



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD DE
CIENCIAS EXPERIMENTALES**

**TITULACIÓN DE INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA
ESPECIALIDAD HORTOFRUTICULTURA Y JARDINERÍA**

**VALORACIÓN DEL COMPOST DE RESIDUOS
VEGETALES HORTÍCOLAS COMO SUSTRATO
EN CUBIERTAS AJARDINADAS**

ALUMNA:

SONIA IBÁÑEZ BARÓN

DIRECTORES:

MARÍA DEL CARMEN SALAS SANJUÁN

AGUSTÍN SÁNCHEZ PRADOS

ALMERÍA, FEBRERO 2014

I. INTERÉS Y OBJETIVOS	4
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Introducción.....	6
2.2. Cubiertas vegetales y/o ajardinadas.	7
2.2.1. Tipos de cubiertas ajardinadas.	7
2.2.1.1. Cubiertas ajardinadas extensivas.....	7
2.2.1.2. Cubiertas ajardinadas intensivas.....	8
2.2.2. Beneficios de las cubiertas vegetales.	8
2.2.3. Consideraciones para el uso de cubiertas ajardinadas en condiciones mediterráneas con clima árido o semiárido.....	9
2.3. Compostaje como fuente de materia orgánica.....	10
2.3.1. Uso del compost como sustrato en cultivos sin suelo.	10
2.3.2. Enmienda utilizada para adecuar el pH del compost de residuos vegetales hortícolas.	10
2.3.3. Propiedades físico-químicas del compost de residuos vegetales hortícolas.....	11
III. MATERIAL Y MÉTODOS	13
3.1. Localización del ensayo.	13
3. 2. Especies vegetales.	13
3.2.1. Aspectos a considerar para la elección de las plantas.....	13
3.2.2. Plantas seleccionadas.....	13
3.2.2.1. <i>Rosmarinus officinalis</i>	13
3.2.2.2. <i>Lavandula angustifolia</i>	14
3.2.2.3. <i>Thymus vulgaris</i>	15
3.3. Simulación de cubiertas ajardinadas extensivas. Construcción.	15
3.4. Establecimiento, período experimental y manejo del ensayo.....	16
3.5. Diseño experimental y tratamientos aplicados.	17
3.5.1. Preparación de las mezclas de sustrato.....	18
3.6. Plantación en las parcelas experimentales.	21
3.7. Parámetros muestreados en las parcelas experimentales.....	21
3.7.1. Parámetros de desarrollo vegetal.....	21
3.7.2. pH y Conductividad eléctrica (CE).....	22
3.7.3. Aniones y Cationes.	23

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1. Parámetros de desarrollo vegetal.	25
4.1.1. Altura.....	25
4.1.2. Área.....	27
4.1.3. Índice de crecimiento.	29
4.1.4. Índice de supervivencia.....	30
4.2. Análisis del compost de residuos vegetales hortícolas durante el proceso de preparación de las mezclas de la cubierta.	33
4.2.1. pH.....	33
4.2.2. Conductividad eléctrica (CE).....	34
4.2.3. Aniones.	35
4.2.4. Cationes.	37
4.3. Evolución de los tratamientos durante el período de establecimiento del ensayo.	38
4.3.1. Consumo hídrico.	38
4.3.2. pH.....	39
4.3.3. Conductividad eléctrica (CE).....	40
4.3.4 Aniones.	41
4.3.5 Cationes.....	41
V. CONCLUSIONES	45
VI. BIBLIOGRAFÍA	47

I. INTERÉS Y OBJETIVOS

I. INTERÉS Y OBJETIVOS

En Almería se producen aproximadamente 769.500 toneladas de residuo vegetal cada año, cifra calculada para una superficie de 27.000 hectáreas invernadas (Callejón-Ferre et al., 2010).

En relación con esto, uno de los principales problemas que se presenta en los cultivos intensivos bajo plástico es la eliminación de estos restos vegetales generados tras la cosecha, ya que, por una parte se encuentra el coste en tiempo y dinero que supone la eliminación de dichos residuos.

