODOS

## 4.1. Esquema del experimento

El ensayo fue realizado en los meses de agosto–septiembre del año 2012, en un invernadero de cristal calefactado ubicado en las instalaciones de la Universidad Pública de Navarra, Pamplona.

La especie utilizada ha sido *Viola × wittrockiana* (Pensamiento) variedad Colossus, elegida por su ciclo de cultivo muy corto (1-2 meses desde el trasplante hasta su comercialización). Otra razón para la elección de esta especie ha sido su baja tolerancia a la salinidad, tal como se ha observado en estudios sobre pensamiento, cultivados en sustratos con distintas concentraciones de Na, Cl, Ca y Mg (Hendriks, 1987; Kuehny y Morales, 1998; Cassaniti *et al.*, 2012).

Las plántulas ya germinadas en alveolos (en estadio de 2ª hoja), fueron compradas en el vivero “Lorea” (Camino de Berroa s/n, 31192 Tajonar, Navarra), para posteriormente ser trasplantadas a macetas de plástico de 2 litros y 15 cm de diámetro, colocando una plántula por maceta. Dicho trasplante se realizó el 15 de Agosto.

Las plantas cultivadas fueron expuestas a iluminación natural y el riego fue suministrado periódicamente por goteo.

El ensayo de macetas tuvo una duración de 37 días, desde el trasplante hasta la cosecha final (18 de septiembre). Se compararon 11 tratamientos, descritos a continuación para un total de 44 macetas. El diseño utilizado fue de bloques al azar con 4 repeticiones (Figura 3), siendo la unidad experimental elemental una maceta.



Figura 3. Disposición de las macetas en el invernadero en las instalaciones de la Universidad Pública de Navarra.

## 4.2. Materiales utilizados y descripción de los tratamientos

En el ensayo realizado se compararon mezclas al 25% y 75% en volumen de 4 tipos de compost, siendo colmado el resto del volumen con un sustrato base compuesto por turba y perlita (éste en proporción 3:1) y comparados con un tratamiento control compuesto únicamente de sustrato base, también en

proporción 3:1. El compostaje se llevó a cabo en compostadores domésticos de 320 L y el compost industrial en pilas volteadas de 700 toneladas.

La Conductividad eléctrica (CE) y pH de la turba han sido 0,16 mS/cm y 6,61 respectivamente. Por otro lado, los 4 compost utilizados en el experimento fueron:

- **T1:** compost comercial de la empresa "Tecnología Industrial del Reciclaje IB, S.L." de Funes (Navarra), obtenido en planta industrial a partir de deyecciones de animales (2% en peso), lodos de conservas (15%), residuos de tejidos animales (15%) y vegetales (45%), desechos de la fabricación de papel compuesto por fibras y lodos de fibras, de materiales de carga y de estucado, obtenidos por separación mecánica (17%) y lodos de alcoholera (6%).
- **CE1:** compost doméstico obtenido en las instalaciones de la finca de prácticas de la Universidad Pública de Navarra a partir de residuos vegetales. La proporción "estructurante/otros residuos vegetales" empleada fue de 0,6:1 en peso. Tamizado a 1cm.
- **P2E1:** compost doméstico obtenido en las instalaciones de la finca de prácticas de la Universidad Pública de Navarra a partir residuos vegetales como en el tratamiento CE1, más un 15% (en peso) de residuos cárnicos. La proporción "estructurante/otros residuos vegetales" empleada fue de 0,6:1 en peso. Tamizado a 1cm.
- **P2E2:** compost doméstico obtenido en las instalaciones de la finca de prácticas de la Universidad Pública de Navarra partir residuos vegetales, más un 15% en peso de residuos cárnicos. La proporción "estructurante/otros residuos vegetales" empleada en su fabricación fue el doble que la del compost CE1 y P2E1 (1,2:1 en peso). Tamizado a 1cm.

Según el Real Decreto 506/2013, los compost domésticos (CE1, P2E1 y P2E2) son de clase A y el industrial (T1) de clase B.

La caracterización de las propiedades físicas y químicas de los distintos compost utilizados en el ensayo son las que se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Características físicas y químicas de los compost utilizados en el ensayo.

Propiedad		T1	CE1	P2E1	P2E2
$C_{orgánico}$	g (kg p.s.) <sup>-1</sup>	106	258	299	340
$N_{total}$	g (kg p.s.) <sup>-1</sup>	11	20	27	29
$P_{2-5}O$	g (kg p.s.) <sup>-1</sup>	24	11	14	13
$K_2O$	g (kg p.s.) <sup>-1</sup>	24	15	17	13
$CaO$	g (kg p.s.) <sup>-1</sup>	91	61	55	50
$MgO$	g (kg p.s.) <sup>-1</sup>	6,5	5,3	5,4	5,0
$C/N$		11,5	13,4	11,4	11,7
Conductividad eléctrica	mS cm <sup>-1</sup>	4,77	1,22	1,24	0,79
pH		7,65	8,25	8,79	8,27
Humedad	g (kg p.f.) <sup>-1</sup>	170	146	142	150
Densidad	kg m <sup>-3</sup>	872	304	285	308

p.s.: peso seco; p.f.: peso fresco

En el trabajo, además de los compost descritos, se emplearon 2 tratamientos realizados con sustrato lavado, tal como se describe en los apartados siguientes.

Resumiendo, los 11 tratamientos que se han comparado en el experimento realizado fueron:

1. **Control:** Sustrato formado por sustrato base (turba y perlita).
2. **T1-25:** mezcla de 25% (en volumen) de sustrato base y 75% de compost T1.
3. **T1-75:** mezcla de 75% (en volumen) de sustrato base y 25% de compost T1.
4. **CE1-25:** mezcla de 25% (en volumen) de sustrato base y 75% de compost CE1.
5. **CE1-75:** mezcla de 75% (en volumen) de sustrato base y 25% de compost CE1.
6. **P2E1-25:** mezcla de 25% (en volumen) de sustrato base y 75% de compost P2E1.
7. **P2E1-75:** mezcla de 75% (en volumen) de sustrato base y 25% de compost P2E1.
8. **P2E2-25:** mezcla de 25% (en volumen) de sustrato base y 75% de compost P2E2.
9. **P2E2-75:** mezcla de 75% (en volumen) de sustrato base y 25% de compost P2E2.
10. **T1-75L:** mezcla del tratamiento T1-75 lavado.
11. **P2E1-75L:** mezcla del tratamiento P2E1-75 lavado.

### 4.3. Lavado de sustratos

La preparación de los tratamientos a utilizar en el lavado se ha realizado con dos tipos de compost: T1 y P2E1, en los que en ambos la proporción en volumen de compost ha sido del 75% y de sustrato base de 25%. A estos dos tratamientos se les ha denominado T1-75L y P2E1-75L. Se decidió efectuar el lavado sólo para estas dos mezclas porque fueron las que presentaron mayor salinidad (Tabla 7). El lavado se realizó sobre la mezcla de compost y sustrato base. Una vez realizado el lavado correspondiente, se utilizó este sustrato previamente lavado como medio de cultivo de las plantas, siguiendo el mismo procedimiento que en los otros tratamientos.

Las observaciones y mediciones efectuadas durante las operaciones de lavado dieron lugar a resultados experimentales de tal modo que el lavado de sustrato es considerado un ensayo en sí. Este estudio es importante ya que en el sector de planta ornamental se producen una gran cantidad de lixiviados. Con el fin de no contaminar aguas subterráneas y superficiales hay que dar salida a esta agua (Boldrin *et al.*, 2010).

Para la puesta en marcha del lavado se siguió el modelo descrito por Xia *et al* (2007) y Fornes *et al* (2010), en el que se estudió el líquido drenado a partir de distintos sustratos y compost. De manera que, siguiendo las citadas metodologías, se han realizado los lavados con agua destilada teniendo en cuenta el volumen del recipiente, siendo en este caso la maceta de 2 litros. Dependiendo de la capacidad de infiltración del suelo, el agua se añadió de forma ininterrumpida, o pasados unos minutos.

El lavado del sustrato se efectuó directamente en las macetas finales donde luego serían trasplantadas las plantas. Para cada sustrato se efectuaron 4 repeticiones, utilizando 4 macetas, que dieron lugar a ocho macetas en total.



Cada maceta de 2 litros fue introducida en recipientes tipo "Mitscherlich", provistos de un sistema de recolección del líquido drenado (Figura 4) y sobre el sustrato se llevaron a cabo un total de 7 lavados ya que se estabiliza y porque otros autores (Carrión *et al.*, 2005; Mazuela y Urrestarazu, 2009; Fornes *et al.*, 2010) también señalan que tras 5 lavados se llega a valores de CE aceptables.



**Figura 4.** Macetas de 2 litros con compost y sustrato base introducidas en recipientes tipo "Mitscherlich" (blanco) junto con el sistema de recolección del líquido drenado (negro).

#### 4.3.1. Parámetros medidos durante el lavado

Se ha medido el volumen de líquido drenado recogido tras cada lavado y su conductividad eléctrica con un conductivímetro portátil "Hanna DIST 6" (Figura 5).



