



# **UTILIZACIÓN DE COMPOST Y VERMICOMPOST COMO SUSTITUTOS PARCIALES DE LA TURBA PARA EL DESARROLLO DE ESPECIES VEGETALES MEDITERRÁNEAS**

**ALEXANDRA MONTALBO CAMPELLO**

Tutora: María de los Ángeles Bustamante Muñoz  
Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente  
Área de Ingeniería Química  
Grado en Ciencias Ambientales, curso 2017-2018  
Facultad de Ciencias Experimentales

## **Resumen**

Este trabajo pretende estudiar el efecto del uso de compost y vermicompost como componentes de sustratos de cultivo en sustitución a la turba en cultivos de adelfa (*Nerium oleander* L.) y en las propiedades de los sustratos elaborados. Para ello se realizó un experimento en el que se ensayaron mezclas binarias, utilizando como ingredientes los materiales orgánicos seleccionados (compost y vermicompost), mezclados con un sustrato comercial (turba) en diferentes proporciones respecto al volumen (v:v): 0%, 20%, 40%, 60% y 80% de material orgánico. El sustrato comercial de turba se utilizó como tratamiento control. Para evaluar la aptitud como sustrato de las diferentes mezclas se analizaron parámetros físico-químicos, químicos y físicos. El efecto sobre la planta se evaluó estudiando la biomasa fresca y seca de la parte aérea y de las raíces.

**Palabras clave:** Compost, vermicompost, turba, sustratos, adelfa.

## **Abstract**

This work aimed to study the effect of the use of compost and vermicompost as components of growing media to replace peat for the production of oleander (*Nerium oleander* L.) and in the properties of the substrates elaborated. For this an experiment was carried out, in which binary mixtures were tested using as ingredients the selected organic materials (compost and vermicompost) mixed with a commercial substrate (peat) in different proportions (volume:volume, v:v): 0%, 20%, 40%, 60% and 80% of the organic material. The commercial substrate of peat was used as control treatment. To evaluate the feasibility as growing media of the different mixtures, physico-chemical, chemical and physical parameters were analysed. The effect on the oleander seedlings, the fresh and dry biomass of the aerial part and of the roots were studied.

**Keywords:** Compost, vermicompost, peat, substrates, oleander.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Pilar por su paciencia y gran ayuda en el laboratorio y fuera de él.

A mi tutora Marian por su gran esfuerzo y apoyo.

A todas las personas del laboratorio del grupo de investigación GIAMMA (EPSO-UMH) por la ayuda prestada y simpatía haciendo más amenas las horas de trabajo.

Al personal del vivero forestal de Guardamar del Segura por cuidar tan bien las plantas durante el experimento.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
1.1. Definición de sustrato.....	4
1.2. Composición y tipología.....	4
1.3. Propiedades de un buen sustrato.....	5
1.4. Problemática asociada al uso de la turba.....	9
1.5. Sustratos alternativos a la turba.....	10
1.6. Compost y vermicompost como materiales alternativos a la turba.....	11
1.7. Normativa asociada.....	13
<b>2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
3.1. Infraestructura utilizada y localización.....	16
3.1.1. Vivero forestal.....	16
3.1.2. Condiciones del área.....	16
3.2. Características de los materiales utilizados.....	17
3.2.1. Sustrato comercial.....	17
3.2.2. Compost.....	18
3.2.3. Vermicompost.....	18
3.3. Material vegetal.....	20
3.3.1. Descripción botánica, taxonómica y fisiológica.....	20
3.3.2. Exigencias climáticas y edáficas.....	20
3.3.3. Plagas y enfermedades de mayor incidencia.....	20
3.4. Diseño y desarrollo experimental.....	20
3.4.1. Preparación de los sustratos.....	21
3.4.2. Cronología del experimento y seguimiento en el invernadero.....	22
3.4.3. Recogida y procesado de las plántulas.....	23
3.5. Métodos analíticos empleados.....	24
3.6. Métodos estadísticos.....	26
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
4.1. Características de los sustratos empleados.....	27
4.1.1. Propiedades físico-químicas y químicas.....	27
4.1.2. Propiedades físicas.....	29
4.2. Efectos sobre el material vegetal.....	34
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>36</b>
<b>6. PROYECCIÓN FUTURA.....</b>	<b>37</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>38</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Definición de sustrato**

Se denomina “sustrato” a cualquier material sólido y poroso diferente del suelo que colocado dentro de un contenedor pueda servir de anclaje a las raíces de la planta y permita una libre circulación del agua y los gases. El sustrato puede ser de naturaleza mineral u orgánica, y con (o sin) actividad química y biológica (sustratos activos o inertes, respectivamente), lo que alterará de alguna manera la disolución nutritiva aportada (Abad y col., 1992). Los materiales que componen un sustrato se seleccionan en base a su disponibilidad, coste, facilidad de manejo, ausencia de semillas de malas hierbas, insectos, patógenos o ausencia de fitotoxicidad. Un sustrato adecuado debe ser: químicamente inerte, fácil de conseguir, de bajo costo, retentivo, no salino y durable (que no se descomponga o degrade con facilidad) (Chang y col., 2004). Los objetivos de los sustratos son favorecer la emergencia de las plantas y su crecimiento, regular su nutrición, aprovechar el espacio y facilitar la comercialización y el transporte, permitiendo el anclaje del sistema radicular y asegurando una buena circulación del agua y los gases, con el principal objetivo de producir plantas de calidad en el periodo de tiempo más corto posible y con los menores costes de producción (Martínez y Roca, 2011) y donde el sustrato puede intervenir o no en los procesos de nutrición de las plantas (Jiménez y Caballero, 1990). Para poder garantizar el éxito de un cultivo, el sustrato debe poder mantenerse como un factor fijo. Y para ello hay que conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus principales componentes además de determinarlas para cada mezcla particular, pues las variaciones suelen ser muy importantes (Burés, 1997).

### **1.2 Composición y tipología**

Un sustrato está principalmente formado por una fracción sólida y un espacio poroso. El espacio poroso puede estar ocupado por la fracción líquida, que contiene los elementos minerales u orgánicos en suspensión, y la fracción gaseosa, cuya composición depende del aire atmosférico y la actividad de raíces y microorganismos. Hay que tener en cuenta que la mayoría de sustratos son dinámicos en cuanto a su composición química. Este sistema sustrato-planta está formado por tres fracciones cada una con una función propia y en equilibrio: la parte sólida asegura la estabilidad de la planta y el mantenimiento mecánico del sistema radicular; la fracción líquida aporta agua y por la interacción con la fracción sólida los nutrientes necesarios y la parte gaseosa asegura la transferencia del oxígeno y el dióxido de carbono en la rizosfera (Amor y Gómez-López, 2009). Estas fracciones dependerán de la naturaleza del medio y condiciones externas de drenaje, temperatura y humedad,

variando debido a estas su proporción en el sustrato. Además, las fracciones sólida y gaseosa tiene incidencia sobre la composición química de la fracción líquida. Un buen conocimiento de dichas fracciones permitirá el manejo adecuado de la fertilización y el riego, influyendo en consecuencia en el éxito del cultivo. En cuanto a la tipología de los sustratos, pueden intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta, por lo que se pueden clasificar como químicamente activos (turbas, corteza de pino, fibra de coco, etc.) más utilizados actualmente en el cultivo comercial de hortalizas, o químicamente inertes (lana de roca, perlita, roca volcánica, etc.), empleados para el cultivo de plantas ornamentales en contenedor, para semilleros de plántulas hortícolas y en viveros de producción de especies leñosas (Carmona y Abad, 2008). Otra clasificación de los sustratos se puede hacer dependiendo de si son orgánicos o inorgánicos:

- Los orgánicos pueden ser de origen natural como la turba, de síntesis química como algunos polímeros orgánicos no degradables y de materiales orgánicos procedentes de subproductos y residuos de las diferentes actividades humanas. Este último grupo suele necesitar de un proceso previo de compostaje para hacerlo adecuado a su uso como sustratos.

- Los materiales inorgánicos pueden ser de origen natural obtenidos a partir de rocas o minerales apenas modificados como la tierra volcánica, transformados o tratados procedentes de rocas o minerales como la perlita o la lana de roca y los residuos y subproductos de actividades industriales como los residuos de carbón.

Los materiales utilizados para la fabricación de sustratos se deben seleccionar en base a su fácil reproducibilidad y disponibilidad, de las condiciones climáticas y la especie cultivada, que sean de bajo coste y fáciles de mezclar y que estén libres de semillas de adventicias y de patógenos, además de que no presenten problemas de fitotoxicidad (Quintero y col., 2011).

### **1.3. Propiedades de un buen sustrato**

Resulta imprescindible conocer las propiedades físicas, físico-químicas y biológicas de los sustratos. Estas condicionan en mayor medida los cultivos en contenedor y determinan posteriormente su manejo (López-Cuadrado y col., 2006). En la Tabla 1.1 se muestran las principales propiedades que debe presentar un sustrato.

Las propiedades físicas resultan limitantes ya que no es posible alterarlas una vez la planta ha comenzado a desarrollarse en el medio de cultivo. En la siguiente tabla (Tabla 1.2) se detallan los intervalos óptimos para las propiedades físicas de un sustrato ideal.

Tabla 1.1. Principales propiedades de los sustratos.

<b>Propiedades físicas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elevada retención de agua fácilmente disponible</li><li>• Suficiente suministro de aire</li><li>• Distribución de tamaño de las partículas que mantengan las condiciones adecuadas.</li><li>• Baja densidad aparente</li><li>• Elevada porosidad</li><li>• Estructura estable, impide la contracción(o hinchazón) del sustrato o fluido.</li></ul>
<b>Propiedades químicas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Moderada capacidad de intercambio catiónico</li><li>• Suficiente nivel de nutrientes asimilables</li><li>• Baja salinidad</li><li>• Elevada capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH.</li><li>• Mínima velocidad de descomposición del sustrato.</li></ul>
<b>Otras propiedades</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Libre de semillas de malas hierbas y de patógenos.</li><li>• Reproductibilidad y disponibilidad. Bajo coste.</li><li>• Fácil de desinfectar y estabilidad ante la desinfección.</li><li>• Resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.</li></ul>

Fuente: Raviv y col. (1986); Abad y col. (1993).

Las propiedades químicas, en cambio, sí pueden ser alteradas con las técnicas adecuadas (De Boodt y Verdonck, 1971; Wilson, 1983; Abad y col., 2002; Higashikawa y col., 2010). En la Tabla 1.3 se muestran los rangos óptimos de las diferentes propiedades físico-químicas y químicas en un buen sustrato. Las propiedades más relevantes asociadas a un sustrato:

- **Salinidad.** La presencia de altas concentraciones de sales como el sodio, bloquea la absorción de otros cationes monovalentes que si son útiles para la nutrición de las plantas. En los sustratos también bloquea los complejos de intercambio de iones. La salinidad de un sustrato debe tener valores muy bajos ya que de lo contrario se podría provocar fitotoxicidad en los cultivos. Este parámetro debe ser controlado constantemente, ya que con el riego o la fertirrigación puede aumentar su concentración, llegando a valores nocivos para las plantas, pudiéndose reducir solamente mediante el lavado con agua de muy buena calidad.

**Tabla 1.2.** Intervalos óptimos para las propiedades físicas de los sustratos de cultivo. Abad y col. (1992), y Noguera y col. (2003).

Propiedad física	Unidades	Nivel óptimo
Tamaño de las partículas	mm	0,25 - 2,50
Densidad aparente	g cm <sup>-3</sup>	< 0,4
Densidad de partícula	g cm <sup>-3</sup>	1,45 - 2,65
Espacio poroso total	% vol	> 85
Retención de agua a potencial:		
-1 kPa	%vol.	55-70
-5 kPa	%vol	31-40
-10 kPa	%vol	25-31
Capacidad de aireación <sup>1</sup>	% vol	20 - 30
Agua fácilmente disponible <sup>2</sup>	% vol	20 - 30
Agua de reserva <sup>3</sup>	% vol	4 - 10
Agua total disponible <sup>4</sup>	%vol	24-40
Contracción <sup>5</sup>	% vol	< 30

<sup>1</sup>Contenido de aire a potencial de -1 kPa.