Y a sí mismo, esta situación da lugar a focos de infección de parásitos, microorganismos, ratas e insectos y otros cambios ambientales como la contaminación del suelo por parte de elementos tóxicos, generación de malos olores, etc.

El compostaje controlado parece ser una forma de eliminar los residuos y ofrece la posibilidad de reutilización de los materiales como enmienda orgánica en los suelos agrícolas y/o jardines.

El uso en agricultura no está muy extendido por las susceptibilidades que genera en los agricultores su reutilización. Por ello, el uso como sustrato en las cubiertas ajardinadas de los edificios se convierte en una posibilidad interesante. De esta forma, se utilizaría como fuente de material orgánico al compost local y se contribuiría a dar salida a un residuo que actualmente tiene difícil utilización.

Las características del compost de residuos vegetales hortícolas presenta una serie de dificultades para ser utilizado directamente en el suelo entre las que destacan la conductividad eléctrica por la elevada presencia de cationes como el sodio y los altos valores de pH (Ventura, 2012; Salas et al., 2000; Mazuela et al., 2005).

Las cubiertas ajardinadas podrían definirse como jardines sin suelo, con lo cual la dificultad de la utilización es muy similar a la encontrada cuando se utiliza como sustrato en hidroponía (Salas et al., 2000; Mazuela et al., 2005).

Los objetivos de este estudio fueron:

- Evaluación del uso del compost de residuos vegetales hortícolas como sustrato para la plantación en cubiertas ajardinadas extensivas en comparación al empleado comercialmente.
- Evaluación del establecimiento y desarrollo de especies autóctonas y/o naturalizadas propias del clima mediterráneo en una simulación de cubiertas ajardinadas extensivas, cuando se utiliza compost de restos vegetales hortícolas como sustrato.
- Evaluación de las propiedades químicas del compost de residuos vegetales hortícolas directamente y con una enmienda de azufre para su empleo como componente orgánico de la cubierta ajardinada extensiva.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. Introducción.

El fuerte desarrollo producido en la agricultura bajo plástico en la provincia de Almería, ha llevado consigo un aumento de problemas relacionados con la gestión de los residuos generados en distintas cosechas.

Estos residuos conllevan asociados diversos problemas en su eliminación o tratamiento, tanto de índole económica como medioambiental (ésta última cada vez con mayor importancia).

En Almería se producen aproximadamente 769.500 toneladas de residuo cada año, cifra calculada para una superficie de 27.000 hectáreas invernadas (Callejón-Ferre et al., 2010).

El efecto perjudicial de los residuos vegetales hortícolas en el medio ambiente se debe fundamentalmente a la acumulación de los mismos en las zonas de cultivo y proximidades a los invernaderos, convirtiéndose, debido a su depósito y abandono, en fuente de lixiviados y gases, focos de plagas y vectores de enfermedades, así como fuente de malos olores (causados por procesos fermentativos), que hacen necesaria la gestión adecuada de los mismos con el fin de minimizar el impacto asociado a su producción (Carrión et al., 2006).

Los residuos generados deben ser retirados del lugar de cultivo en el cual se han desarrollado antes de la implantación del siguiente ciclo, debido principalmente a razones de carácter temporal y fitosanitario (Martínez, 2006).

Los efectos negativos de la producción de residuos orgánicos pueden disminuir considerablemente si se desarrolla un plan de gestión de los mismos cuyo objetivo sea convertir los residuos en recursos.

La alternativa más ventajosa desde el punto de vista ambiental para el tratamiento de los restos vegetales hortícolas son los que permiten la recuperación o el reciclaje de los recursos contenidos en ellos. Operaciones de eliminación sin recuperación de energía o el depósito en vertederos suponen una pérdida de recursos naturales y contribuyen a la contaminación ambiental, por lo que se consideran prácticas no aceptables (López y Boluda, 2008).

Los restos vegetales son una fuente interesante de materia orgánica y elementos fertilizantes. El reciclado y valorización de dichos residuos en agricultura, da lugar a una forma eficaz de prevenir la degradación y contaminación del medio ambiente reduciendo el consumo de fertilizantes, enmiendas y sustratos (Abad et al., 2002; Carrión et al., 2006).