**Figura 5.** Conductivímetro portátil "Hanna DIST 6".

El líquido drenado recogido se ha ido acumulando en recipientes herméticos cuya conductividad eléctrica se ha vuelto a medir cada vez que se añadía nuevo líquido (agua destilada) al sustrato, después de un lavado.

Para el cálculo de la variación de la conductividad eléctrica se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$\frac{CE_i - CE_f}{CE_i} \times 100$$

De manera que se calcula el incremento o disminución de la Conductividad Eléctrica inicial (CEi), respecto a otra (CEf).

La eficiencia de lavado (EL) se ha calculado (Carrión, 2005; Fornes *et al.*, 2010) utilizando la ecuación:

$$EL = 100 \times \left(1 - \frac{X}{X_0}\right)$$

Donde X= CE (mS/cm) después del séptimo lavado; X<sub>0</sub>= CE (mS/cm) después primer lavado

Éste es un valor que nos indica el aumento o disminución de la conductividad eléctrica en un determinado tramo (entre lavados). Los factores más importantes que controlan la eficiencia de lavado son el tamaño de partículas o agregados (características físicas) y la velocidad del flujo (Fornes *et al.*, 2010), así como el origen del compost.

La composición del líquido que ha drenado fue analizada por triplicado mediante el método *Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) en el laboratorio de ionómica del CEBAS-CSIC de Murcia.

En el caso de tratarse de muestras sólidas o líquidas sucias se ha realizado un tratamiento previo para su posterior análisis por ICP-OES. Para ello, se realiza una digestión ácida con HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en Ultraclave-Microondas Milestone (<http://www.cebas.csic.es>)

La ICP-OES es una de las técnicas más empleadas en el análisis de elementos (Hou y Jones, 2000). Es una técnica de análisis multielemental, en la que el líquido obtenido del drenaje se introduce de forma continua. Utiliza una fuente de plasma de acoplamiento inductivo para disociar los átomos o iones que constituyen la muestra, excitándolos a un nivel donde emiten luz de una longitud de onda característica.

Un detector mide la intensidad de la luz emitida y calcula la concentración de ese elemento, en particular, de la muestra. Un plasma es un gas ionizado, eléctricamente neutro y confinado en un tubo de descarga. Es un estado de equilibrio entre partículas cargadas y neutras de un gas ionizado.

Los elementos que han sido analizados mediante esta técnica en este trabajo han sido: Al, As, Be, Bi, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, P, Sb, Se, S, Sr, Ti, Tl, V, y Zn. Para ello, se ha empleado el aparato IRIS INTREPID II XDL THERMO (Figura 6).

Para la medida de nitrógeno total, carbono total y carbono orgánico se ha utilizado el aparato LECO TRUSPEC CN (Figura 6). Para ello, la muestra (sólida) se somete a una combustión con oxígeno puro y los diferentes productos resultantes son transportados mediante Helio. Seguidamente, pasan a través de una columna de reducción, obteniéndose los gases CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y N<sub>2</sub>, el H<sub>2</sub>O. Finalmente, los gases pasan por un detector de conductividad térmica que proporciona unas señales directamente proporcionales a la concentración de carbono y nitrógeno. Las muestras para este tipo de análisis tienen que estar secas y molidas, y ser lo más homogéneas posibles. Este análisis se realiza para caracterizar el compost (Tabla 7).



**Figura 6.** Aparato de medida de metales pesados y microelementos (P, K, Mg, Ca, y S): IRIS INTREPID II XDL THERMO y medidor de C y N: LECO TRUSPEC CN empleados.

## 4.4. Parámetros medidos durante el ensayo y al final del mismo

Durante el ensayo, que ha durado desde el 13 de agosto hasta el 18 de septiembre, se han realizado dos tipos de mediciones. Unas han sido realizadas durante el ensayo (una vez a la semana) y otras únicamente al final del mismo (cosecha final).

Las fechas de la toma de medidas intermedias han sido los días 13, 23 y 29 de agosto y 5 y 12 de septiembre.

Las mediciones que se han realizado durante los 5 momentos intermedios del ensayo son:

- *Número de hojas:* se han contabilizado aquellas hojas que estaban completamente formadas independientemente del tamaño.
- *Número de tallos:* se ha observado cual es el número de tallos que tenía cada una de las plantas.
- *Diámetro tallo principal:* se ha medido con una cinta métrica cada uno de ellos. En aquellos casos en los que el diámetro ha sido menor que 5mm, se ha anotado como <0,5cm.
- *Altura:* se ha medido la altura de la planta con una cinta métrica, desde la base de la planta (punto de inserción de la planta en la tierra) hasta su punto más alto.
- *Número de flores:* se ha contabilizado el número de flores bien formadas.
- *Diámetro medio de las flores:* se ha medido el diámetro de cada una de las flores con una cinta métrica en la zona ecuatorial de la flor y se ha calculado el valor medio de todas ellas.

Los parámetros que han sido medidos en la cosecha final son:

- *Índice Spad:* este método consiste en la medición de la absorción de la hoja en dos regiones de longitud de onda (tras proyectar luz a través de una hoja); en las regiones roja y cercanas a infrarroja. Utilizando estas dos transmisiones el medidor calcula el valor numérico SPAD que es proporcional a la cantidad de clorofila (intensidad de color verde) y en consecuencia, de Nitrógeno (un factor importante para la comprensión de la situación nutricional de una planta). Éste, es un método no destructivo y sirve entre otras cosas para determinar cuando es necesario un fertilizante adicional (Instrucciones del aparato Minolta, 2014). Según Altland *et al.* (2003) este índice predice de forma fiable el contenido de nitrógeno en la planta de pensamiento. En este trabajo se han realizado las medidas con el "Chlorophyll Meter SPAD 502 (Minolta)".

- *Peso Fresco y Peso Seco*: Medidos respectivamente justo después de la cosecha y después del secado en estufa hasta llegar a peso constante a 75°C. En ambos parámetros se midió toda la parte aérea de la planta, incluyendo las flores (o botones florales).

## 4.5. Tratamiento estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente por medio de análisis de la varianza (ANOVA), detectando diferencias significativas entre diferentes tratamientos mediante el test Student-Newman-Keuls (S-N-K), y considerando el nivel de significación mínimo de  $p \leq 0,05$ . Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS 21.0.

# 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El apartado de resultados y discusión se ha dividido en dos partes. En la primera de ellas se ha estudiado el efecto del lavado sobre los dos tipos de tratamiento estudiados para este fin y en el segundo apartado, se describen los resultados obtenidos en base a los datos medidos durante y al final del ensayo.

## 5.1. Lavado de sustratos

### 5.1.1. Conductividad Eléctrica del líquido drenado diario y acumulado y eficiencia de lavado

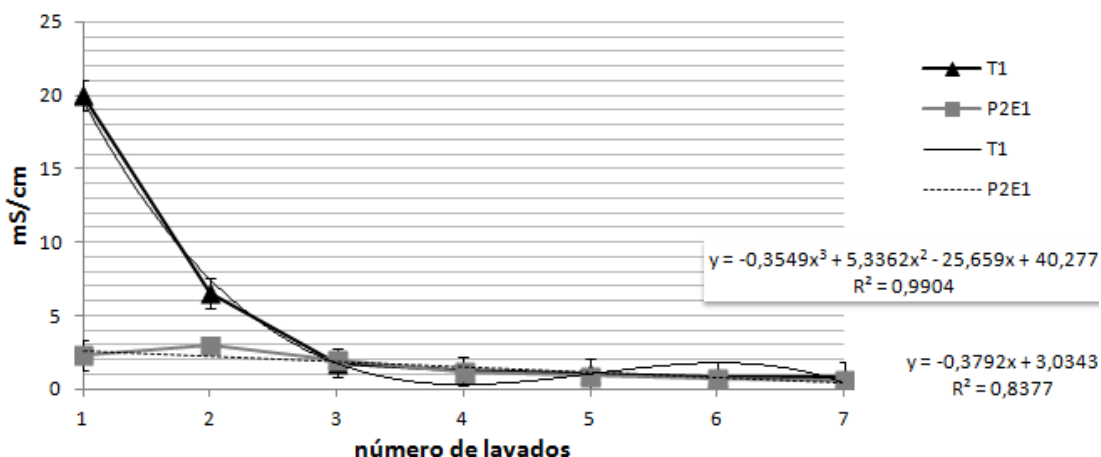
#### Conductividad Eléctrica del líquido drenado diario y acumulado

Tal y como se ha mencionado en el apartado de antecedentes la conductividad eléctrica (CE) es uno de los principales problemas que puede presentar el compost. Para remediarlo, una de las alternativas más eficaces es la del lavado, aun siendo la CE de valores muy elevados.

En el presente trabajo la CE del compost industrial es muy alta al inicio y disminuye muchísimo con cada lavado, mientras que en el caso de la CE inicial del doméstico, el valor es bastante menor al inicio (vs. industrial), y también disminuye considerablemente (pasa a un valor muy bajo).

En la Figura 7 se muestra la evolución de la conductividad eléctrica de los tratamientos T1-75L y P2E1-75L tras los 7 lavados consecutivos.