<sup>2</sup>Contenido de humedad entre potenciales de -1 y -5 kPa.

<sup>3</sup>Contenido humedad entre potenciales de -5 y -10 kPa.

<sup>4</sup>Contenido humedad entre potenciales de -1 y -10 kPa.

<sup>5</sup>Pérdida de volumen respecto al volumen aparente inicial al secarse a 105 °C.

- **pH.** El pH de un sustrato debe ser el idóneo para favorecer la absorción de nutrientes por parte de la planta. Por otro lado, los sustratos deben tener una capacidad tampón adecuada que amortigüe los posibles cambios bruscos de pH.
- **Aireación.** Los sustratos adecuados deben tener una capacidad de aireación óptima, para que el intercambio gaseoso con las raíces permitan el desarrollo deseado.
- **Porosidad.** La porosidad de un medio de cultivo es el porcentaje de su volumen que no se encuentra ocupado por la fase sólida, la relación entre el volumen de poros y el volumen total que el medio ocupa. Este valor varía en función del tamaño de partícula y los tipos de material.
- **Capacidad de retención de agua.** Esta depende de la porosidad del material. El agua disponible dependerá de la cantidad total de agua retenida y del modo en que esta sea distribuida por los poros ya que, si son grandes se perderá por gravedad y si son pequeños quedará fuertemente retenida y no estará disponible para las plantas.



**Tabla 1.3.** Intervalos óptimos para las propiedades físico-químicas y químicas de un sustrato de cultivo (Abad y col. (1992) y Noguera y col. (2003)).

<b>Propiedad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Intervalo óptimo</b>
pH (pasta saturada)	-	5,2 - 6,3
C.E (extracto saturado)	dS m <sup>-1</sup>	0,75 - 3,5
Capacidad de cambio catiónico	meq/100g	> 20
Materia orgánica total	%	> 80
Cenizas	%	< 20
Relación C/N	-	20 - 40
Elementos asimilables (extracto saturado):		
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	100 - 199
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0 - 20
P	mg L <sup>-1</sup>	6 - 10
K	mg L <sup>-1</sup>	150 - 249
Ca	mg L <sup>-1</sup>	> 200
Mg	mg L <sup>-1</sup>	> 70
Fe	mg L <sup>-1</sup>	0,3 - 3,0
Mn	mg L <sup>-1</sup>	0,02 - 3,0
Mo	mg L <sup>-1</sup>	0,01 - 0,1
Zn	mg L <sup>-1</sup>	0,3 - 3,0
Cu	mg L <sup>-1</sup>	0,001 - 0,5
B	mg L <sup>-1</sup>	0,05 - 0,5
Cl <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	< 180
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	< 960
Na <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	< 115

- **Capacidad de intercambio catiónico.** Se expresa en meq/100g. Valores de CIC >20 meq/100 g se consideran adecuados para la mayoría de los cultivos.
- **Materia orgánica.** Su presencia mejora las propiedades físicas, contribuye a la estabilización de la temperatura y a la activación enzimática de las raíces entre otros factores.
- **Densidad.** La densidad representa el peso específico del sustrato seco expresado en g/cm<sup>3</sup>. La densidad se utiliza para saber que preparación de mezclas hacer, ejecución del análisis químico en base a volumen.

- **Relación C/N.** Esta relación permite seguir el ritmo de humificación de la materia orgánica de un material. Una relación C/N alta indica una tasa de mineralización baja y consiguientemente habrá que aplicar abonos minerales nitrogenados.

#### **1.4. Problemática asociada al uso de la turba**

La problemática en el uso de la turba como sustrato se puede abordar desde diferentes enfoques:

##### a) Desde el punto de vista técnico

Las opciones para un correcto manejo de los sustratos pasan por la adecuación del agricultor a las características del sustrato que está utilizando o que el sustrato se prepare de acuerdo a las exigencias del cultivo y al modo de cultivar del agricultor. Tradicionalmente se ha utilizado la turba como sustrato para el cultivo sin suelo debido a sus buenas propiedades tanto físicas (baja densidad aparente y alta porosidad total, lo que proporciona unas buenas propiedades de aireación y retención de agua, además de facilitar el transporte y reducir los gastos asociados al mismo) como químicas (valores de capacidad de intercambio catiónico normalmente altos, con una buena capacidad de almacenar nutrientes disponibles para las plantas). A pesar de ello, no es un sustrato perfecto, ya que presenta un pH ácido y unos valores bajos de nutrientes que hacen necesario el aporte de cal y nutrientes para favorecer el desarrollo óptimo de los cultivos, además de ser fácilmente receptora de infecciones fúngicas y presentar problemas de rehidratación una vez que se ha secado (Gruda, 2010; Fascella, 2015).

##### b) Desde el punto de vista económico

En casos donde el sustrato proviene de lugares alejados de los centros de consumo o presentan una disponibilidad reducida, se afectará tanto a la disponibilidad del suministro como al precio de los materiales.

##### c) Desde el punto de vista medio ambiental

El uso de la turba lleva asociado un fuerte impacto medioambiental derivado de su explotación ya que las turberas poseen un alto valor ecológico y función como sumideros de carbono (Maher y col., 2008). La disponibilidad de este material, en un futuro, está continuamente cuestionada ya que las reservas de turba son difícilmente renovables (GECT, IPS y IMCG, 2002). También se debe tener en cuenta, además del valor económico que supone la importación de este material, el daño ambiental que esto produce debido al mayor uso de combustibles. A todo esto, se debe añadir que el elevado volumen de residuos orgánicos, relacionado con la intensificación de los sectores agrícola, ganadero

e industrial, supone un problema de gestión y que, mediante el proceso controlado de la fabricación de compost se puede paliar y al mismo tiempo obtener materiales de alto valor añadido (Alexander y Bragg, 2014; Barrett y col., 2016), logrando productos con un buen balance de nutrientes, unas características químicas y físicas apropiadas para las distintas necesidades de los cultivos (Guérin y col., 1998; Jayasinghe y col., 2010) y un importante aspecto como es la potencial capacidad supresiva de fitopatógenos (Borrero y col., 2013; De Corato y col., 2016), con lo que se puede reducir de manera drástica el uso de productos fitosanitarios de síntesis.

### **1.5. Sustratos alternativos a la turba**

Como alternativa a la turba, los materiales más utilizados son:

- **Fibras vegetales residuales.** Usualmente procedentes de actividades urbanas como la poda de jardines, por ejemplo, no vinculadas al sector agrícola. Tienen altos niveles de nutrientes y fósforo y bajos de nitrógeno. Presenta altos niveles de aireación y de porosidad total. Para utilizarlo como sustrato y dado su alto contenido en carbono, lo ideal es mezclarlo con materiales ricos en nitrógeno y que presenten problemas de aireación que este material puede paliar.

- **Residuos vegetales y animales.** Procedentes de actividades agrícolas, ganaderas y/o agroindustriales, presentan un elevado volumen de recursos con alto contenidos en materia orgánica y nutrientes que hacen necesaria su gestión, con el fin de minimizar los impactos ambientales de su producción y obtener materiales de alto valor añadido. Su composición y propiedades es muy heterogénea, dependiendo del origen y trato de los materiales de origen. Algunos ejemplos de estos materiales son: restos de cosechas, estiércol y purines de granja, residuos y lodos procedentes de la industria agroalimentaria, etc.

- **Residuos urbanos.** Dentro de este tipo de residuos orgánicos se encuentran los residuos sólidos urbanos (RSU) y los lodos de depuradora. Son materiales muy heterogéneos y con un creciente volumen de generación por lo que la tendencia es a valorizarlos, ya sea mediante reciclado, reutilización o aplicación agrícola. Se solucionaría así parte de la problemática ambiental de su generación, además de recuperar y aprovechar la materia orgánica y los elementos fertilizantes que contienen, pero según el RD 865/2010, no se incluye este tipo de residuos, en especial los lodos de depuradora. Estos últimos, si son debidamente compostados pueden constituir un ingrediente del sustrato, debido al alto contenido en materia orgánica y nitrógeno, así como algunos elementos esenciales, pero también presentan inconvenientes como la elevada presencia de amonio, la baja relación C/N o la presencia de patógenos.

- **Fibra de coco.** Suele presentar un buen tamaño de partícula, lo que está muy relacionado con la aireación y el espacio poroso total. Tiene valores de porosidad superiores a la turba y un

alto contenido en macro y micro nutrientes. El problema medio ambiental de su uso se relaciona con el transporte, ya que las zonas de producción de este material implican grandes desplazamientos desde las zonas productoras.

- **Perlita.** Es un material inorgánico inerte, fabricado a partir del calentamiento a 1000-1200°C de rocas volcánicas silíceas y con una densidad muy alta. Su uso habitual es mezclarla con otros materiales para mejorar su oxigenación. Presenta un potencial efecto tóxico por liberación de aluminio con valor de pH menores de 5.
- **Vermiculita.** Material inorgánico inerte de la familia de las micas, es un silicato de magnesio, aluminio y hierro que al tratarse a altas temperaturas se expanden sus láminas. Es un material muy poroso, con una elevada capacidad de intercambio catiónico y que absorbe poca agua, pero puede retenerla entre sus láminas durante periodos cortos de tiempo, por lo que es habitual su uso como recubrimiento en semilleros, ya que también facilita la oxigenación.
- **Lana de roca.** Es un sustrato inorgánico inerte que se obtiene a partir de la fusión a 1500°C de minerales, rocas y escorias a las que se incorporan resinas para mantener su cohesión. Tiene una densidad aparente baja, una porosidad total muy alta y unas capacidades de retención del agua disponible y de aireación altas.

#### **1.6. Compost y vermicompost como materiales alternativos a la turba**

El volumen creciente de residuos orgánicos producido por la sociedad actual unido a la complejidad y el coste de su reciclaje, son los condicionantes que han fomentado la ampliación de los campos de aplicación de dichos residuos. Uno de ellos, de gran importancia por sus beneficios y su potencial de comercialización corresponde a su inclusión como ingredientes en la formulación de sustratos de cultivo (Abad y col., 2008; Bustamante y col., 2008). El compost puede presentar propiedades físicas, físico-químicas y químicas adecuadas para su uso como sustrato, que lo puede hacer idóneo como sustituto de la turba (Bustamante y col., 2008). De esta forma, poco a poco se van incorporando como sustratos o componentes de sustratos materiales orgánicos alternativos a la turba, como son los compost de residuos orgánicos de ámbito local que abaratan las mezclas, al reducir la proporción de turba importada, sin afectar de modo notable a sus propiedades y calidad (Abad y col., 2001; Fitzpatrick, 2005). Así, muchos residuos y subproductos de naturaleza orgánica, convenientemente compostados están siendo utilizados con éxito, puros o mezclados con turba, fibra de coco, etc., como medios para el cultivo sin suelo (Carmona y Abad, 2008).

### **El proceso de compostaje**

El compostaje es un proceso bio-oxidativo controlado, que se desarrolla sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido por la acción de los microorganismos. Requiere una humedad adecuada e implica el paso por una etapa termófila con una producción temporal de fitotoxinas, generando como resultado de la biodegradación dióxido de carbono, agua, sales minerales, así como un producto final llamado compost, con una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y patógenos y con ciertas características húmicas dispuesta para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adversos (Costa y col., 1991, Zucconi y de Bertoldi, 1987). El compostaje facilita la gestión de los residuos orgánicos, reduciendo su peso, volumen y peligrosidad, permitiendo además reciclar los recursos contenidos en ellos. También puede llevarse a cabo únicamente como tratamiento previo a la incineración o el vertido, ya que al reducir el volumen de los mismos se hacen más manejables y menos contaminantes. La evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje marca las diferentes etapas que nos determinan el grado evolutivo del material compostado.