El uso directo de restos vegetales hortícolas en agricultura, provoca una serie de inconvenientes: fitotoxicidad (compuestos orgánicos, elementos y sustancias minerales, etc.), elevación de la temperatura en la rizosfera, deficiencia de oxígeno en el entorno radicular, etc., por lo que deben ser sometidos a tratamientos previos a su utilización (Abad et al., 1997; Butler et al., 2001; Pascual et al., 1999). Dichos restos, aportan ventajas ambientales y económicas, siempre que se realicen los tratamientos necesarios (como

compostaje y vermicompostaje) que permiten obtener productos de calidad y estables, capaces de controlar los planes de aplicación a suelos, sustratos y cultivos (Aalok et al., 2008; Martínez, 2002; Mazuela et al., 2005).

En la actualidad, el compostaje es técnica y económicamente viable, poco contaminante y tiene una mayor aceptación social en comparación con el vertido controlado o la incineración. Se trata de uno de los tratamientos más utilizados con fines agrícolas (Abad et al., 2002; Moral et al., 2009; Moreno y Moral, 2008).

La elaboración de compost con restos vegetales, es una práctica agrícola que tiene un doble objetivo: en primer lugar, eliminar los restos de poda de las parcelas que en muchos casos son hospedadores e inóculos de enfermedades y plagas y, en segundo lugar, aprovechar estos restos vegetales mediante el reciclaje y transformación, con el fin de obtener una materia orgánica de calidad que incorporada al terreno mejora la estructura y la biología del suelo de cultivo (Palmero, 2010).

La naturaleza de la materia orgánica es importante en el desarrollo de los procesos de compostaje debido a su composición y características físico-químicas, que dependen de la fuente de residuos. Aún hoy el material más comúnmente utilizado como sustrato es la turba, aunque por razones de coste y sostenibilidad, se buscan materiales alternativos. En algunos compost, el elevado valor de pH constituye un factor limitante debido a la disminución de la disponibilidad de algunos nutrientes (Carrión et al., 2008).

El compost obtenido puede ser utilizado como sustituto de la tierra vegetal en jardinería y paisajismo, como enmienda orgánica en cultivos forestales y agrícolas y como sustrato en viveros forestales, ornamentales y hortícolas

2.2. Cubiertas vegetales y/o ajardinadas.

Son conocidas por muchos nombres (techos verdes, ecológicos, con vegetación, etc.) pero todos se refieren a cubiertas de distinto tipo, modificadas para soportar vegetación en su superficie, contribuyendo a un medio urbano más sostenible (López, 2010).

2.2.1. Tipos de cubiertas ajardinadas.

2.2.1.1. Cubiertas ajardinadas extensivas.

Son cubiertas construidas con una capa mínima de sustrato (entre 20 y 200 mm) y por lo tanto, podrían ser instaladas en cualquier techo sin cambio o con mínimos refuerzos en la estructura para soporte de peso adicional. Aportan una carga entre 120 y 150 kg·m⁻² (ZinCo, 2012).

En función de las precipitaciones de la zona, pueden requerir o no un sistema de riego. Aún así, deberemos utilizar el riego para asegurar una correcta implantación de la vegetación, reduciéndolo paulatinamente hasta el punto de que solo tengamos que aportar agua en casos de sequía extrema

(ZinCo, 2012). Esto, combinado con un menor mantenimiento, ha llevado a una amplia difusión de las cubiertas verdes extensivas.