## CONDUCTIVIDAD DRENAJE DIARIO



**Figura 7.** Conductividad eléctrica (mS/cm) en los tratamientos T1-75L (compost industrial) y P2E1-75L (compost doméstico) del líquido drenado tras el lavado. El porcentaje corresponde al descenso de la CE tras el lavado.

Tal y como se puede observar en la Figura 7 la Conductividad eléctrica en el tratamiento T1-75L es mayor respecto al P2E1 -75L tras el primer lavado (20 vs. 2,31 mS/cm), y desciende de forma notable en el segundo lavado (67,3±1,3%) y los sucesivos. Como cabe esperar, esta disminución es cada vez menos acentuada. Después del segundo lavado la CE pasa a ser menor de la mitad (6,55 mS/cm) respecto a la inicial en el compost industrial.

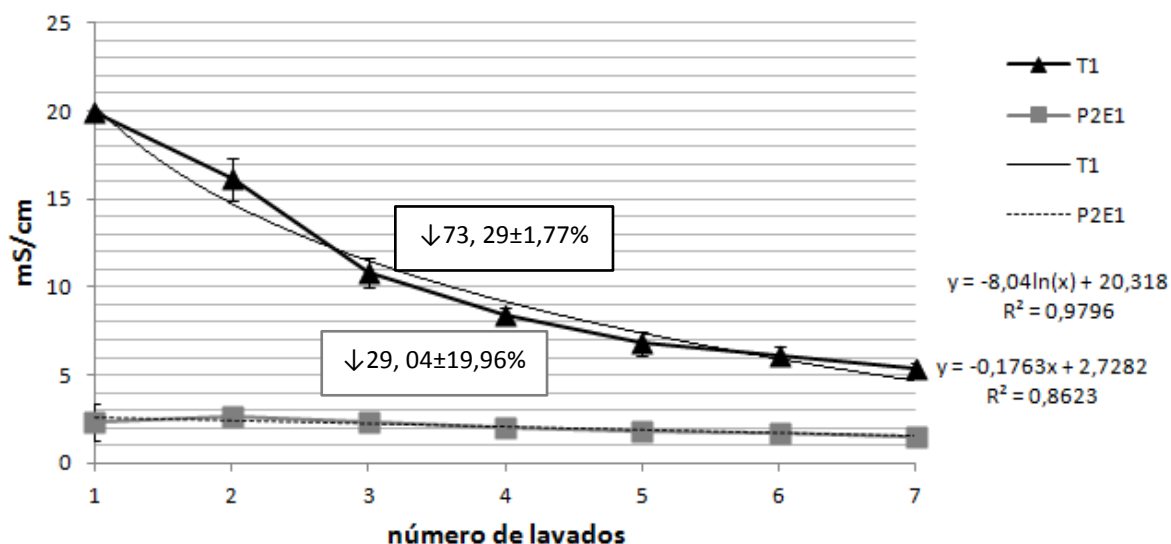
En el caso del tratamiento P2E1-75L la pendiente es mucho menor, la CE tras el primer lavado aumenta ligeramente, lo que puede ser debido a que primero se hidrata el sustrato y a posteriori es mayor. A partir del segundo disminuye, si bien es cierto que la CE inicial es de 2,31 mS/cm. La CE alcanza la mitad del valor (respecto al inicial) tras el cuarto lavado, siendo de 1,23 mS/cm.

A partir del tercer lavado, ambos tratamientos alcanzan valores similares, y el descenso sigue bastante parejo en los siguientes lavados, llegando a estabilizarse tras el sexto lavado. Finalmente, tras el séptimo lavado, se llega a una conductividad de 0,82 y 0,62 mS/cm en el tratamiento industrial y doméstico respectivamente. Cabe decir que se llega a valores aceptables para la producción de plantas en maceta y sin suelo tal y como lo describe Carrión *et al* (2005), que recomienda que sea menor de 1,70 mS/cm.

Estos resultados coinciden con los de Carrión *et al* (2005), en el que con el lavado también decrece la CE siendo los valores muy altos al inicio (superiores a 30 mS/cm). En dicho estudio, los composts estaban formados por pimienta, cáscara de almendras, restos de jardín, pepino, calabacín y melón.

Pese a haberse hecho 7 lavados, ya se ha visto que con tres era suficiente para reducir la CE hasta valores aceptables. Estudios previos hechos con compost procedente de champiñones también muestran que hacen falta entre tres y seis lavados (equivalentes al volumen del compost) para reducir la CE hasta los niveles deseados (Chong *et al.*, 1991; Young *et al.*, 2002).

Otros estudios realizados con compost proveniente de residuos hortícolas, muestran que tras 5 lavados, la CE del compost llega a ser pareja a la de la turba. Y tras 8 lavados la eficiencia de lavado era del 77-89% (Carrión *et al.*, 2005; Mazuela y Urrestarazu, 2009; Fornes *et al.*, 2010).



**Figura 8.** Conductividad eléctrica (mS/cm) en los tratamientos T1-75L (compost industrial) y P2E1-75L (compost doméstico) del líquido drenado acumulado tras el lavado.

Como se puede observar en la Figura 8 en la que se muestra la evolución de la conductividad eléctrica del drenaje acumulado, en los dos tratamientos estudiados para el lavado la conductividad eléctrica decrece tras los 7 lavados realizados. Este descenso es más acentuado en el compost industrial (73, 29±1,77%), donde pasa de 20 a 5,34 mS/cm. En el caso del compost doméstico, la CE también decrece, aunque de forma menos notoria (29,04±19,96%), pasando de 2,31 a 1,49 mS/cm.

De manera que de esto, se deduce que conocer cómo decrece la conductividad eléctrica del drenaje acumulado tras los sucesivos lavados, es importante para decidir cómo gestionarlo para evitar riesgos medioambientales. El riesgo de contaminar suelo y agua es elevado cuando el lixiviado tiene altos contenidos de metales pesados, nitrógeno o fosfatos (Fornes *et al.*, 2010).

Así, dependiendo del valor final, el líquido drenado acumulado se puede tratar como residuo o reutilizarlo en planes de fertirriego (a modo de fertilizante). Una de las posibles opciones es la de diluir el líquido drenado (Alexander, 1993; Boldrin *et al.*, 2010) o aplicarlo directamente en plantas hortícolas (Revel *et al.*, 1999; Gils *et al.*, 2005; Jarecki *et al.*, 2012).

En cualquiera de los casos, será necesario conocer también la composición del mismo (apartado 5.1.2), que es fruto de la capacidad de retención de iones del compost, que a su vez, depende del origen y del proceso de compostaje del mismo.

### Eficiencia de lavado (EF)

La eficiencia de lavado (EL, expresada en porcentaje) es un valor que hace referencia a cuan bueno ha sido el lavado a la hora de reducir la conductividad eléctrica. Si se tienen en cuenta los valores de todas las repeticiones de los dos tratamientos estudiados, la eficiencia de lavado ha variado desde 63,3

a 96,3%. En ambos casos, la eficiencia de lavado ha sido elevada, ocurriendo lo mismo en otros trabajos en los que se utilizaba compost de origen vegetal (Carrión *et al.*, 2005).

En el caso del tratamiento T1 75-L la CE ha pasado de 20 mS/cm a 0,82 ms/cm, de lo que resulta una EF de 95,9±0,3 mS/cm.

En el caso del tratamiento P2E1 75-L la CE ha pasado de 2,3 ± 1.04 mS/cm a 0,62 ± 0.03 mS/cm, de lo que resulta una EF de 69,8 ± 10,2. Sin embargo, en este caso la variabilidad es mayor, debido a las grandes diferencias que hay en los valores iniciales entre las distintas repeticiones (pese a que los valores de CE son menores que en el tratamiento T1 75-L) con una variación entre 3.86 – 1.61 mS/cm.

### Cantidades de líquido drenado

En ambos tratamientos el volumen total de riego empleado ha sido de 14 litros, divididos en los 7 lavados realizados. Sin embargo, el líquido total de drenaje ha variado.

En la Tabla 8 se muestra un resumen de los datos obtenidos en relación a la conductividad eléctrica, eficiencia de lavado y líquido de drenaje obtenido tras el lavado en los tratamientos T1-75L y P2E1-75L.

**Tabla 8.** Medias y desviaciones típicas conductividad eléctrica (CE) inicial, conductividad eléctrica final, eficiencia de lavado (EL), agua de riego total empleada y líquido drenado de los tratamientos T1-75L (compost industrial) y P2E1-75L (compost doméstico).

Tratamiento	T1 75-L	P2E1 75-L
<i>CE inicial (mS/cm)</i>	20± 0	2,31± 1,04
<i>CE final (mS/cm)</i>	0,82± 0,06	0,62± 0,06
<i>EL (%)</i>	95,9± 0,3	69,8± 10,2
<i>Total riego (L)</i>	14	14
<i>nº lavados</i>	7	7
<i>Total drenaje (L)</i>	13,8± 1,58	12,8± 0,05

En cuanto a los valores de CE cabe recordar que aunque los dos tratamientos estudiados parten de valores muy dispares, los valores son bajos al final de los siete lavados. Algo parecido le ocurría a Mazuela (2005), en cuyo estudio la conductividad eléctrica disminuyó a valores aceptables tras el sexto lavado (siendo el compost de residuos hortícolas).