### **El proceso de vermicompostaje**

Por otra parte, el vermicompost o humus de lombriz se define como el producto que se obtiene tras un proceso de bio-oxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica, por la acción combinada de las lombrices y microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos mesófilos) bajo condiciones controladas, mediante el cual se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina (Martínez Fernández, 2011). Las lombrices aceleran la descomposición y humificación de la materia orgánica, mejorando la estructura del producto final al favorecer la formación de agregados estables. Por otra parte la actividad de las lombrices aumenta el contenido de nutrientes, convirtiéndolos a través de la actividad microbiana, en formas solubles y asimilables por los cultivos. Asimismo mediante el vermicompostaje se favorece la producción de sustancias que pueden actuar con acción fitohormonal sobre las plantas. Las especies *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei* han demostrado ser las más eficientes para la biodegradación de residuos orgánicos y las más comúnmente utilizadas. Son los verdaderos agentes biotransformadores de la materia orgánica, modificando la estructura física de los residuos, fragmentando la materia orgánica y aumentando su superficie, lo cual incrementa la actividad de los microorganismos. Además se encuentran involucrados un gran número de microorganismos, fundamentalmente bacterias, hongos y actinomicetos mesófilos. (Martínez Fernández, 2011).

### **1.7. Normativa asociada**

Adicionalmente, para obtener sustratos adecuados a la actividad agraria tenemos que considerar la normativa específica que especifica materiales susceptibles de ser utilizados como sustratos y los que no, como es el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo. Los sustratos de cultivo deberán cumplir los requisitos relativos a sus características, envasado e identificación, puesta en el mercado, materias primas, y demás disposiciones de este real decreto y deberán estar incluidos en la relación de tipos de sustratos del anexo I. Los productos que pueden comercializarse como sustratos de cultivo o como componentes de los mismos deben pertenecer a alguno de los grupos incluidos en el anexo I de este Real Decreto; de tal forma que no se pueden poner en el mercado aquellos productos que no se encuentren integrados en uno de los siguientes grupos:

- **Grupo 1:** Productos orgánicos como sustratos de cultivo o componentes de los mismos.
- **Grupo 2:** Productos minerales como sustratos de cultivo o componentes de los mismos.
- **Grupo 3:** Productos de síntesis como sustratos de cultivo o componentes de los mismos.
- **Grupo 4:** Productos preformados como sustratos de cultivo.
- **Grupo 5:** Sustratos de cultivo de mezcla.

Respecto a los límites en el contenido de microorganismos patógenos, se consideran los siguientes aspectos y grupos microbianos:

- a) La materia prima transformada, lista para ser usada como ingrediente de productos orgánicos de origen animal, debe ser sometida a un proceso de higienización que garantice que su carga microbiana no supera los valores máximos establecidos en el Reglamento (CE) n.º 1774/2002.
- b) 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 (NMP) por gramo de producto elaborado. *Enterococcaceae*: entre  $10^4$  y  $10^5$  número más probable (NMP) por gramo de producto elaborado. *Clostridium perfringens*: entre  $10^2$  y  $10^3$  número más probable (NMP) por gramo de producto elaborado. Respecto al contenido de metales pesados, los sustratos no deberán sobrepasar los niveles indicados en la Tabla 1.4.

**Tabla 1.4.** Límites máximos de metales pesados en sustratos.

Metal pesado	Límites de concentración mg/kg materia seca	
	Clase A	Clase B
Cadmio	0.7	2
Cobre*	70	300
Níquel*	25	90
Plomo	45	150
Zinc	200	500
Mercurio	0,4	1,5
Cromo (total)*	70	250
Cromo (VI)	0,5	0,5

Tal como se indica en la Tabla 1.4, en función de los niveles de metales pesados se establece la siguiente clasificación:

- **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.

En el caso de las lanas minerales, no se aplicarán los límites en Cr, Cu y Ni indicados en la Tabla 1.4, ya 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. En este Real Decreto no se especifica el uso agrícola de compost de lodos de depuradora, por lo tanto, se puede considerar el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, que clasifica los compost en diferentes grupos según el contenido en metales pesados.

## **2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS**

El sector del cultivo sin suelo, ya sea a nivel de semillero o cultivo en contenedor, precisa anualmente una gran cantidad de materiales que actúen como soporte al vegetal y adicionalmente, como medio que permita la adecuada nutrición mineral de las plantas y el intercambio de fluidos (agua y aire), siendo la turba uno de los principales materiales demandados, debido a sus óptimas características como sustrato de cultivo. Sin embargo, existe una creciente búsqueda de sustitutos de la turba, debido a diversas causas, principalmente medioambientales, ya que las turberas de donde se extrae la turba son ecosistemas con alto valor ecológico, cuya destrucción no sólo implica un importante impacto medioambiental, sino que también supone la liberación de gases de efecto invernadero. Por otro lado, la mayor disponibilidad de materiales orgánicos estabilizados, como los compost y vermicompost, con adecuadas propiedades para su uso como componente de sustratos y su bajo coste relativo, hacen viable su uso como posibles sustitutos de la turba.

Por todo ello, en el presente trabajo se han planteado los siguientes objetivos:

- La elaboración de sustratos binarios utilizando como ingredientes un compost de origen urbano y un vermicompost de origen vegetal, mezclados con un sustrato comercial de turba, para su uso como medios para el cultivo de adelfa (*Nerium oleander* L.).
- El estudio del efecto de la influencia de los diferentes tipos de materiales orgánicos (compost y vermicompost) y de sus proporciones sobre las propiedades físicas, físico-químicas y químicas de las mezclas elaboradas.
- La evaluación de la incidencia del uso de los diferentes materiales orgánicos y de su proporción en los sustratos sobre la germinación, desarrollo morfológico y biomasa de las plántulas obtenidas en el experimento, para obtener datos que aporten información sobre la relación sustrato-planta que se obtiene para cada mezcla, que permita establecer la idoneidad de las proporciones y tipo de componente más adecuados.



### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1. Infraestructura utilizada y localización**

##### **3.1.1. Vivero forestal**

La mayor parte del desarrollo de este experimento, así como la preparación inicial de las bandejas, la germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas del cultivo seleccionado se realizaron en las instalaciones del vivero forestal Guardamar de la Generalitat Valenciana, ubicado en el término municipal de Guardamar del Segura (Alicante). La actividad de este vivero está basada en la producción de especies forestales de reproducción para su uso en el territorio de la Comunidad Valenciana en diferentes actuaciones realizadas por la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, tales como:

1. Forestaciones y restauraciones de ambientes degradados, como zonas de riberas, minas, etc.
2. Acciones *in situ* para preservar especies arbóreas singulares y sus poblaciones (refuerzos poblacionales, creación de nuevas poblaciones, etc.).
3. Para proyectos y acciones asociados a la gestión forestal, a la gestión de Espacios Naturales Protegidos o de carácter ornamental en zonas recreativas o de uso cultural, entre otros.

Entre las especies que se cultivan en el vivero destacan:

- a) Especies arbóreas dominantes en el paisaje forestal valenciano (*Pinus spp.*, *Quercus spp.*, *Juniperus spp.*).
- b) Especies arbóreas de distribución puntual (*Acer spp.*, *Sorbus spp.*, *Ilex aquifolium*, etc.).
- c) Arbustos de amplia distribución (*Phyllirea spp.*, *Myrtus communis*, *Rhamnus spp.*, *Pistacia lentiscus*, *Viburnum spp.*).
- d) Especies arbóreas de ribera (*Fraxinus angustifolia*, *Populus spp.*, etc.).
- e) Especies azonales (como las de sistemas dunares y de yesares).
- f) Especies con un marcado carácter etnoagrario (*Celtis australis*, *Juglans regia* o *Ceratonia siliqua*).

##### **3.1.2. Condiciones del área**

El semillero se encuentra situado en el término municipal de Guardamar del Segura, en la provincia de Alicante, el cual presenta un clima semiárido cálido, cuya temperatura media anual está por encima de los 18 °C. La distribución de las temperaturas medias mensuales para el término municipal de Guardamar del Segura se muestran en la Fig. 3.1.

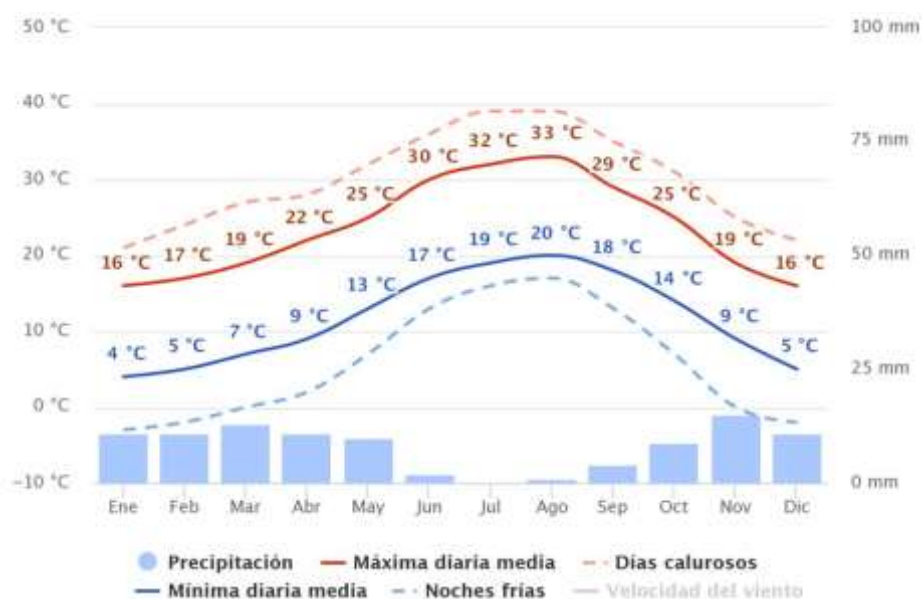


Figura 3.1. Temperaturas y precipitaciones anuales en el término municipal de Guardamar del Segura. Fuente: www.meteoblue.com

### 3.2. Características de los materiales utilizados

#### 3.2.1. Sustrato comercial

El sustrato comercial que se ha utilizado como tratamiento control fue proporcionado por la empresa “Projar”, ya que es el utilizado habitualmente en el vivero donde se realizó el experimento. Este sustrato estaba principalmente compuesto por un 70% de turba rubia poco descompuesta y un 30% de fibra de coco, componentes ambos que aumentan la capacidad de aireación y mejoran la estabilidad estructural del sustrato. Este sustrato presenta unas características adecuadas para la germinación y desarrollo de plántulas para semilleros, tanto a nivel físico, físico-químico y químico, tal como se muestra en las Tablas 3.1 y 3.2, respectivamente.

Tabla 3.1. Características físico-químicas y químicas del sustrato comercial utilizado.

Parámetros	Sustrato comercial
pH (1:5) (v:v)	4,96
Conductividad eléctrica (1:5) (v:v) (dS/m)	0,77
Materia orgánica total (%)	93,2
Carbono orgánico total (%)	44,9
Nitrógeno total (%)	1,22
Relación C/N	36,8

Por otra parte, también presenta unas propiedades físicas adecuadas para su uso como sustrato, como se muestra en la Tabla 3.2, al comparar con los rangos de dichas propiedades para un sustrato ideal. Adicionalmente, también contenía dolomita cálcica (3 kg/m<sup>3</sup>) para corregir el pH, abono de liberación controlada 8/9 meses (18:6:8 + oligoelementos) y abono de fondo PlantaMix A (0,8 kg/m<sup>3</sup>, 14:16:18:1 MgO + oligoelementos).

**Tabla 3.2.** Características físicas del sustrato comercial utilizado.

Propiedades	Sustrato comercial	Intervalo óptimo <sup>1</sup>
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	1,496	--
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,084	≤ 0,2
Espacio poroso total (%)	94,4	> 85
CRA (mL agua/L sustrato)	504	≥ 500
CRA (g agua/g sustrato)	599	--
Capacidad de aireación (%)	44,0	20-30
Contracción (%)	14,8	< 30

<sup>1</sup> Intervalo óptimo según Abad y col. (2001). CRA: capacidad de retención de agua.