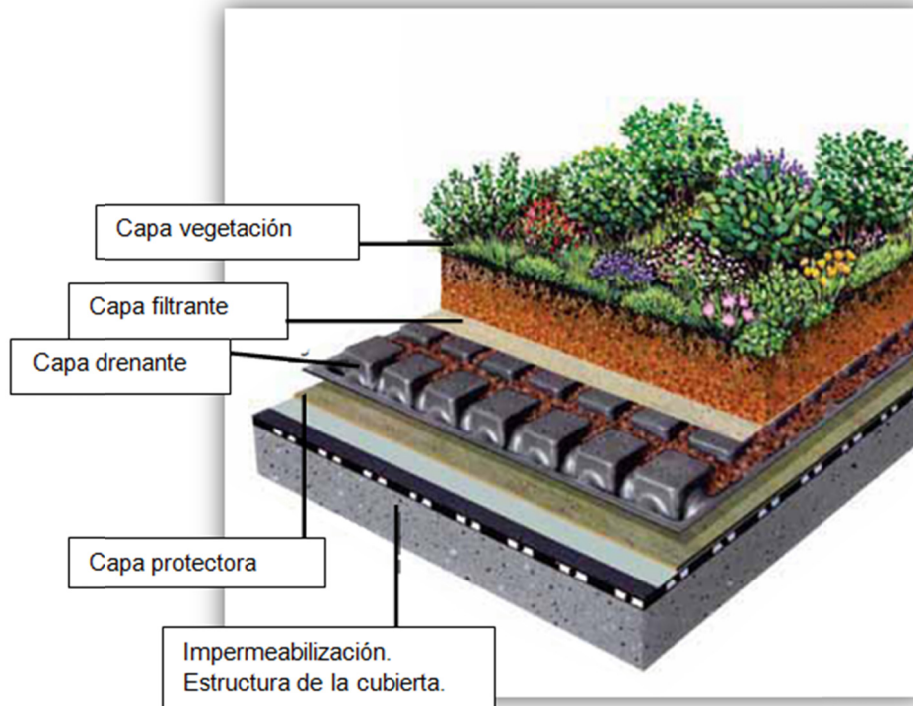


Figura 2.2. Estructura de una cubierta ajardinada extensiva. Fuente: ZinCo, 2012.

2.2.1.2. Cubiertas ajardinadas intensivas.

Son cubiertas más pesadas, costosas y demandan mayor mantenimiento del estrato vegetal. Requieren cuidado continuo y un sistema de riego que dependerá de las plantas seleccionadas. Pueden ser utilizadas como jardines reales.

Generalmente, requieren de una estructura inferior con una alta capacidad de carga, es decir, pueden necesitar modificaciones en el diseño de las estructuras para que soporten el peso de medios de cultivo más amplios y plantas mayores.

Con una capa de medio de cultivo o sustrato > 200 mm, permite cultivar una amplia gama de arbustos e incluso árboles. Aportan una carga > 150 kg·m⁻² (ZinCo, 2012).

2.2.2. Beneficios de las cubiertas vegetales.

Más allá de su aspecto natural atractivo, las cubiertas ajardinadas ofrecen indiscutiblemente muchos beneficios tanto ecológicos como económicos (ZinCo, 2012).

La superficie de cubiertas verdes aumenta su presencia cada vez más en las ciudades ya que son una estrategia importante para solucionar algunos de los principales problemas ambientales urbanos.

A continuación se presentan algunos de los beneficios que han sido más estudiados:

- Mejoran el clima urbano. Reduciendo el calentamiento atmosférico, humedeciendo el ambiente y creando así un clima más agradable.
- Reducen la contaminación. Funcionan como filtro ambiental, contribuyendo a reducir polvo y elementos tóxicos en la atmósfera.
- Ofrecen un hábitat naturalizado. Compensan gran parte de las zonas verdes naturales perdidas a causa de la urbanización, proporcionando un hábitat natural alternativo para animales y plantas.
- Mejoran la protección frente al ruido. Aíslan acústicamente y son capaces de mejorar la insonorización.
- Reducen el efecto de la isla de calor. Durante el verano la evaporación del agua puede producir grandes efectos refrigerantes dentro de las ciudades. Grandes superficies verdes son indispensables dentro de centros urbanos densos (ZinCo, 2012).

2.2.3. Consideraciones para el uso de cubiertas ajardinadas en condiciones mediterráneas con clima árido o semiárido.

El clima es uno de los factores importantes para el desarrollo y viabilidad de cualquier sistema.