A la vista de estos datos y los de la eficiencia de lavado, se puede decir que el lavado es eficaz para disminuir la conductividad eléctrica.

Respecto al líquido empleado en el lavado, no hay diferencias entre ambos tratamientos, aunque sí hay diferencias en la composición, como se puede ver en el siguiente apartado.

### **5.1.2. Componentes químicos del líquido acumulado drenado**

En este apartado se ha estudiado el líquido drenado diario y acumulado en los tratamientos T1-75L (compost industrial) y P2E1-75L (compost doméstico), realizados sobre la mezcla de dichos compost junto con el sustrato base (formado por turba y perlita).

Para el estudio de la composición química se ha tenido en cuenta el líquido drenado acumulado, mientras que para estudiar la conductividad eléctrica y la eficiencia de lavado se ha estudiado el líquido drenado diariamente.

### Componentes químicos del líquido acumulado

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras el análisis del CSIC de los componentes químicos del líquido drenado acumulado, así como la variación expresada en porcentaje de los elementos respecto al inicio (Tabla 9). En el caso de la muestra P2E1 no se han analizado los datos de la tercera repetición a la hora de calcular la media y desviación típica por ser significativamente distintos de los dos restantes. Los valores obtenidos e han ordenado de mayor a menor con el fin de facilitar su análisis.

**Tabla 9.** Medias y desviaciones típicas de componentes químicos en los tratamientos T1-75L (compost industrial) y P2E1-75L (compost doméstico) del líquido drenado acumulado tras el lavado. Contenido los principales elementos (g/maceta) al inicio del ensayo y la variación (%) respecto al lavado.

	T1-75L		P2E1-75L		T1-75L		P2E1-75L	
	Media (mg/L)	Desviación típica	Media (mg/L)	Desviación típica	g/maceta	Variación (%)	g/maceta	Variación (%)
<i>K</i>	1.104,67	± 18,56	271,3	± 3,82	26,06	58,5	6,03	62,06
<i>S</i>	252,1	± 10,05	29,84	± 5,28	14,65	23,75	4,1	10,03
<i>Na</i>	215	± 4,36	93,32	± 1,39				
<i>Ca</i>	67,76	± 0,51	21,6	± 0,26	85,06	1,1	16,80	1,77
<i>Mg</i>	20,89	± 0,19	4,97	± 0,14	5,13	5,62	1,39	4,93
<i>P</i>	18,88	± 1,3	21,47	± 2,4	13,70	1,9	2,61	11,34
<i>Fe</i>	2,35	± 0,03	0,23	± 0,01				
<i>Al</i>	1,74	± 0,1	0,11	± 0,01	0,001	>100	0,001	>100
<i>B</i>	1,33	± 0,01	0,15	± 0,01				
<i>Cu</i>	0,5	± 0,01	0,03	± 0,01	2,69	0,26	0,4	0,1
<i>Sr</i>	0,27	± 0,01	0,11	± 0,01				
<i>Zn</i>	0,26	± 0,01	0,06	± 0,01	1,39	0,26	1,37	0,06
<i>Mn</i>	0,17	± 0,01	0,03	± 0,01				
<i>Mo</i>	0,07	± 0,01	0,01	± 0,01				
<i>Ni</i>	0,05	± 0,01	0,01	± 0,01	0,13	0,52	0,05	0,28
<i>Ti</i>	0,05	± 0,01	0,01	± 0,01				
<i>V</i>	0,04	± 0,01	0,01	± 0,01				
<i>As</i>	0,03	± 0,01	0,01	± 0,01	0,01	6,09	0,01	2,11
<i>Tl</i>	0,03	± 0,01	0,01	± 0,01				
<i>Cr</i>	0,02	± 0,01	0,01	± 0,01	0,33	0,08	0,15	0,09
<i>Li</i>	0,02	± 0,01	0,01	± 0,01				
<i>Be</i>	0,01	± 0,01	0,01	± 0,01				
<i>Bi</i>	0,01	± 0,01	0,01	± 0,01				
<i>Cd</i>	0,01	± 0,01	0,01	± 0,01	0,01	2,11	0,01	2,11
<i>Co</i>	0,01	± 0,01	0,01	± 0,01				
<i>Pb</i>	0,01	± 0,01	0,01	± 0,01	0,1	0,14	0,1	0,13
<i>Sb</i>	0,01	± 0,01	0,01	± 0,01				
<i>Se</i>	0,01	± 0,01	0,01	± 0,01				



En general, se puede decir que los elementos químicos son el reflejo de la composición del compost, siendo la concentración de K muy elevada en el caso de T1 75-L (1104 mg/l). La concentración de los elementos del líquido drenado en este caso varía bastante entre los dos tratamientos, aunque los valores son mayores en el tratamiento T1 -75L (compost industrial).

Únicamente en el caso del fósforo los valores obtenidos son mayores en el tratamiento P2E1 -75, aunque en la Tabla 7 de caracterización de los compost, el T1 -75L es el que mayor contenido tiene. Esto puede ser debido a que el fósforo en T1 se encuentra en formas más complejas (fosfohumatos), mientras que el de P2E1 está en formas menos complejas, más solubles (fosfatos). Salvo en este mismo caso y el del sodio, ambos tratamientos coinciden prácticamente en su totalidad en el orden en cuanto a la cantidad de los elementos.

El elemento más lavado ha sido el potasio con un 58,5 y 62,06 % en los tratamientos T1 y P2E1 respectivamente. En el tratamiento T1 el segundo elemento más lavado ha sido el S, y en el caso del P2E1 el P, lo que puede ser debido a que se encuentra en formas más solubles en el P2E1.

En ambos casos, los niveles mayores se dan en el potasio y azufre, aunque en el tratamiento T1 -75L los valores son más elevados, 8 y 4 veces mayor respectivamente. Coincidiendo con lo que mencionan Carrión *et al* (2005), Mazuela y Urrestarazu (2009), y Fornes *et al* (2010) y, de que el K, S y Na son elementos fácilmente solubles, se observa lo mismo en este trabajo, ya que estos elementos son los que aparecen en mayores cantidades. También coincide con los resultados obtenidos por Boldrin *et al* (2010), ya que en su caso de entre los elementos más abundantes (fácilmente lavables) se encuentran el Ca, Fe, K, Mg, Na, y S, siendo en este trabajo también de los mayoritarios. Sin embargo, el contenido de P, Ca y Mg, aun teniendo concentraciones considerables, según Fornes *et al*. (2010) se describen como poco lavables. Según Zhang *et al*. (2004) el lavado de fósforo y metales pesados depende de las características físicas y químicas, y de la solubilidad de los elementos.

El contenido de metales pesados es muy bajo, tal y como lo describe Boldrin *et al*. (2010) en el que utiliza compost formado por restos orgánicos de cocina y residuos de jardín.

Por todo lo mencionado en el apartado de antecedentes, es importante la gestión del líquido producido tras el lixiviado. Dependiendo de la composición del mismo, será apto para unos usos u otros. Por ello, hay que tener en cuenta las características del líquido producido y conocer la tolerancia de los cultivos a las sales, metales pesados, etc. para que su presencia no le afecte de forma negativa.

## 5.2. Respuesta del pensamiento (*Viola x wittrockiana*) a los distintos tratamientos

### Parámetros medidos durante y al final del ensayo

Este apartado trata sobre cual ha sido la respuesta de los 11 tratamientos estudiados respecto a: índice SPAD, materia seca, peso fresco de la parte aérea, peso fresco de las flores, media del diámetro

de las flores, altura de la planta y el porcentaje de plantas florecidas. Una vez hecho el análisis estadístico se ha observado que no hay diferencias significativas entre tratamientos. Éste se ha realizado con todas las posibles combinaciones teniendo en cuenta si ha habido lavado o no, origen del compost y volumen de compost empleado. Estos resultados pueden ser debido a que el ciclo de la planta es corto, y podría hacer falta un cultivo de ciclo más largo para ver diferencias entre los distintos compost. Otra de las posibles razones es que los valores han sido muy dispares entre repeticiones, y en alguno de los tratamientos incluso se ha transplantado una nueva planta cuando resultaba poco vigorosa. Por ello, hubiera sido recomendable haber hecho más repeticiones por tratamiento para solventar estos problemas. No obstante, en los dos siguientes apartados se mencionan las tendencias que se han observado.