### 3.2.2. Compost

En este estudio se ha utilizado un compost obtenido a partir de la mezcla de lodo procedente de la estación depuradora de aguas residuales de Algorós (Elche, Alicante) y caña de río triturada de la misma zona (*Arundo donax*), en una proporción de 85,3% de lodo y 14,7% de caña, respecto a materia fresca. Este compost fue elaborado en la planta piloto de compostaje COMPOLAB, situada en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO), Universidad Miguel Hernández de Elche, mediante el sistema de compostaje de volteo. Las pilas se prepararon utilizando una pala volquete Dumper, mientras que para los volteos que se le realizaron se utilizó una volteadora Backhus 14.28 D. L. El material ya maduro fue tamizado a 1 cm de paso de luz, previamente a su uso como ingrediente de los medios de cultivo.

### 3.2.3. Vermicompost

El vermicompost utilizado en las mezclas también fue elaborado en las instalaciones de la planta piloto de compostaje COMPOLAB, a partir de restos de poda de la EPSO, constituidos por especies cespáceas, arbustivas y arbóreas, constituyendo estos ingredientes el 100% de la masa, expresado sobre materia húmeda, mediante la acción de la lombriz roja de California (*Eisenia*

*foetida*). El vermicompostaje se realizó en pilas estáticas de pequeñas dimensiones, con el suficiente riego para una acción óptima de la lombriz. Las principales características físico-químicas y químicas de los compost y del vermicompost utilizados en los diferentes experimentos planteados, así como sus propiedades físicas se muestran en las Tabla 3.3 y 3.4, respectivamente.

**Tabla 3.3.** Características físico-químicas y químicas de los materiales orgánicos utilizados en el estudio.

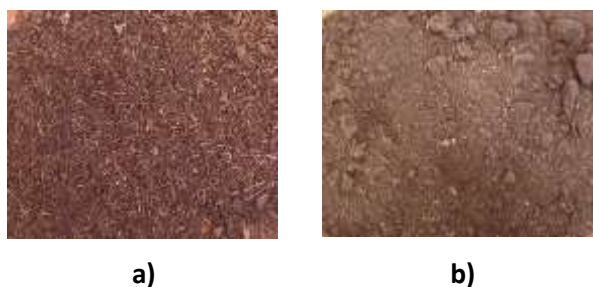
Parámetros	Compost	Vermicompost
pH (1:5) (v:v)	7,1	7,5
CE (1:5) (v:v) (dS/m)	4,92	2,20
Materia orgánica total (%)	42,3	66,4
Carbono orgánico total (%)	21,9	32,0
Nitrógeno total (%)	2,24	2,88
Relación C/N	9,78	11,1

CE: conductividad eléctrica.

**Tabla 3.4.** Propiedades físicas de los materiales orgánicos utilizados.

Propiedades	Compost	Vermicompost	Intervalo óptimo <sup>1</sup>
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	1,870	2,050	--
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,370	0,445	≤ 0,2
Espacio poroso total (%)	80,6	78,8	> 85
CRA (mL agua/L sustrato)	441	534	≥ 500
CRA (g agua/g sustrato)	120	147	--
Capacidad de aireación (%)	36,5	26,7	20-30
Contracción (%)	32,5	23,4	< 30

CRA: capacidad de retención de agua. <sup>1</sup> Intervalo óptimo según Abad y col. (2001).



**Figura 3.2.** Detalle de los materiales utilizados. a) Compost; b) Vermicompost.

### **3.3. Material vegetal**

#### **3.3.1. Descripción botánica, taxonómica y fisiológica**

En el experimento se ha utilizado la adelfa (*Nerium oleander* L.), como cultivo para validar los sustratos elaborados, al tratarse de una especie presente en el área mediterránea y muy utilizada en tareas de recuperación de zonas degradadas por su rápido crecimiento y resistencia a condiciones adversas. La adelfa (*Nerium oleander* L., familia *Apocynaceae*) es un arbusto de hoja perenne, de 2-5 m de altura, poco ramificado, con la corteza lisa, grisácea. Sus hojas van de oblongo-lanceoladas a linear-lanceoladas, con la base cuneada o decurrente en el pecíolo, el margen entero y el ápice agudo o acuminado, con textura coriácea, glabras, de color verde intenso por el haz y más pálidas por el envés, y con el nervio central amarillento o blanquecino bien destacado. Las inflorescencias terminales presentan numerosas flores fragantes, de color rosa, salmón, púrpura, blanco o crema, a veces dobles. Folículos subleñosos, de 8-16 cm de longitud, cilíndricos, conteniendo numerosas semillas oblongas, cubiertas de pelos marrones.

#### **3.3.2. Exigencias climáticas y edáficas**

La adelfa es originaria de la región mediterránea del sur de Europa y el sudoeste de Asia. Gracias a su tolerancia a una amplia gama de suelos y condiciones climáticas, se naturaliza en todo el mundo como especies sub-espontáneas. La adelfa también es muy popular como planta ornamental debido a su abundante y duradera floración (Kingsbury, 1964; Hardin y Arena, 1974). En áreas cálidas tropicales, subtropicales y templadas, se puede encontrar en parques, jardines y a lo largo de los bordes de las carreteras, mientras que en áreas frías se usa comúnmente como planta de interior o patio (Portis et al., 2004).

#### **3.3.3. Plagas y enfermedades de mayor incidencia**

Entre las principales enfermedades de esta especie se encuentran las siguientes:

- **ENFERMEDADES.**
  - **Tuberculosis.** Son verrugas o tumores producidos por una bacteria. La enfermedad es incurable y se propaga por heridas de poda o grietas debidas a granizo, golpes o heladas.
  - **Necrosis de los brotes.** Enfermedad producida por el hongo *Ascochyta heteromorpha* y que se manifiesta por la aparición de zonas necróticas o de tejido muerto en la axila de algunas hojas y que puede extenderse a todas las del mismo brote, el cual acaba por secarse.
  - **Manchas en las hojas.** Producidas por *Septoria oleandrina*, *Cercospora*, *Gloeosporium*, *Macrosporium* y *Phyllosticta*.

- **Negrilla.** Aparece debido a cochinillas y pulgones.
- **Marchitez de las flores.** Flores marchitas o abortadas a causa de una necrosis parcial o total de sus pedúnculos. La enfermedad se debe generalmente a la infección de las raíces por *Fusarium* que obstruye los vasos conductores de savia. Suele ocurrir en tierras ácidas y húmedas que se deben corregir con encalado.

Entre las principales plagas que afectan a la adelfa destacan:

- **PLAGAS.**
  - Pulgones.
  - Cochinillas.
  - Orugas de las hojas.
  - *Daphnis nerii*.
  - Hormigas.

### **3.4. Diseño y desarrollo experimental**

#### **3.4.1 Preparación de los sustratos**

Para la consecución de los objetivos planteados, se prepararon mezclas como medios de cultivo de transición de especies arbustivas de repoblación. Para ello se prepararon diferentes sustratos binarios, utilizando como ingredientes el sustrato comercial considerado y los materiales orgánicos seleccionados (compost y vermicompost). Para su preparación se mezcló el sustrato comercial con cada uno de los materiales orgánicos en las siguientes proporciones respecto al volumen (v:v): 0%, 20%, 40%, 60% y 80% de material orgánico (compost o vermicompost), obteniendo un total de 9 tratamientos (Tabla 3.5). Para llevar a cabo las mezclas, previamente se homogeneizaron los componentes de los sustratos experimentales. Se obtuvieron 50 litros de cada mezcla, de los cuales se utilizaron unos 30 litros de cada mezcla para el relleno de las bandejas, mientras que la cantidad restante se guardó para la caracterización analítica de cada sustrato. Con las mezclas preparadas de cada tratamiento se rellenaron bandejas de semilleros Quick Pot 60, habitualmente utilizadas para el cultivo de pináceas y en general, de especies de semilla pequeña. Las bandejas tenían unas dimensiones de 310x530 mm y una altura de 105 mm y presentaban 60 celdas con una medida de 48x48 mm. Se dispusieron 2 repeticiones (bandejas) por tratamiento, así como 3 repeticiones del tratamiento control, el sustrato comercial Projar, para comparar el efecto de las mezclas elaboradas.

Tabla 3.5. Porcentajes (v:v) de los componentes usados en las mezclas.

% Compost	% Sustrato comercial
0	100
20	80
40	60
60	40
80	20
% Vermicompost	% Sustrato comercial
0	100
20	80
40	60
60	40
80	20

En la Fig. 3.6 se muestra el diseño experimental llevado a cabo. Una vez completadas las bandejas, se procedió a la siembra de la adelfa y posteriormente las bandejas fueron colocadas de forma aleatoria en el vivero para obtener mayor representatividad. Durante el proceso de germinación y crecimiento de las plántulas se llevó a cabo un completo seguimiento con medida de la germinación y de la altura de planta. Una vez alcanzado el tamaño comercial, las plántulas se muestrearon y procesaron en el laboratorio.

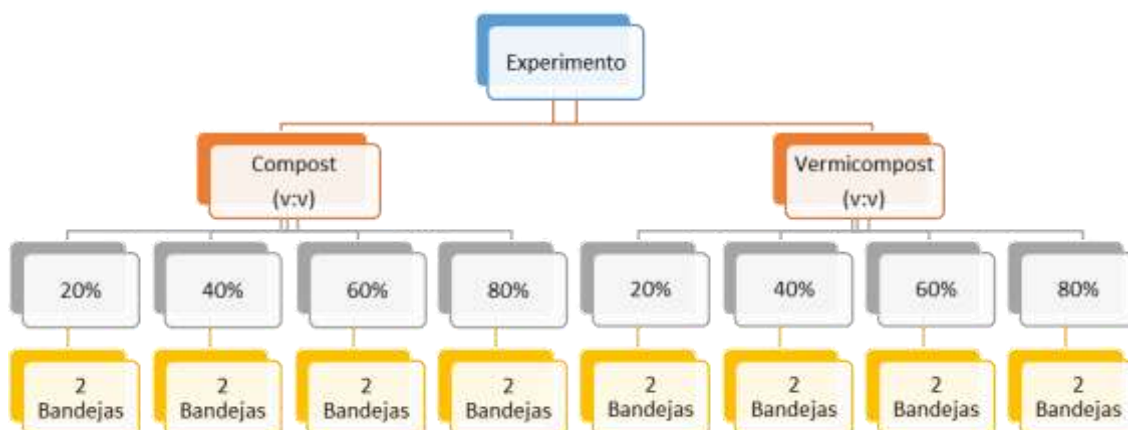


Figura 3.4. Diseño experimental del experimento.

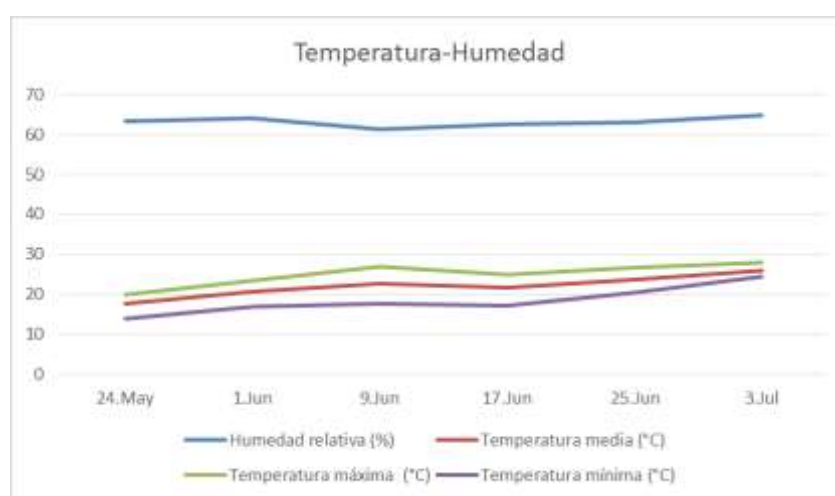
### 3.4.2 Cronología del experimento y seguimiento en el invernadero

Las diferentes acciones de seguimiento realizadas en el invernadero durante el experimento se muestran en la Tabla 3.10.