El clima de las regiones áridas y semiáridas presentan condiciones extremas tales como la presencia de fuertes vientos, altas temperaturas que coinciden con períodos de sequía, escasez de agua y mala calidad de la misma, que obligan a tomar decisiones como la implantación de flora adaptada a las condiciones climáticas (bajo consumo hídrico, rápido crecimiento, coeficiente de jardín, etc.) elección del material empleado como sustrato, manejo del agua en el sistema, etc. Todo ello debe ser tenido en cuenta en la incorporación de los sistemas de naturación urbana para asegurar la sostenibilidad y supervivencia del mismo (Cortés, 2011).

En climas mediterráneos con prolongada sequía de verano, no es recomendable utilizar una profundidad de sustrato inferior a 200mm cuando el riego no es posible (Benvenuti y Baci, 2010).

En trabajos realizados en Almería se concluye sobre la necesidad de incorporar riego en las cubiertas incluso cuando el material vegetal empleado es autóctono y/o naturalizado (Heredia, 2012; Montero et al., 2013).

Debido a la fina capa de sustrato, las cubiertas extensivas se convierten en un medio ambiente difícil para el crecimiento vegetal por la disponibilidad limitada de agua, las fluctuaciones de temperatura, la alta exposición eólica y la radiación solar. Como resultado, un rango relativamente pequeño de especies vegetales se puede utilizar para techos verdes extensivos.

2.3. Compostaje como fuente de materia orgánica.

2.3.1. Uso del compost como sustrato en cultivos sin suelo.

Aunque los compost han venido empleándose mayoritariamente en agricultura como abonos y enmiendas orgánicas del suelo, en los últimos años ha surgido un nuevo e importante campo de aplicación al utilizarse también como sustratos o componentes de sustratos para el cultivo sin suelo.

Esta técnica se ha desarrollado con éxito 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.

En España, los sustratos más extendidos para la producción de hortalizas son de naturaleza inorgánica tales como la lana de roca, la perlita o la arena. Por el contrario, cuando se comercializa la planta entera, se utilizan los sustratos de naturaleza orgánica, principalmente los basados en turba Sphagnum y fibra de coco debido a sus óptimas cualidades. Sin embargo, el elevado precio de los sustratos orgánicos y la fuerte dependencia de los países productores y exportadores, unido al hecho de que son un recurso natural difícilmente renovable (su extracción provoca la destrucción de zonas de alto valor ecológico-arqueológico que cuestionan su disponibilidad futura), han fomentado el interés de los consumidores por la búsqueda de nuevos materiales, a ser posible autóctonos y con disponibilidad local e inmediata, que los sustituyan.

En este contexto, muchos residuos y subproductos de naturaleza orgánica generados por actividades agrarias, industriales o urbanas, convenientemente compostados, están siendo utilizados con éxito (puros o en mezclas entre ellos y con turba) como sustituyentes de los medios para el cultivo en contenedor. Se trata de una alternativa para la solución del problema medioambiental que plantea su acumulación y eliminación (Moreno, 2008).

2.3.2. Enmienda utilizada para adecuar el pH del compost de residuos vegetales hortícolas.

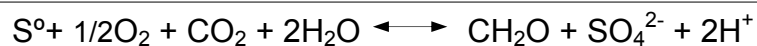
Los compost actualmente son muy utilizados como componentes de sustratos, aunque en algunos casos presentan pH alcalinos y causan problemas nutricionales. Por consiguiente, es necesario efectuar una corrección previa a la utilización del compost durante o posteriormente a la fabricación y/o realización de las mezclas.

Cuando los materiales van a ser utilizados como sustrato en cultivos sin suelo, como es el caso de las cubiertas ajardinadas, deberán corregirse los valores de pH mediante el fertirriego antes y/o durante el cultivo, recomendándose valores ligeramente ácidos (5-7) (Salas, 2005). El pH determina la disponibilidad de nutrientes asimilables, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica.

El azufre micronizado es una alternativa viable para corregir el pH del compost de restos de cosecha a los valores deseados. El tiempo requerido

para estabilizar el material dependerá de la cantidad de azufre incorporado. Es importante tener en cuenta el posible incremento de la conductividad eléctrica y los cambios en la disponibilidad de algunos nutrientes, ya que se requerirán ajustes en el manejo de cultivo (Barbaro et al., 2010).