**Tabla 10.** Respuesta del pensamiento (*Viola x wittrockiana*) a los distintos tratamientos como medios de cultivo.

	Índice SPAD *	Materia seca (%)*	Peso fresco parte aérea (g) *	Peso fresco flores (g) *	Media diámetro flores (cm) *	Altura planta (cm)*	Plantas florecidas (%)
CE1-25	44,0	8,75	4,87	1,88	6,0	12,8	100
CE1-75	33,3	7,75	6,19	1,52	5,8	12,3	75
P2E1-25	28,5	4,3	3,97	1,19	5,8	11,4	75
P2E1-75	24,5	5,5	2,72	0,68	3,2	11,3	75
P2E2-25	31,5	7,5	6,25	1,42	5,0	11,4	75
P2E2-75	30,5	12,5	3,93	0,37	5,7	9,1	75
T1-25	40,8	6,5	4,46	1,11	6,5	11,5	75
T1-75	38,5	6,5	4,87	0,61	3,3	11,5	75
T1-75 L	30,8	9,5	4,41	0,06	1,0	8,1	100
P2E1-75 L	34,3	10,8	8,55	0,67	3,5	10,5	50
Control	45,0	13,3	5,64	0,71	6,0	9,5	25

(\*) No hay diferencias significativas entre tratamientos en todos los resultados.

En los tratamientos con restos animales (T1, P2E1 y P2E2) no ha habido diferencias en la respuesta de la planta (Tabla 10), de lo que se deduce que la presencia de residuos cárnicos no ha tenido efectos negativos. Asimismo, en los tratamientos lavados tampoco ha habido diferencias significativas, aunque el lavado haya servido para disminuir la CE. Tampoco las ha habido entre distintos porcentajes de compost (25 y 75%). Esto mismo les ocurría a Mazuela y Urrestarazu (2005)., en cuyo estudio, en cuanto a los parámetros de producción, observaron que no había ninguna diferencia significativa ni para los diferentes cultivos (tomate y melón) ni para los diferentes compost (de residuos hortícolas) estudiados.

### Tendencias de los parámetros medidos durante y al final del ensayo

Las tendencias que se mencionan, se dan en el porcentaje de floración. Todos los tratamientos tienen un porcentaje mayor que el Control, siendo estos valores mayores en los tratamientos CE1-25 y T1-75L. En el caso del tratamiento lavado T1, este porcentaje pasa del 75% (sin lavar) al 100% (lavado). Sin embargo, en el P2E1 75-L, pasa del 75% (sin lavar) al 100% (lavado).

Por un lado, el lavado hace que la conductividad eléctrica alcance valores aceptables para el desarrollo de este tipo de cultivos y además produce efectos positivos en la floración en el caso del tratamiento T1. Por otro lado, la concentración de los elementos disminuye en ambos con el lavado, algo que también le ocurre a Alexander (2009), que afirma que el lavado ayuda a disminuir la CE y consecuentemente la concentración de los nutrientes que pueden tener efectos nocivos en el rendimiento y producción de flores. En el resto de parámetros no hubo diferencias significativas entre tratamientos con y sin lavado. Un estudio realizado con brócoli mostró que los rendimientos eran mayores conforme aumentaba la dosis de compost en el sustrato, como consecuencia de una mayor cantidad de nutrientes (en los tratamientos de mayor dosis) (Sánchez-Monedero *et al.*, 2004). Algo similar ocurría en con el cultivo de tomate (Atiyeh *et al.*, 2000), en el que se utilizaba vermicompost.

Por el contrario, Eklind *et al* (1998) observaron que disminuía el número de flores y el peso en margaritas conforme la dosis de compost aumentaba, debido a un exceso de sales.

En un estudio realizado por Zawaszińska y Janicka (2007) se vio que las plantas de pensamiento toleraban hasta un 75% (en volumen) de lodo de aguas residuales compostado, y los mejores resultados en floración se obtuvieron en la mezcla de este compost y turba en la misma proporción. No obstante, en el presente trabajo, no se observaron efectos claros, es decir, diferencias significativas entre la cantidad de compost en las distintos tratamientos en el caso del índice SPAD, materia seca, altura de las plantas y el peso de la flor y diámetro.

Si se comparan las mezclas al 75% con las de 25% en el tratamiento CE1, se observa que éstas tienen valores mayores de la parte aérea cuando se ha utilizado la mezcla del 75%, mientras que no ha habido diferencias significativas entre otros tratamientos si se comparan estos volúmenes (25% y 75%).

### Tendencias en la evolución de la altura de la planta y el número de flores y hojas

Se han visto diferencias en cuanto a precocidad del crecimiento y de floración debido a la proporción de compost en las mezclas de sustrato o a si han sido lavados o no (Figuras 9-14). El lavado hace que aumente la precocidad y el crecimiento de las plantas.

En las siguientes figuras (Figuras 9-14) se puede visualizar cual ha sido la evolución en el tiempo de la altura de la planta, número de flores y número de hojas. Para este análisis, se han agrupado los tratamientos en dos grupos; en el primero de ellos se incluyen: T1, CE1 y Control, y en el segundo: P2E1, P2E2 y Control.

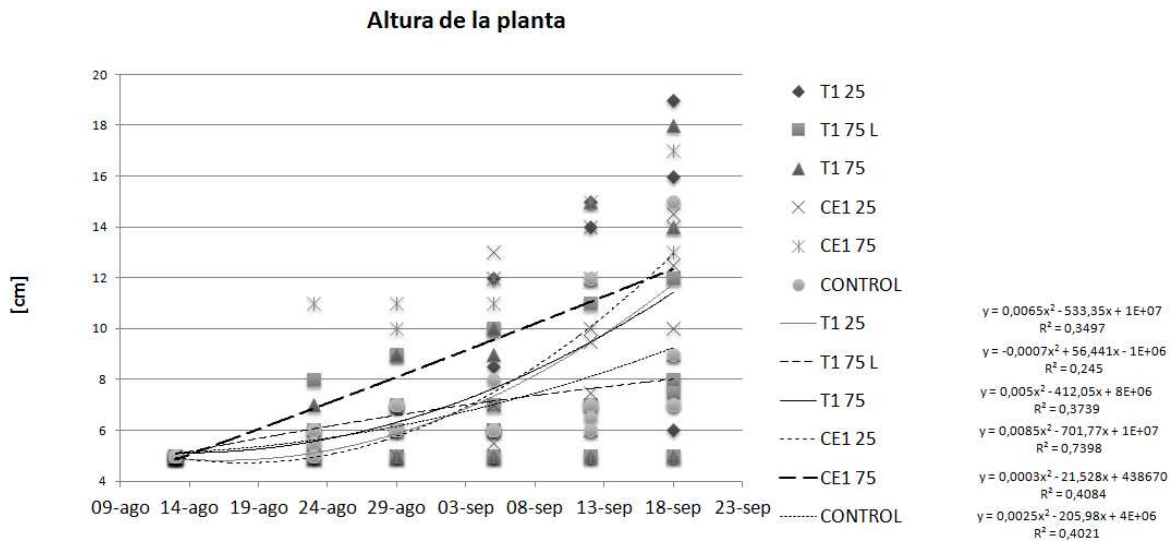


Figura 9. Evolución de la altura de las plantas durante el ensayo (tratamientos T1, CE1 y Control).

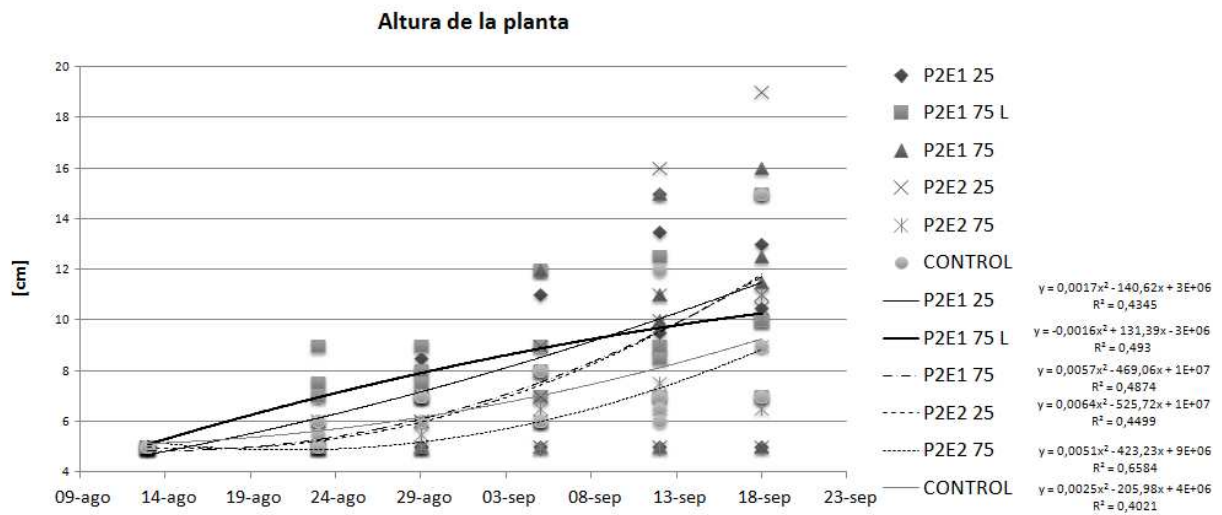


Figura 10. Evolución de la altura de las plantas durante el ensayo (tratamientos P2E1, P2E2 y Control).