**Tabla 3.10.** Acciones realizadas durante el experimento.

Cronología Experimento 1	
Acciones	Fechas
Siembra	04/05/2017
Muestreo Plántulas	31/10/2017

Una vez que la mayoría de las plántulas tuvieron una medida adecuada para su transplante, se finalizó el ensayo con la recogida de las plántulas. La Figura 3.5 muestra las temperaturas que hubo durante el período de crecimiento de las plántulas.



**Figura 3.5.** Temperaturas durante el desarrollo del experimento. Fuente: Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.

### 3.4.3. Recogida y procesado de las plántulas

La recogida de las plántulas y la preparación de las muestras se realizaron el día 31/10/2017. Puesto que se dispusieron dos bandejas por tratamiento, se muestrearon 5 plantas al azar de cada bandeja. Tras realizar el muestreo de las plantas, se procedió al procesado de las mismas en el laboratorio. Para poder determinar la incidencia de los tratamientos planteados sobre la morfología, producción de biomasa y elongación vegetal, se cuantificó el peso fresco y el peso seco de las plantas y se determinó la morfología, peso fresco y peso seco de las raíces. Antes de comenzar, se analizó la calidad visual de las raíces. Posteriormente, el material fresco se introdujo en la estufa de desecación a 60 °C durante 3 días. Una vez desecadas las muestras, se realizó el peso seco de las partes aéreas. Por otra parte, también se realizó el análisis de las raíces de ambos cultivos. Para ello se realizó el peso fresco y seco de la raíz. Nuevamente se tomaron 5 raíces por bandeja (2 por tratamiento). Las raíces fueron lavadas antes de la pesada, y tuvieron un último enjuague con agua destilada.



### **3.5. Métodos analíticos empleados**

- **pH y conductividad eléctrica**

En los sustratos, la medida del pH y la conductividad eléctrica se realizó en el extracto acuoso 1:5 (V/V) (Norma Europea 13037:1999). Para ello, se ha de establecer la densidad aparente compactada del sustrato (Norma Europea 13040:1999). La determinación del pH de todos los sustratos y los componentes iniciales que se han utilizado, se realizó con un pH-metro CRISON micro pH 2001. La determinación de la conductividad eléctrica se realizó tras filtración del extracto mediante un conductímetro CRISON 525.

- **Materia orgánica total**

La materia orgánica se determinó mediante calcinación a 430°C durante 24 horas. Se pesó con precisión de 0,1 mg entre 3-4 g de muestra seca y molida y se introdujo en un crisol de porcelana. A continuación, se realizó la calcinación a 430°C durante 24 horas hasta conseguir obtener cenizas blancas. Para calcinar las muestras y poder obtener la materia orgánica total se utilizó un horno mufla marca SELECTA.

- **Densidad real**

Se calculó siguiendo el método descrito por De Boodt et al., (1974), en el que se supone un valor fijo de densidad real para los suelos minerales de 2,65g/cm<sup>3</sup>, y de 1,45 g/cm<sup>3</sup> para los sustratos orgánicos. La ecuación utilizada para el cálculo de la densidad real (DR) es:

$$DR \text{ (g/cm}^3\text{)} = 100/(\%MO/1,45) + (\%MM/2,65)$$

Donde MO es el contenido en materia orgánica total y MM en material mineral (cenizas).

- **Densidad aparente compactada**

La densidad aparente compactada se determina mediante el llenado de un cilindro de ensayo de un litro con el sustrato, ajustando con un collar de extensión, tamiz fijo/controlado de flujo y embudo. Se aplica una compactación estática, excepto en el caso de materiales, muy comprimibles o elásticos y se pesa el contenido final del cilindro (Norma Europea 13040:1999).

- **Densidad aparente**

La densidad aparente (DA) se determinó siguiendo el método propuesto por De Boodt y col. (1974), basado en el cálculo del peso seco del sustrato contenido en un cilindro de volumen conocido, tras haber sido sometido a una succión de 10cm de columna de agua (c.a.). Para ello se utilizaron anillas de acero inoxidable de 90 mm de Ø, 52 mm de altura y tela nylon. Todas las

determinaciones se realizaron por triplicado. Con los valores medios de la humedad, se estima la densidad aparente mediante la siguiente ecuación:

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = \{ (B-A)/V \} * \{ (100-X)/100 \}$$

Donde:

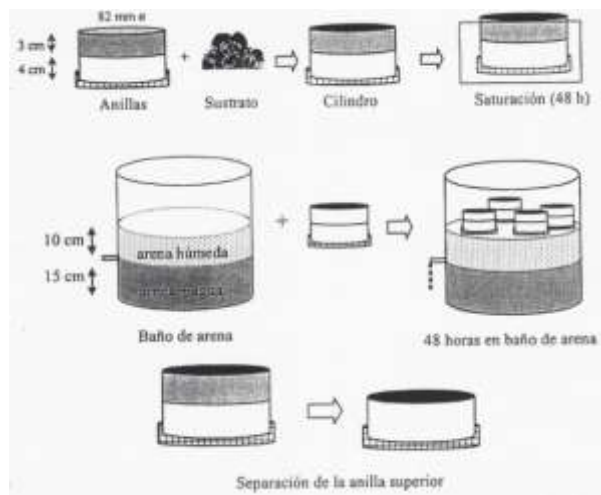
A: Peso del conjunto anilla- tela de nylon (g).

B: Peso del conjunto anilla- sustrato húmedo (g).

C: Peso del conjunto anilla- sustrato seco (g).

V: Volumen de anilla ( ).

X: Humedad del sustrato tras haber sido sometido a una succión de 10 cm de columna de agua. (X (%) = (B-C)/(B-A)\*100).



- **Espacio poroso total**

El espacio poroso total (EPT) se calcula a partir de los datos de densidad real (DR) y densidad aparente (DA), aplicando la ecuación (Martínez, 1992):

$$EPT \text{ (\%)} = \{ 1-(DA)/(DR) \} * 100$$

- **Capacidad de retención de agua**

La capacidad de retención de agua (CRA) se determina según la modificación de la metodología de De Boodt et al., (1974) propuesta por Martinez, (1992) utilizando la siguiente ecuación:

$$CRA \text{ (ml agua/l sustrato)} = \{ (B-C)/V \} * 1000$$

Donde V es el volumen de la anilla de 4 cm utilizada para la determinación de la densidad aparente, y B y C son los pesos obtenidos para su cálculo.

- **Capacidad de aireación**

Se calcula el contenido de volumen de aire presente en la muestra, después de haber aplicado una presión hidrostática de menos de 10 cm aplicando la ecuación siguiente:

$$CA (\%) = EPT - CRA$$

Donde:

CA: volumen de aire en porcentaje de volumen % (V/V) de muestra húmeda, para una presión hidrostática de menos de 10 cm.

EPT: espacio poroso total en (%)

CRA: capacidad de retención de agua en (ml de agua/ 100 ml sustrato)

- **Contracción de volumen**

Siguiendo la propuesta de Martínez, (1992), la contracción de volumen se calcula a partir de la pérdida de volumen experimentada por el sustrato contenido en la anilla, tras secarlo a 105°C. Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$C (\%) = \{(V - V_{ss}) / V\} * 100$$

Donde V es el volumen de la anilla utilizada para la determinación de la densidad aparente y V<sub>ss</sub> es el volumen de sustrato contenido en la anilla tras secarlo a 105°C. Este se calcula a partir de la ecuación del volumen de un cilindro ( $\pi r^2 h$ ), donde r y h se obtienen como valor medio de las medidas del diámetro (dos) y de la altura (cuatro) realizadas en el sustrato seco contenido en la anilla.

### **3.6. Métodos estadísticos**

El tratamiento estadístico aplicado a los datos obtenidos se ha basado en un análisis de la varianza MLG-Univariante, que permite evaluar el efecto de las variables consideradas:

- Tipo de material orgánico estabilizado utilizado como ingrediente en el sustrato (compost y vermicompost).
- Proporción de compost en la mezcla (0, 20, 40 y 60%).

En el caso en el que el análisis ANOVA mostró significación, adicionalmente se realizó la prueba Tukey-b como prueba post-hoc para evaluar las diferencias entre las medias específicas, mostrándose en los resultados mediante el empleo de letras para una probabilidad del 95% ( $P < 0,05$ ). Previamente al ANOVA, se evaluaron la normalidad y homogeneidad de las varianzas utilizando los tests de Shapiro-Wilk y Levene. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa informático SPSS 15.0.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

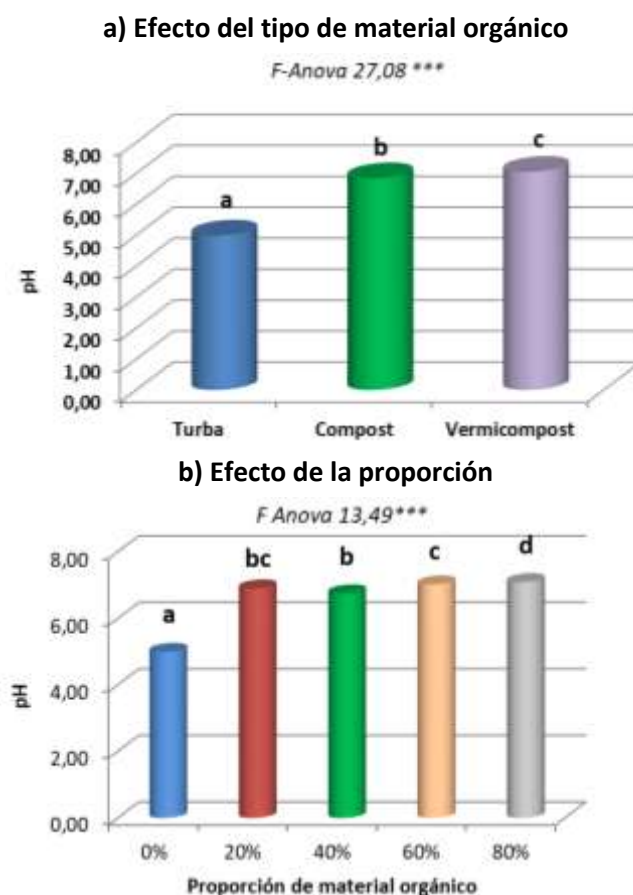
### 4.1. Características de los sustratos empleados

#### 4.1.1. Propiedades físico-químicas y químicas

En las siguientes figuras se muestra el efecto del tipo de material orgánico utilizado y de la proporción de compost o vermicompost empleada sobre las características físico-químicas y químicas de los distintos sustratos elaborados.

##### a) pH

El pH es un parámetro fundamental en el uso de un material como medio de cultivo, especialmente a nivel de plántula. En la Figura 4.1 se observan los valores de pH de los diferentes sustratos elaborados.

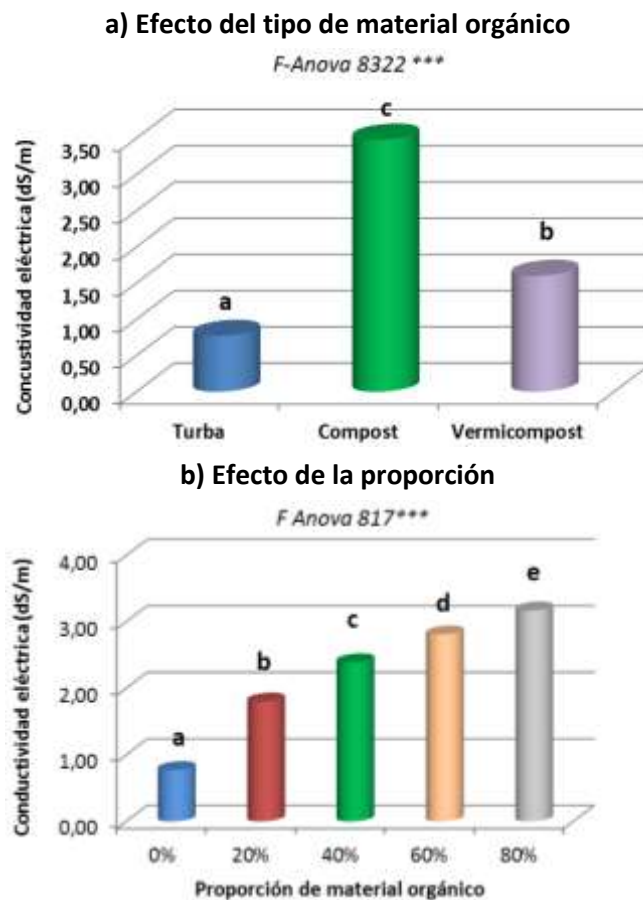


**Figura 4.1.** a) Efecto del tipo de material orgánico; b) efecto de la proporción de material orgánico (compost o vermicompost) en el pH de los sustratos.

Los valores promedio de pH para los sustratos elaborados en función del tipo de material orgánico presentan una diferencia estadísticamente significativa y son mayores para compost y vermicompost, teniendo valores respectivos de 6,84 y 7,05. En general, los valores de pH excedían el rango óptimo (5,2–6,3) para un sustrato sugerido por diversos autores (Noguera y col., 2003; Sánchez-Monedero y col., 2004). La adición porcentual al medio de cultivo de los materiales sustitutos a la turba ha supuesto un incremento de entre el 35,3 y 42,1 % respecto al control de turba, lo cual ha sido observado en experimentos previos de sustitución de turba por compost (Bustamante et al., 2008; Abad et al., 2008).

### **b) Conductividad eléctrica**

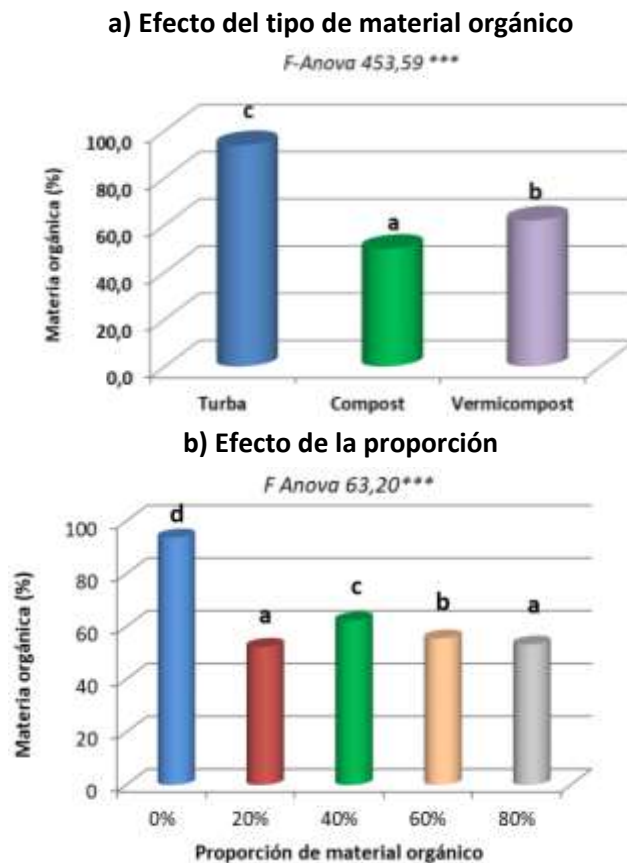
El uso de los materiales orgánicos supuso un notable incremento de la conductividad eléctrica, siendo el compost el material que indujo el mayor incremento (Fig. 4.2a). El aumento también ha sido directamente proporcional al aumento de la proporción en el sustrato (Fig. 4.2b). Este hecho ha sido encontrado por Bustamante et al. (2008) en un experimento de sustitución de turba utilizando compost de residuos vitivinícolas.



**Figura 4.2.** a) Efecto del tipo de material orgánico; b) efecto de la proporción de material orgánico (compost o vermicompost) en la conductividad eléctrica (dS/m) de los sustratos.

### c) Materia orgánica

En la Figura 4.3 se muestran los valores materia orgánica (%) en función del tipo de material orgánico utilizado y de la proporción de sustitución. El efecto según el tipo de material orgánico mostró diferencias significativas disminuyendo respecto al control. Según el porcentaje de sustitución también se observó valores de materia orgánica más bajos que en el sustrato control, siendo similares para los porcentajes del 20% y 80% y aumentando en el resto respecto a estos dos.



**Figura 4.3.** a) Efecto del tipo de material orgánico; b) efecto de la proporción de material orgánico (compost o vermicompost) en el porcentaje de materia orgánica.

#### 4.1.2. Propiedades físicas

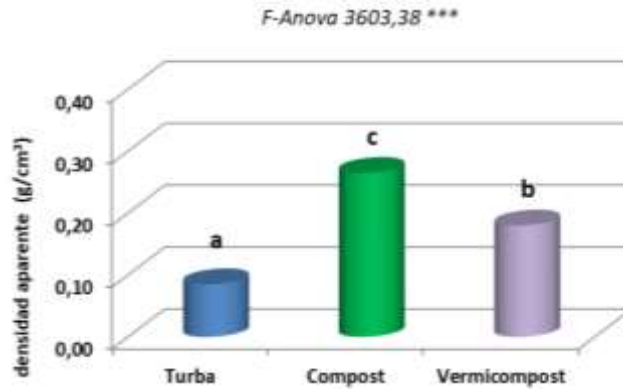
El estudio de las propiedades físicas de los sustratos elaborados es importante para profundizar en aspectos que tienen que ver con la fertilidad física del medio de cultivo y que por lo tanto influye en el desarrollo de las plantas.

##### a) Densidad aparente

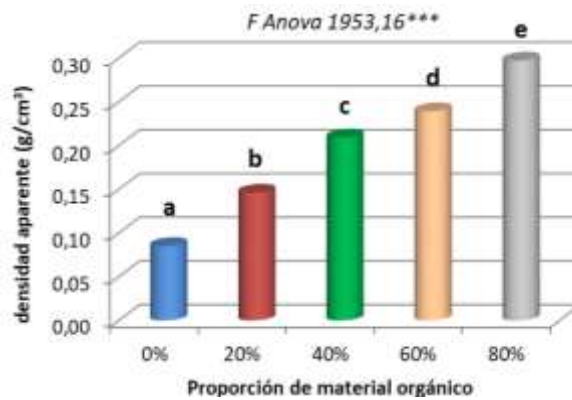
La densidad aparente aporta información sobre la capacidad de anclaje o soporte mecánico de la planta al sustrato. En la figura 4.4 se pueden ver los valores de la densidad

aparente en función del tipo de material orgánico y de su proporción. El compost fue el material que indujo el mayor valor promedio de densidad aparente, respecto a la turba.

**a) Efecto del tipo de material orgánico**



**b) Efecto de la proporción**



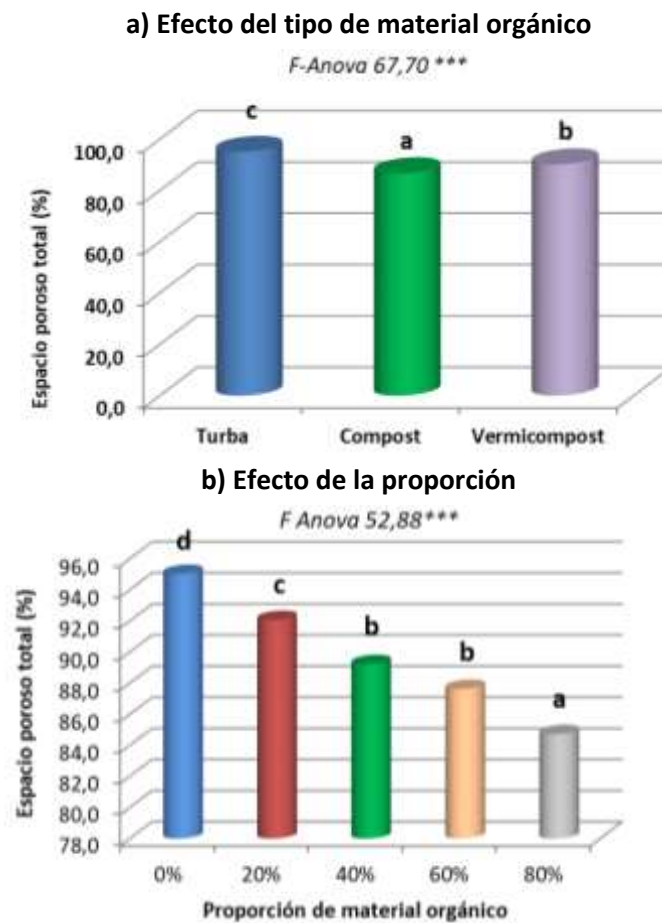
**Figura 4.4.** a) Efecto del tipo de material orgánico; b) efecto de la proporción de material orgánico (compost o vermicompost) en la densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) de los sustratos.

En los sustratos estudiados se observa una relación lineal positiva entre la densidad aparente y proporción de sustitución, hecho que también fue observado por Restrepo y col. (2013) en un experimento de cultivo en semillero utilizando compost de origen ganadero como sustitutos parciales de la turba.

**b) Espacio poroso total**

Esta propiedad se define como la proporción de suelo que está ocupada por aire y/o por agua. Los factores que la determinan son principalmente la textura, estructura y la cantidad de materia orgánica (Donoso, 1992). La porosidad del sustrato tiene una importancia especial porque constituye el medio por el cual el agua penetra al sustrato y pasa a través de él para abastecer a las raíces y finalmente drenar el área, y también el espacio donde se produce el

intercambio gaseoso en el medio. En la figura 4.5 se puede ver el efecto de cada variable considerada sobre el espacio poroso total de los sustratos.



**Figura 4.5.** a) Efecto del tipo de material orgánico; b) efecto de la proporción de material orgánico (compost o vermicompost) en el espacio poroso total (%).

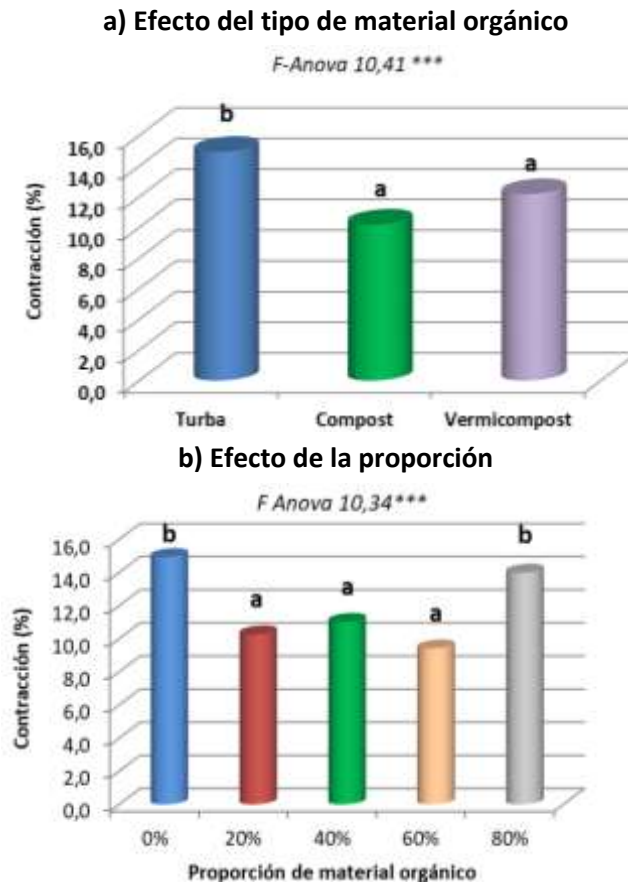
En términos generales, la turba presentaba un mayor espacio poroso total que las muestras con compost y vermicompost. El aumento del porcentaje de compost y vermicompost en el sustrato provocó una disminución de este parámetro, aunque los valores promedio están dentro del rango del sustrato ideal (Abad y col., 2001).