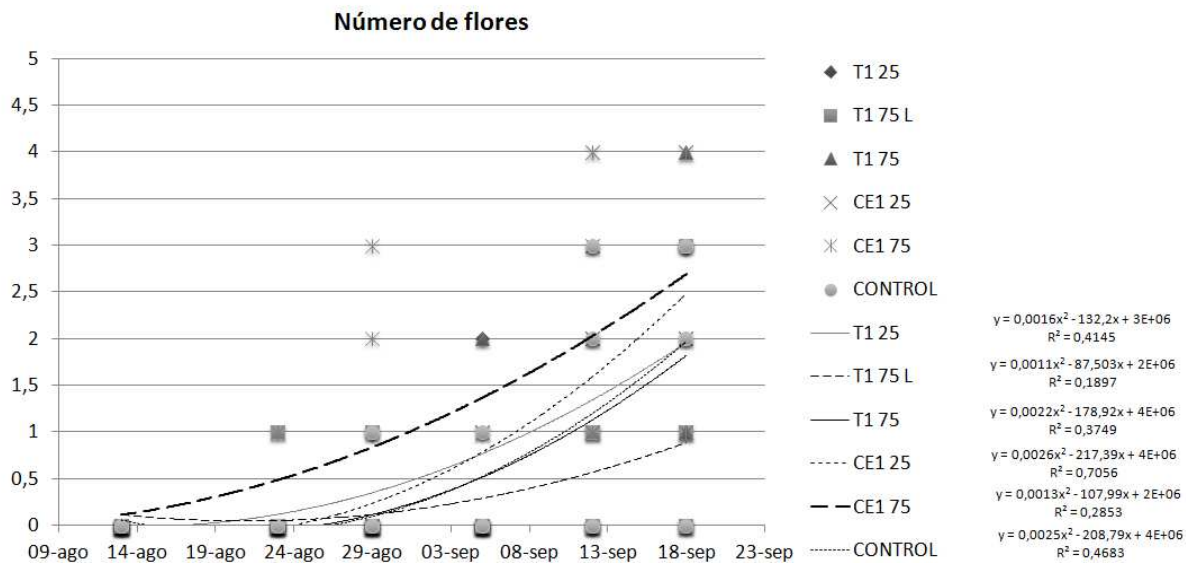


Figura 11. Evolución del número de flores durante el ensayo (tratamientos T1-CE1).

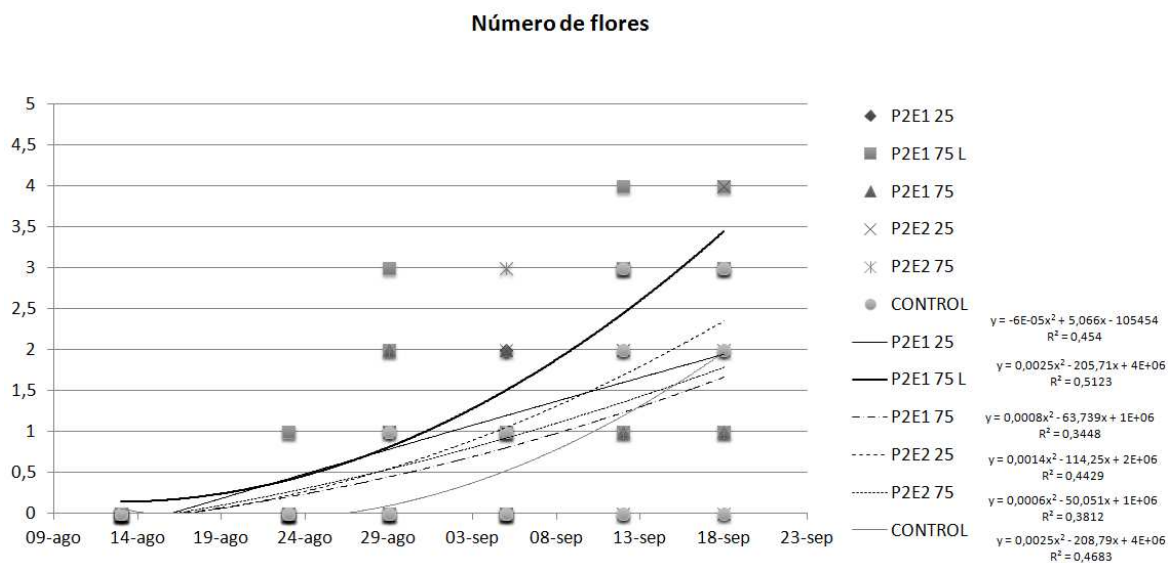
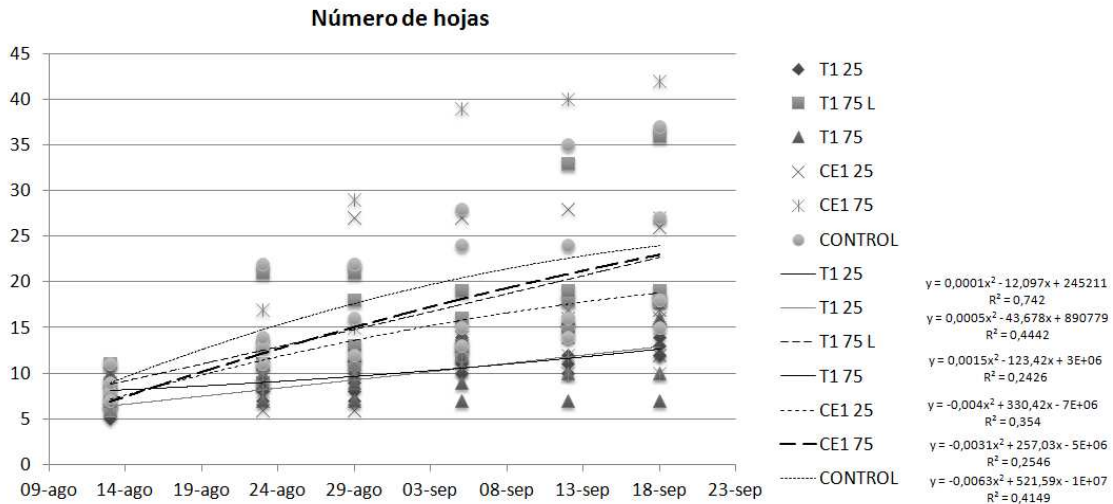
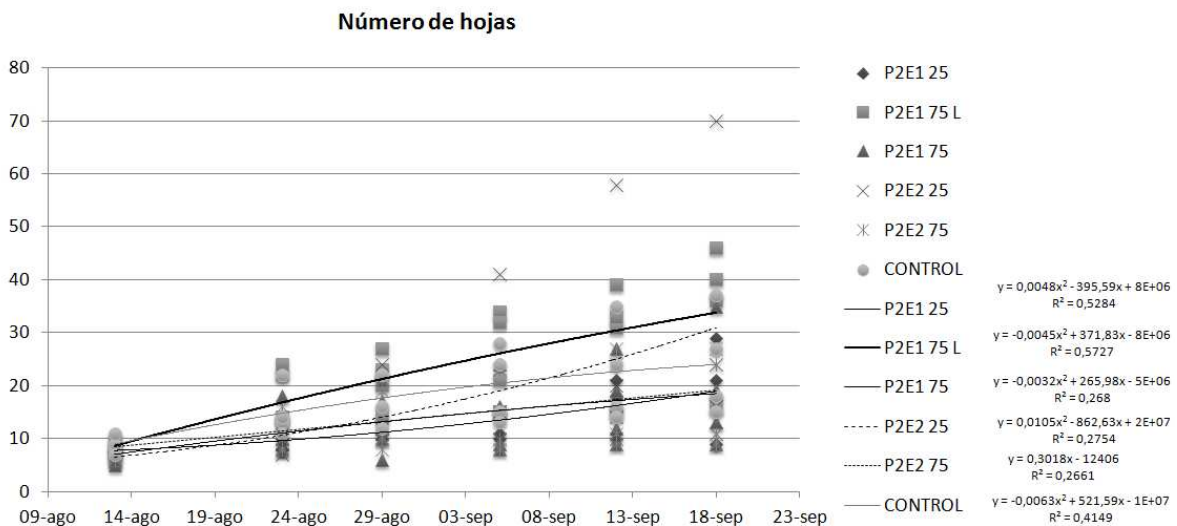


Figura 12. Evolución del número de flores durante el ensayo (tratamientos P2E1, P2E2 y Control).



**Figura 13.** Evolución del número de hojas durante el ensayo (tratamientos T1, CE1 y Control).



**Figura 14.** Evolución del número de hojas durante el ensayo (tratamientos P2E1, P2E2 y Control).

En los dos tratamientos lavados (T1-75L y P2E1-75L) se observan plantas mayores y con un mayor número de hojas y flores (vs. no lavado) en las primeras etapas de desarrollo (Figuras 9-14).

El compost de origen vegetal (CE1) al 75% tiene mejores resultados de precocidad (respecto al 25%) en cuanto a la altura, número de hojas y número de flores (Figuras 9, 11 y 13).

Aunque este efecto se observó claramente en las mezclas de compost vegetales, no se vieron diferencias tan claras en los tratamientos en los que se emplearon residuos cárnicos en forma de compost. No obstante, en las siguientes líneas se comentan también algunas tendencias.