### c) Contracción

La contracción es la pérdida de volumen que experimenta el material al secarse, referida al volumen aparente inicial en unas determinadas condiciones de humedad. Aporta información sobre el grado de variación del volumen del material en ciclos de humectación-desección y, por tanto, sobre la compactación del mismo y la compresión de las raíces, así como sobre la eficacia del riego y la fertilización. Teniendo en cuenta que el valor de contracción óptimo debe ser <30% en volumen, todos los sustratos mostraron valores



promedio que cumplían los requisitos del sustrato ideal (Abad y col., 2001). En la figura 4.6 se muestra la contracción de volumen para cada material orgánico y según el porcentaje de sustitución.



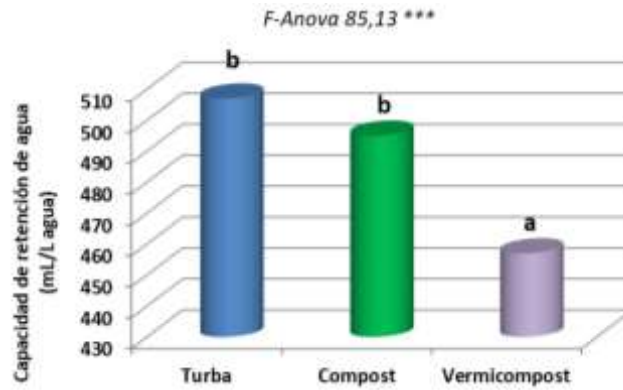
**Figura 4.6.** a) Efecto del tipo de material orgánico; b) efecto de la proporción de material orgánico (compost o vermicompost) en la contracción del volumen de los sustratos.

La incorporación de compost y vermicompost disminuyó los valores de contracción, en todas las proporciones, siendo similares entre sí los valores observados en los porcentajes de sustitución del 0% y 80%, presentando una mayor contracción de volumen, y el resto de porcentajes, presentando valores menores.

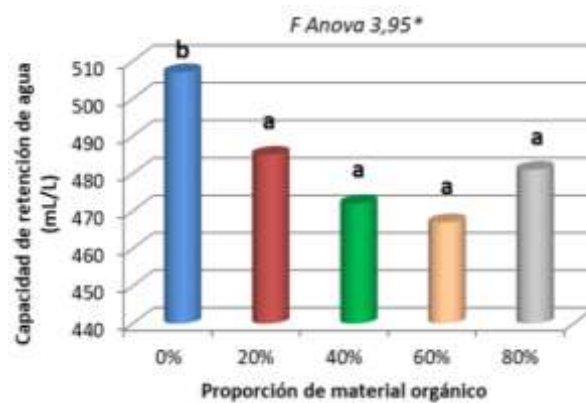
#### **d) Capacidad de retención de agua**

En la siguiente figura 4.7 se muestran los valores de la retención hídrica en mL/L de agua en función del tipo de material orgánico y de la proporción de dicho material. La incorporación del compost y del vermicompost disminuyó significativamente este parámetro, observándose para este último los valores más bajos. La capacidad de retención hídrica varió según la proporción de sustitución, disminuyendo según aumenta dicha proporción excepto en 80%, en el cual se observa un ligero aumento.

a) Efecto del tipo de material orgánico



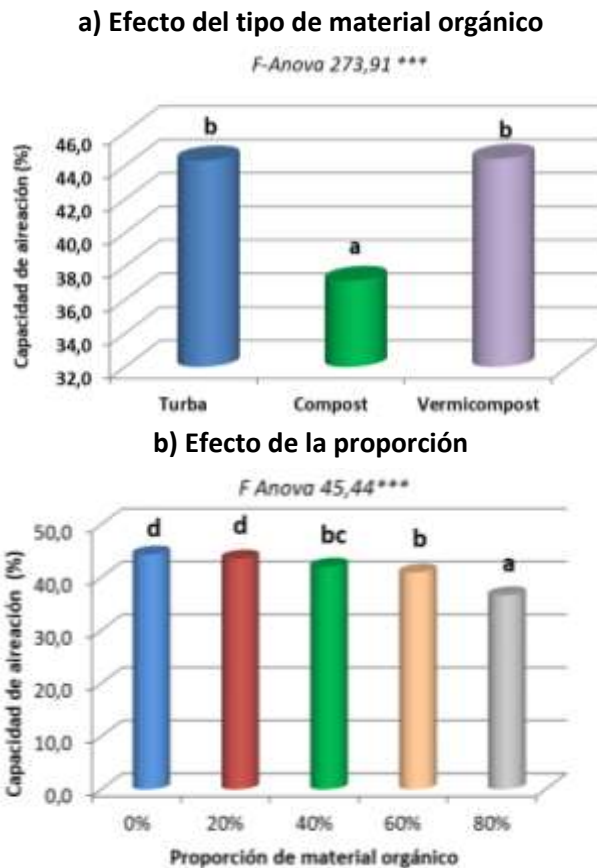
b) Efecto de la proporción



**Figura 4.7.** a) Efecto del tipo de material orgánico; b) efecto de la proporción de material orgánico (compost o vermicompost) en la capacidad de retención de agua mL/L de los sustratos.

e) Capacidad de aireación

La capacidad de aireación es la proporción de volumen de sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar (tensión de 10 cm de columna de agua). El valor óptimo indicado para un sustrato ideal se sitúa entre el 20-30% (Abad et al., 1992; Noguera et al., 2003), siendo dicho valor el que indica la facilidad para que llegue el oxígeno a las raíces de la planta. En general, la capacidad de aireación según el tipo de material orgánico se mantuvo con un valor similar para turba y vermicompost y disminuyó para compost (Fig. 4.8). La adición de los diferentes sustratos al medio de cultivo ha producido un leve descenso en la capacidad de aireación conforme aumenta el porcentaje de sustitución. Todos los sustratos mostraron valores superiores a los del sustrato ideal (Abad y col., 2001), lo cual sería apropiado para su uso al ser esta propiedad limitante cuando los valores son inferiores al rango comentado.

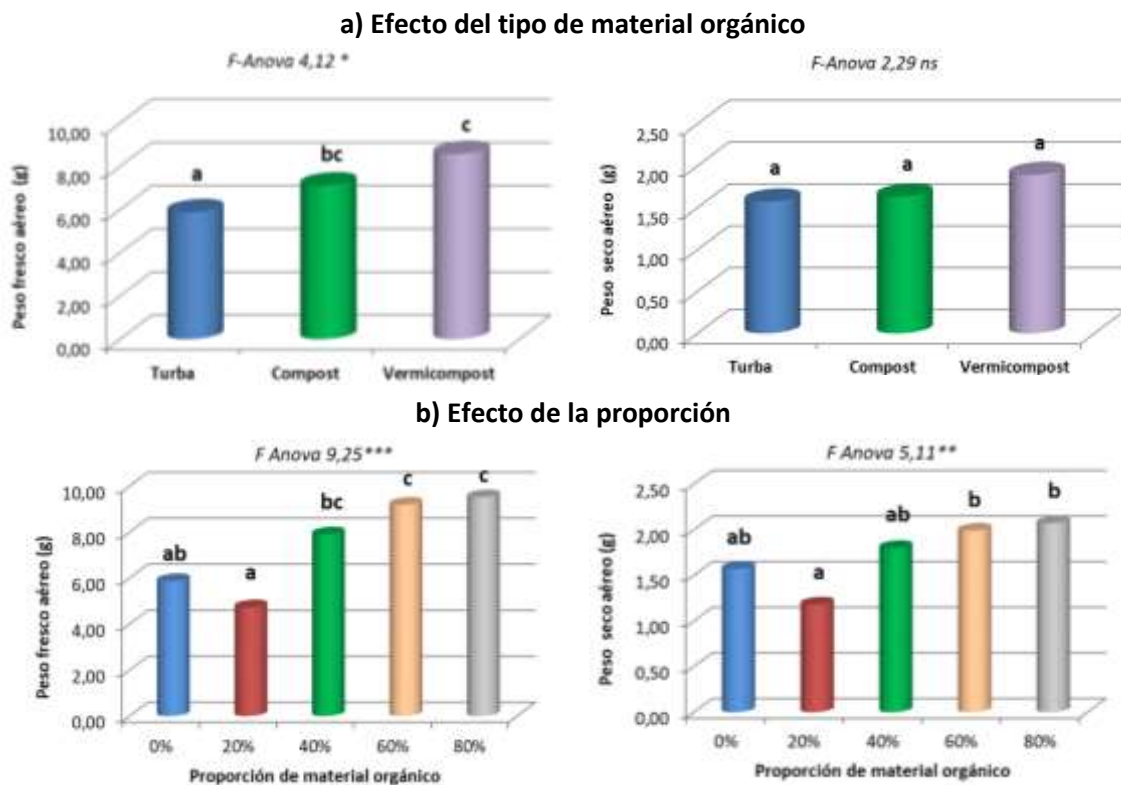


**Figura 4.8.** a) Efecto del tipo de material orgánico; b) efecto de la proporción de material orgánico (compost o vermicompost) en la capacidad de aireación (%) de los sustratos.

## 4.2. Efectos sobre el material vegetal

### a) Peso de la parte aérea

En la Figura 4.9 se muestra el peso fresco y seco de la parte aérea de las plántulas de adelfa en función del ingrediente incorporado al sustrato (compost o vermicompost) o de su proporción en el sustrato. El peso de la parte aérea, según el tipo de material orgánico, presentó una significación muy baja para peso fresco y no mostró diferencias significativas para el peso seco. Según el efecto de la proporción de sustitución dicho parámetro presenta valores más significativos para las distintas variables. Se observan tendencias parecidas para peso fresco y peso seco, disminuyendo en el porcentaje de sustitución de 20% respecto al control y luego aumentando conforme aumenta dicho porcentaje (Figura 4.9).

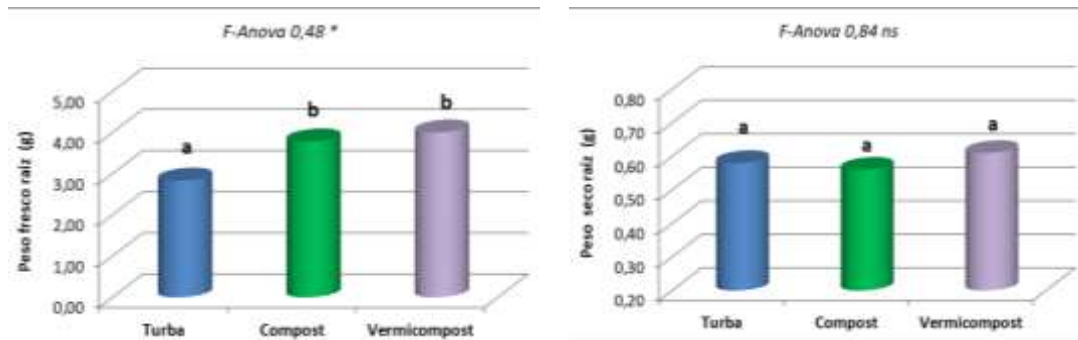


**Figura 4.9.** a) Efecto del tipo de material orgánico; b) efecto de la proporción de material orgánico (compost o vermicompost) sobre el peso fresco (izquierda) y peso seco (derecha).

## b) Peso de la raíz

Las raíces desempeñan funciones esenciales para el crecimiento y la supervivencia de las plantas, que incluyen el anclaje en el sustrato y el soporte estructural, la absorción de agua, minerales, compuestos orgánicos, xenobióticos y otras sustancias, etc., el almacenamiento de agua, minerales, carbohidratos y actividades biosintéticas como la producción de hormonas, vitaminas, enzimas, metabolitos secundarios y de numerosas señales radicales involucradas en la respuesta al estrés (Stokes, 2000; Marschner, 2012). Son muchas variables la que afectan el crecimiento radical, como por ejemplo la disponibilidad de agua, ya que la tasa de crecimiento radical decrece al aumentar la tensión del agua en el suelo. También, el exceso de sustancias tóxicas restringe el desarrollo radical. Pero, las principales causas que afectan el desarrollo de raíces están en función de la porosidad y la compresibilidad del suelo (Baver, 1973). El peso de la raíz, según el tipo de material orgánico, presentó una significación muy baja para fresco y no significativos para seco (Fig. 4.10). Según el efecto de la proporción de sustitución, el parámetro aumentó conforme lo hizo el porcentaje de sustitución, pero presentó valores muy similares para los porcentajes de 20, 40 y 60%. Para el peso seco según la proporción las diferencias entre las variables no presentan significación.

a) Efecto del tipo de material orgánico



b) Efecto de la proporción

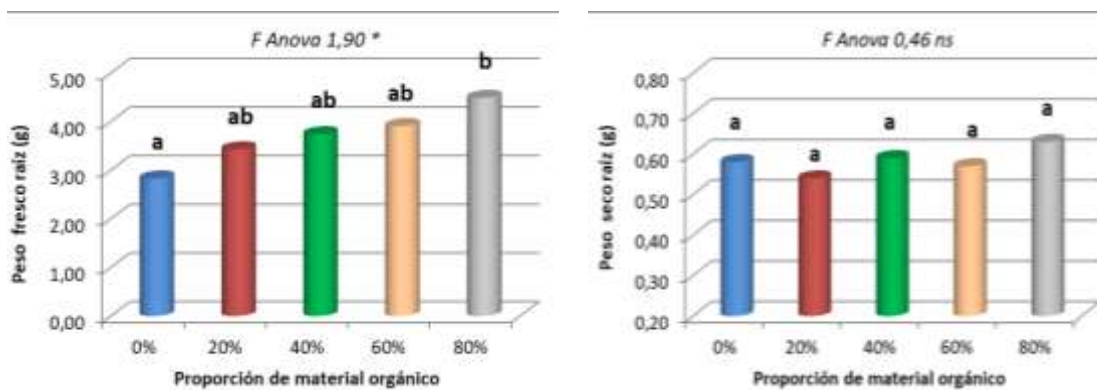


Figura 4.10. a) Efecto del tipo de material orgánico; b) efecto de la proporción de material orgánico (compost o vermicompost) sobre el peso fresco (izquierda) y peso seco (derecha) de raíz.

## 5. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas en relación a los objetivos planteados en este trabajo fin de grado, son las siguientes:

- ✓ Las mezclas elaboradas a base de compost o vermicompost mostraron, en general, adecuadas propiedades para su uso como sustrato.
- ✓ Las propiedades físico-químicas (pH y conductividad eléctrica) mostraron valores ligeramente superiores a los de la turba para todas las mezclas ensayadas, aunque esto luego no se reflejó de forma negativa en el rendimiento de plántula.
- ✓ Los parámetros asociados a la densidad (real y aparente) mostraron valores dentro de los rangos óptimos para todos los materiales estudiados.

- ✓ Propiedades físicas esenciales para el uso de un material como sustrato, tales como la contracción, la densidad aparente, la contracción y fundamentalmente, la capacidad de aireación, mostraron valores dentro del rango óptimo, especialmente en las proporciones inferiores al 80% y sobre todo, para las mezclas que contenían vermicompost.
- ✓ Respecto a la biomasa de planta obtenida, los resultados obtenidos han sido más favorables en el caso de las mezclas que contenían compost o vermicompost respecto al control de turba, obteniendo los mejores resultados en los porcentajes de sustitución del 40%, 60% y 80%.

## **6. PROYECCIÓN FUTURA**

Una vez realizado este estudio, se pueden considerar ciertos aspectos a mejorar a la hora de plantear ensayos posteriores que permitan optimizar la sustitución de la turba por materiales alternativos disponibles y de bajo coste económico, tales como compost y vermicompost.

Dadas las diferencias poco significativas observadas entre compost y vermicompost respecto al rendimiento de planta, sería conveniente tener en cuenta otros factores como el precio de los sustratos, la facilidad de obtención o la posibilidad de adaptar la proporción de sustitución a otras especies vegetales diferentes a la adelfa, también cultivadas en el vivero y utilizadas en actividades de repoblación. Adicionalmente, también se podrían considerar el uso de mezclas ternarias (uso de un tercer componente), que optimice los aspectos a mejorar de los sustratos ensayados, como son el pH y la conductividad eléctrica.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- Abad, M.; Martínez, M.D.; Martínez, J. (1992).** Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. Actas de horticultura 11: 141-154.
- Abad, M., Noguera, P. y Bures, S. (2001).** National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. Bioresource Technology.
- Abad, M., Fornes, F., Mendoza-Hernández, D y García de la Fuente, R. (2008).** Uso de compost como sustrato o componente de sustratos en viveros y semilleros. Tendencias futuras. Actas de horticultura 53: 14-25
- Abad, M., Martínez, M.D., Cegarra, J., Roig, A.F. y Martínez, J.(1993).** El compost de residuos y subproductos orgánicos como componentes de los medios de cultivo de las plantas ornamentales cultivadas en maceta. Actas de Horticultura 10: 1191- 1196.
- Abad, M. y Puchades, R. (coord.). (2002).** Compostaje de residuos orgánicos generados en la hoya de Buñol (Valencia) con fines hortícola. Ed. Asociación para la Promoción Socioeconómica Interior Hoya de Buñol, Valencia.
- Alexander, P. D.; Bragg, N. C. (2014).** Defining sustainable growing media for sustainable UK horticulture. Acta Horticulturae 1034, 219-224.
- Amor, F. M.; Gómez-López, M. (2009).** Agronomical Response and Water Use Efficiency of Sweet Pepper Plants Grown in Different Greenhouse Substrates. HortScience 44 (3), 810-814.
- Barrett, G. E.; Alexander, P. D.; Robinson, J. S.; Bragg, N. C. (2016).** Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. Scientia Horticulturae 212, 220-234.
- Borrero, C.; Castillo, S.; Segarra, G.; Trillas, M. I.; Castaño, R.; Avilés, M. (2013).** Capacity of composts made from agriculture industry residues to suppress different plant diseases. Acta Horticulturae 1013, 459-463.
- Burés, S. (1997).** Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid. 342 p.
- Bustamante, M.A., Paredes, C., Moral, R., Agulló, E., Pérez-Murcia, M.D. and Abad, M. (2008).** Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production. Resour. Conserv. Recycl. 52: 792-799.
- Carmona, E. y Abad, M. (2008).** Compostaje. Aplicación del compost en viveros y semilleros. Ed. Mundi-Prensa. 17: 397-424.
- Chang, M.; Falcón, F.; Hoyos, M. y Rodríguez, A. (2004).** Manual Práctico de Hidroponía. 4ª ed. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Departamento de Biología. 100 p.
- Chen, Y.; Inbar, Y. (1993).** Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. En: Science and engineering of composting: design,

- environmental, microbiological and utilization aspects. Ed.: H.A.J. Hoitink y H.M. Keener. Renaissance Publications. Ohio. pp. 551-600.
- Costa, F., García, C., Hernández, T. y Polo, A. (1991).** Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y Utilización. Ed.: CSIC-CEBAS. Murcia.
- De Boodt, M.; Verdonck, O. (1971).** The physical properties of the substrates in horticulture. III Symposium on Peat in Horticulture, 26, 37-44.
- De Corato, U.; Viola, E.; Arcien, G.; Valerio, V.; Zimbardi, F. (2016).** Use of composted agro-energy co-products and agricultural residues against soil-borne pathogens in horticultural soil-less systems. *Scientia Horticulturae* 210, 166-179.
- Fascella, G. (2015).** Growing substrates alternative to peat for ornamental plants. *Soilless Culture-Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops*, 47-67.
- GECT (Grupo de examen científico y técnico de Ramsar), IPS (International peat society) y IMCG (International mire conservation group).** Resolución VIII. 17: Lineamientos para la acción mundial sobre turberas. Manual de la convención de Ramsar: Guía a la convención sobre los humedales. Gland (Suiza): secretaria de la convención Ramsar, 2002, 15p.
- Gruda, N. (2010).** Sustainable peat alternative growing media. XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (ICH2010): International Symposium on 927, 973-979.
- Guérin, V.; Lemaire, F.; Marfà, O.; Cáceres, R.; Giuffrida, F. (1998).** Consequences of using alternative to peat substrates for the environment. XXV International Horticultural Congress, Part 1: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications-511, 239-248.
- Hardin, J.W. y Arena, J.M. (1974).** Human Poisoning from Native and Cultivated Plants, Duke University Press, Durham (1974).
- Higashikawa, F.; Silva, C.; Bettiol, W. (2010).** Chemical and physical properties of organic residues. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34 (5), 1742-1752.
- Jayasinghe, G. Y.; Arachchi, I. L.; Tokashiki, Y. (2010).** Evaluation of containerized substrates developed from cattle manure compost and synthetic aggregates for ornamental plant production as a peat alternative. *Resources, Conservation and Recycling*, 54 (12), 1412-1418.
- Jiménez Mejías, R.; Caballero Ruano, M. (1990).** El cultivo industrial de plantas en maceta. ISBN: 9788487729003. Ed. Ediciones de Horticultura S.L.
- Kingsbury J.M. (1964).** Poisonous plants of the United States and Canada, Prentice-Hall, Englewood Cliffs (New Jersey, USA), p. 262-267.
- López-Cuadrado, M.C. y Masaguer, A. (2006).** Sustratos para viveros: conocer sus propiedades ayuda a su correcta utilización. *Horticultura*, vol. Extra, p 44-40.
- Maher, M., Prasad, M. y Raviv, M. (2008).** Organic soilless media components. In *Soilless culture: Theory and practice*, ed. M. Raviv and J. H. Lieth, 459-504. Oxford: Elsevier.



- Martínez, F.M. (1992).** Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de Horticultura*, 11, 55-66.
- Martínez, F.M. (2011).** Implantación de un sistema de valorización de residuos orgánicos mediante vermicompostaje en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO). Trabajo Fin de Máster.
- Martínez, P. F.; Roca, D. (2011).** Sustratos para el cultivo sin suelo: Materiales, propiedades y manejo. *Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo*, 33-77. Ed. Universidad Nacional de Colombia.
- Noguera, P., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A. y Noguera, V. (2003).** Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as a container medium. *Commun. SoilSci. Plant Anal.* 34: 593-605.
- Portis, E.; Comino, C.; Lenzi, A.; Lombardi, P.; R. Tesi, R.; S. Lanteri, S.(2004).** Amplified fragment length polymorphism for variety identification and genetic diversity assessment in oleander (*Nerium oleander* L.)
- Quintero, M. F.; González, C. A.; Guzmán, J. M. (2011).** Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. *Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo*, 79-108. Ed. Universidad Nacional de Colombia.
- Raviv, M.; Chen, Y., Inbar, Y. (1986).** Peat and peat substitutes as growth media for container-growth plants. In: Y. Chen and Y. Avnimelech (Eds.). *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht (The Netherlands), pp. 257-287.
- Real Decreto 865/2010**, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo.
- Wilson, G. (1983).** The physico-chemical and physical properties of horticultural substrates. *International Symposium on Substrates in Horticulture other than Solis in situ*, 150, 19-32.
- Zucconi, F. y De Bertoldi, M. (1987).** Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. En: *Compost: Production, Quality and Use*. Ed. M., de Bertoldi; M.P., Ferranti; P., L'Hermite y F., Zucconi. Elsevier. Barking, 30-50.

**Páginas web consultadas:**

**Meteoblue** (<https://www.meteoblue.com/es/historyplus>), última visita: 22/06/2018.

**Climate-data.** CLIMA: GUARDAMAR DEL SEGURA (<https://es.climatedata.org/location/57015/>), última visita: 22/06/2018.

**Riegosivia.** Instituto valenciano de investigaciones agrónomas (<http://riegos.ivia.es/datos-meteorologicos/>), última visita: 22/06/2018.

**Jardín Botánico.** Universidad de Málaga . Desarrollo diseño y elaboración Green Globe Sostenibilidad y Proyectos Ambientales. (<http://www.jardinbotanico.uma.es/bbdd/index.php/bu-fr4-01/77>), última visita: 22/06/2018.