Con un volumen de compost del 25% (Figura 10), el tratamiento P2E1 presentó plantas más altas en estados de desarrollo tempranos, mientras que en el tratamiento P2E2 esta tendencia se observó en todas las fases de desarrollo. Sin embargo, en el caso del T1, esto ocurría con la mezcla del 75% (Figura 9). Según el estudio realizado por Bugbee *et al* (1991), en general, las 3 especies cultivadas en maceta (ornamentales) crecían más conforme aumenta la dosis de compost. Hecho que no coincide con los resultados de Ku (2000), en el que se observó que se redujo la altura y diámetro de los crisantemos conforme aumentaba la dosis de compost (biosólidos, estillas, polímeros, restos de jardín o la cama de los pollos), cosa que se achacaba a la mayor CE y pH.

En los tratamientos T1, P2E1 y P2E2 el número medio de hojas (en estados tempranos) es mayor en la mezcla del 75% respecto al 25%, aunque en comparación con el Control, los valores son más bajos (en ambas mezclas, al 25 y 75%) (Figuras 13 y 14).

La producción de flores en el caso de la mezcla de los compost T1 y P2E1 del 75% presentaron mayor precocidad en la floración en comparación con las mezclas del 25% (Figuras 11 y 12). Asimismo, en estados tempranos de desarrollo, los tratamientos con compost presentaron un mayor número de flores respecto al Control.

## 6. CONCLUSIONES

- I. Los materiales estudiados, pueden utilizarse con éxito como sustitutivos parciales de la turba.
- II. La utilización del compost doméstico con fines agrícolas, constituye un medio sostenible en la gestión de residuos orgánicos domésticos.
- III. El compost de origen doméstico se puede aplicar a dosis altas (75%), sin que esto repercuta de forma negativa en el crecimiento de las plantas.
- IV. El lavado es eficaz para disminuir la conductividad eléctrica, aunque en el cultivo no hay diferencias entre los lavados y los no lavados.
- V. El uso de lavados con un volumen de más de 3 veces el del propio compost, es suficiente para acondicionarlo previo al uso como sustrato en cultivo sin suelo.
- VI. El contenido de metales pesados en compost de residuos hortícolas fue inferior a los límites permitidos en la normativa vigente y/o a las recomendaciones para su uso como sustrato.
- VII. El compost proveniente de restos cárnicos tiene buenas propiedades físico-químicas, si se compara con el tratamiento compuesto únicamente por restos vegetales, ya que se ve que presencia de carne en el compost no tiene efectos negativos

# 7. BIBLIOGRAFÍA

- **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.
- **An, P., Inanaga, S., Lux, A., Li, X. J., Ali, M. E. K., Matsui, T., y Sugimoto, Y.** (2002). Effects of salinity and relative humidity on two melon cultivars differing in salt tolerance. *Biologia plantarum*, 45(3), 409-415
- **Ansorena, J.** (1994). Sustratos: propiedades y caracterización. Ed. Mundi-Prensa.
- **Ansorena, J.** (2011). La legislación Europea de tratamiento biológico de biorresiduos de cocina. *In "Compostaje de residuos orgánicos y seguridad medioambiental"* (J. I. Lopez Fernandez, M. Navarro Gonzalez and C. Rad Moradillo, eds.). Universidad de Burgos, Burgos.
- **Antoniazzi, L.** (2007). El cultivo de la viola. *Revista Horticultura*, 199, 44-47.
- **Anuario de estadísticas agrarias del Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente**, 2011.
- **Alexander, S. V.** (1993). Pollution control and prevention at containerized nursery operations. *Water Science & Technology* 28, 509-517.
- **Alexander, P. D.** (2009). An assessment of the suitability of backyard produced compost as a potting soil. *Compost Science and Utilization* 17, 74-84.
- **Altland, J. E., Gilliam, C. H., Keever, G. J., Edwards, J. H., Sibley, J. L., y Fare, D. C.** (2003). Rapid determination of nitrogen status in pansy. *HortScience*, 38(4), 537-541.
- **Atiyeh, R., Subler, S., Edwards, C., Bachman, G., Metzger, J., y Shuster, W.** (2000). Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44, 579-590.
- **Boldrin, A., Hartling, K. R., Laugen, M., y Christensen, T. H.** (2010). Environmental inventory modelling of the use of compost and peat in growth media preparation. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1250-1260.
- **Bugbee, G. J., Frink, C. R., & Migneault, D.** (1991). Growth of perennials and leaching of heavy metals in media amended with a municipal leaf, sewage sludge and street sand compost. *J. Environ. Hort*, 9 (1), 47-50.
- **Burés, S.** (1997). Sustratos. Ediciones Agrotécnicas.
- **Calkins, J. B., Jarvis, B. R., y Swanson, B. T.** (1997). Compost and rubber tire chips as peat substitutes in nursery container media: growth effects. *Journal of Environmental Horticulture*, 15, 88-94.
- **Carrión, C., Abad, M., Maquieira, A., Puchades, R., Fornes, F., y Noguera, V.** (2005). Leaching of composts from agricultural wastes to prepare nursery potting media. *In International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics* 697, 117-124.



- **Cassaniti, C., Romano, D., Hop, M. E. C. M., y Flowers, T. J.** (2012). Growing floricultural crops with brackish water. *Environmental and Experimental Botany*.
- [http://www.cebas.csic.es/general\\_spain/ionomica.html](http://www.cebas.csic.es/general_spain/ionomica.html), 2013-08-05.
- **Climent, M. D., Abad, M., y Aragón, P.** (1996). El compost de residuos sólidos urbanos (RSU): sus características y aprovechamiento en agricultura. Universidad Politécnica de Valencia. Capítulos 5 y 6.
- **Cretu, A., Fisher, P. R., y Argo, W. R.** (2009). The Effect of Leaching on Electrical Conductivity and Nitrogen in Propagation Media. *International Symposium on Growing Media and Composting 891*, 103-109.
- **Criner, G., Kezis, A., y O'Connor, J.** (1995). Regional Composting of waste paper and food. *BioCycle* 36. 66-67.
- **Chong, C., Cline, R., Rinker, D., y Allen, O.** (1991). Growth and mineral nutrient status of containerized woody species in media amended with spent mushroom compost. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116, 242-247.
- **Dalbato, A. L., Kobza, F., y Karlsson, L. M.** (2013). Effect of polyploidy and pollination methods on capsule and seed set of pansies (*Viola wittrockiana* Gams). *Horticultural Science*, 40(1), 22-30.
- **Del Amor, F. M., Martínez, V., y Cerda, A.** (2001). Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. *Hortscience*, 36(7), 1260-1263.
- **De las Heras, J., Fabeiro, C., y Meco, R.** (Eds.). (2003). *Fundamentos de la agricultura ecológica: realidad actual y perspectivas* (Vol. 41). Univ de Castilla La Mancha. 109-134.
- **Dimambro, M. E., Lillywhite, R. D., y Rahn, C. R.** (2007). The physical, chemical and microbial characteristics of biodegradable municipal waste derived composts. *Compost Science & Utilization* 15, 243-252.
- **Eklind, Y., Salomonsson, L., Wivstad, M., y Ramert, B.** (1998). Use of herbage compost as horticultural substrate and source of plant nutrients. *Biological Agriculture and Horticulture* 16.
- **Eweis, J., Ergas, S., Cha, D y Schoroeder, E.** (1999). Principios de Biorrecuperación. MacGraw-Hill. España. Madrid.
- **Federación Española de Asociaciones de Productores Exportadores de Frutas, Hortalizas, Flores y Plantas Vivas (FEPEX).** Exportaciones e importaciones. <http://www.fepex.es/datos-del-sector/exportacion-importacion-espaa%3%B1ola-flores-plantas>. Datos de 2012. 2014-01-25.
- **Fornes, F., Carrión, C., García-de-la-Fuente, R., Puchades, R., y Abad, M.** (2010). Leaching composted lignocellulosic wastes to prepare container media: Feasibility and environmental concerns. *Journal of environmental management*, 91(8), 1747-1755.
- **García-Gómez, A., Bernal, M. P., y Roig, A.** (2002). Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. *Bioresource Technology*, 83(2), 81-87.
- **Gils, J., Chong, C., y Lumis, G.** (2005). Response of container-grown ninebark to crude and nutrient-enriched recirculating compost leachates. *HortScience* 40, 1507-1512.

- **Gonani, Z., Riahi, H, y Sharifi, K.** (2011). Impact of using leached spent mushroom compost as a partial growing media for horticultural plants. *Journal of plant nutrition*, 34(3), 337-344.
- **Hansen, N. C.** (2002). Land application of mortality compost to improve soil and water quality. *Minnesota Dept. Agric. Greenbook*, 30-32.
- **Hendriks, L.** (1987). Viola wittrockiana need low salt levels. Choice of the right substrate determines the sale quality. *Gb+ Gw Gaertnerboerse und Gartenwelt*, 87.
- **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 Technology* 99, 287-296.
- **Hicklenton, P. R., Rodd, V., y Warman, P. R.** (2001). The effectiveness and consistency of source-separated municipal solid waste and bark composts as components of container growing media. *Scientia Horticulturae* 91, 365-378.
- **Hou, X., y Jones, B. T.** (2000). Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*.
- **Instrucciones del aparato Minolta**, <http://sensing.konicaminolta.com.mx/products/spad-502plus/>, 2014-03-19.
- **Jarecki, M. K., Chong, C., y Voroney, R. P.** (2012). Evaluation of Compost Leachate for Growing Nursery Trees on a Waste-Rehabilitated Field Site. *Compost Science and Utilization* 20, 171-180.
- **Kelly, R. O., Deng, Z., y Harbaugh, B. K.** (2006). Evaluation of viola cultivars as bedding plants and establishment of the best-of-class. *HortTechnology*, 16 (1), 167-171.
- **Kuehny, J. S., y Morales, B.** (1998). Effects of salinity and alkalinity on pansy and impatiens in three different growing media. *Journal of plant nutrition*, 21(5), 1011-1023.
- **Ku, CSM.** (2000). Effects of compost feedstock and blending of compost on production of potted chrysanthemums. Proceedings of the International Composting Symposium (ICS'99). 885-904.
- **Labrador, J., Guiberteau, A., López, L., y Reyes, J.L.** (1993). La materia orgánica en los sistemas agrícolas. Manejo y utilización. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Número 3. Hojas Divulgadoras.
- **Labrador, J.** (1996). La materia orgánica en los agrosistemas. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid, España.* Capítulos 5 y 7.
- **Lazcano, C., y Dominguez, J.** (2010). Effects of vermicompost as a potting amendment of two commercially-grown ornamental plant species. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(4), 1260-1270.
- **Ley 22/2011**, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- **MAGRAMA**, 2011. [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Programa\\_de\\_preveni%C3%B3n\\_aprobado\\_14-20\\_tcm7-310254.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Programa_de_preveni%C3%B3n_aprobado_14-20_tcm7-310254.pdf), 2014-01-13
- **MAGRAMA**, 2014. [http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/sustratos-cultivo/consulta\\_tipo\\_01.asp](http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/sustratos-cultivo/consulta_tipo_01.asp), 2014-01-20

- **Mancomunidad de la Comarca de Pamplona/Iruñerriko Mankomunitatea**, Memoria, 2010. [http://www.mcp.es/sites/default/files/memorias/memoria2010/files/pdfs/memoriaMCP2010\\_es.pdf](http://www.mcp.es/sites/default/files/memorias/memoria2010/files/pdfs/memoriaMCP2010_es.pdf), 2014-01-23
- **Mazuela, P.** (2005). Caracterización y evaluación agronómica del compost de residuos hortícolas como sustrato alternativo en cultivos sin suelo. Tesis doctoral, Universidad de Almería.
- **Mazuela, P., y Urrestarazu, M.** (2009). The effect of amendment of vegetable waste compost used as substrate in soilless culture on yield and quality of melon crops. *Compost Science and Utilization*, 17(2), 103-107.
- **Mendoza, D. J.** (2010). Vermicompost y compost de residuos hortícolas como componentes de sustratos para la producción de planta ornamental y aromática. Caracterización de los materiales y respuesta vegetal. Tesis Doctoral.
- **Motos, J. R., Días, R. S., Mirás Avalos, J. M., y Vidal Vázquez, E.** (2010, August). Methodology for Assessing the Quality Standard of *Viola wittrockiana*. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 937* (pp. 987-992)
- **Moreno, J., y Moral, R.** (2008). Compostaje. *Moreno Casco, J. y Moral Herrero, R. Madrid.*
- **Niu, G., Heins, R. D., Cameron, A. C., y Carlson, W. H.** (2000). Day and night temperatures, daily light integral, and CO<sub>2</sub> enrichment affect growth and flower development of pansy (*Viola wittrockiana*). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(4), 436-441.
- **Plana, R.** (2011). <https://upnatv.unavarra.es/compost-dia2-2>, minuto 60. 2014-01-27.
- **RAE: www.rae.es**, 2014-01-08.
- **Rajabalipour, F., Zade, A. A., y Bakhtiari, S.** (2013). Effect of priming solution, concentration and duration on pansy (*Viola tricolor L. var. arvensis*) seed germination and vegetative parameters. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(12), 3262-3266.
- **Raviv, M.** (2011). The future of composts as ingredients of growing media. In *International Symposium on Growing Media and Composting 89*. 19-32.
- **Real Decreto 1481/2001**, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
- **Real Decreto 140/2003**, do 7 de febrero, por lo que se establecen los criterios sanitarios de calidad de agua de consumo humano.
- **Real Decreto 824/2005**, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.
- **Real Decreto 865/2010**, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo.
- **Real Decreto 1039/2012**, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo.
- **Real Decreto 506/2013**, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.
- **Revel, J., Morard, P., Bailly, J., Labbe, H., Berthout, C., y Kaemmerer, M.** (1999). Plants' use of leachate derived from municipal solid waste. *Journal of environmental quality* 28, 1083-1089.

- **Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Cegarra, J., BEMAL, M. P., Noguera, P., Abad, M., y Antón, A.** (2004). Composts as media constituents for vegetable transplant production. *Compost science and utilization* 12, 161-168.
- **Terrón, P. U.** (1992). *Tratado de fitotecnia general*. Mundi-Prensa Libros.
- **Trémier, A.** (2012). "ECCOVAL. Vers un plus grand engagement des citoyens bretons dans la gestion de leurs déchets: comment valoriser la pratique du compostage individuel et du compostage de proximité comme outil de gestion domestique des déchets menagers." IRSTEA/CEMAGREF, Rennes , FR.
- **Valdez-Aguilar, L. A., y Reed, D. W.** (2007). Response of selected greenhouse ornamental plants to alkalinity in irrigation water. *Journal of plant nutrition*, 30(3), 441-452.:
- **Vaughan, S. M., Dalal, R. C., Harper, S. M., y Menzies, N. W.** (2011). Effect of fresh green waste and green waste compost on mineral nitrogen, nitrous oxide and carbon dioxide from a Vertisol. *Waste management*, 31(8), 1720-1728.
- **Vazquez, M. A., de la Varga, D., y Soto, M.** (2012). La calidad en el compostaje doméstico en Galicia. In "III Jornadas de la Red Española de Compostaje" (M. T. Barral Silva, ed.), Santiago de Compostela.
- **Vidussi, F., y Rynk, R.** (2001). Meat byproducts as composting feedstocks. *BioCycle, March*, 71-74.
- **Villarino, G. H., y Mattson, N. S.** (2011). Assessing tolerance to sodium chloride salinity in fourteen floriculture species. *HortTechnology*, 21 (5), 539-545.
- **Xia, Y. P., Stoffella, P. J., He, Z. L., Zhang, M. K., Calvert, D. V., Yang, X. E., y Wilson, S. B.** (2007). Leaching potential of heavy metals, nitrogen, and phosphate from compost-amended media. *Compost science and utilization*, 15 (1), 29-33.
- **Young, J. R., Holcomb, E. J., y Heuser, C. W.** (2002). Greenhouse growth of marigolds in three leached sources of spent mushroom compost over a 3-year period. *HortTechnology* 12, 701-705.
- **Zawadzińska, A., y Janicka, D.** (2007). Effects of compost media on growth and flowering of parviflorous garden pansy (*Viola x wittrockiana* Gams.). Part II. Plant flowering and decorative value. *Acta Agrobotanica*, 60 (2), 167-171.
- **Zhang, M. K., He, Z. L., Stoffella, P. J., Calvert, D. V., Yang, X. E., Xia, Y. P., y Wilson, S. B.** (2004). Solubility of Phosphorus and Heavy Metals in Potting Media Amended with Yard Waste-Biosolids Compost. *Journal of environmental quality*, 33(1), 373-379.
- **Zheljzkov, V. D., y Warman, P. R.** (2004). Source-separated municipal solid waste compost application to Swiss chard and basil. *Journal of environmental quality* 33, 542-552.

# ANEXOS

## 1. Estadillo de lavado

fecha	tratamiento	volumen riego (L)	volumen drenaje acumulado (L)	CE drenaje	CE drenaje acumulado	observaciones
	T1 75 L (I)					
	T1 75 L (II)					
	T1 75 L (III)					
	T1 75 L (IV)					
	P2E1 75 L (I)					
	P2E1 75 L (I)					
	P2E1 75 L (I)					
	P2E1 75 L (I)					

## 2. Parámetros destructivos - cosecha final

fecha \_\_\_\_\_

tratamiento	repetición	PF(g) flores	PF(g) parte aérea	PF(g) raíz	PF(g) planta	PS (g) planta (ESTUFA)
X	I					
X	II					
X	III					
X	IV					

### 3. Parámetros no destructivos e intermedios -cosecha final

fecha \_\_\_\_\_

tratamiento	repetición	fase fenológica	altura (cm)	nºtallos	diámetro tallo principal (cm)	nº flores	media diámetro flores (cm)	nº hojas	observaciones
X	I								
X	II								
X	III								
X	IV								