El azufre es un aditivo de reacción ácida, es decir, por la acción de los microorganismos que lo asimilan se produce una liberación de protones del medio según esta reacción:



Los microorganismos además de generar protones y coger energía, también pueden generar materia orgánica fácilmente asimilable. Al añadir azufre elemental en una pila de compost maduro con un correcto régimen de volteo y una adecuada humedad, podemos observar un incremento significativo en la temperatura durante un tiempo. Esto es un claro indicador de la reactivación microbiológica tal y como se puede observar por la bajada de pH (e incluso la subida de la salinidad debida a la cantidad de sulfato que se libera) (Roig et al., 2004).

2.3.3. Propiedades físico-químicas del compost de residuos vegetales hortícolas.

Entre las propiedades físico-químicas destaca la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C) como la suma de cationes que pueden ser absorbidos por unidad de peso (o volumen) del sustrato. Los cationes quedan retenidos frente al efecto de lavado del agua y a disposición de la planta. Los sustratos orgánicos, por lo general, presentan una elevada C.I.C y generalmente una alta capacidad tampón frente a cambios rápidos en la disponibilidad de los nutrientes y en el pH.

La materia orgánica, especialmente las sustancias húmicas, contiene grupos funcionales cargados negativamente (carboxílico, fenólico, etc.) que son los que retienen los cationes evitando que sean lavados con el agua. Los iones orgánicos cargados negativamente absorben cationes (NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , etc.) en proporciones variables dependiendo de la concentración en la disolución nutritiva y afinidad de los cationes por los centros de adsorción.

La capacidad de los sustratos para absorber cationes metálicos depende del pH; cuanto más básico es el pH, más elevada es la capacidad de intercambio catiónico.

Un mismo material sometido a un tratamiento para incrementar su pH aumenta la proporción de cationes que puede adsorber en los centros activos. La C.I.C puede ser determinada según Lax et al (1986).

Los sustratos orgánicos normalmente contienen elevadas concentraciones de fósforo orgánico que se irá liberando lentamente pudiendo utilizarse como fuente fertilizante, aunque también es frecuente que la forma mineral del fósforo se encuentre inmovilizada (Handreck, 1996).

III. MATERIAL Y MÉTODOS

III. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. Localización del ensayo.

Las parcelas de simulación de las cubiertas ajardinadas extensivas se ubicaron en el IFAPA (Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica), en la Cañada de San Urbano, T.M. de Almería.



Fotografía 3.1. Lugar del ensayo al aire libre. Fuente: Maps Google, 2013.

3.2. Especies vegetales.

3.2.1. Aspectos a considerar para la elección de las plantas.

La elección de las plantas va a depender principalmente del clima en el que serán expuestas, donde se valorará esencialmente los cambios de temperatura, las precipitaciones, el viento y la altura de la cubierta vegetal.

El entorno mediterráneo es rico en especies nativas adaptadas a la falta de humedad y por lo tanto proporciona muchas variedades de especies para ser cultivadas en dichas cubiertas (Heredia, 2012). En nuestro ensayo, al presentar una escasa profundidad, se vio limitado el tipo de especies a poder utilizar.

3.2.2. Plantas seleccionadas.

3.2.2.1. *Rosmarinus officinalis*.

Arbusto perennifolio, que puede alcanzar de 0,5-1m de altura. Su fenología es muy amplia, en algunas zonas florece durante casi todo el año, aunque siempre con un máximo primaveral.

Se distribuye por la Cuenca Mediterránea, excepto algunos puntos del Norte y Noroeste. Es capaz de crecer en diversos tipos de sustratos, aunque muestra una clara preferencia por los roquedos calcáreos. El pH óptimo para el desarrollo de la planta oscila entre 6-8 (floramú, 2013).

Su hábitat natural son lugares soleados y secos, no soporta la hidromorfía ni la sombría, pues se trata de una planta heliófila y xerófila. Por su abundancia es un elemento de gran importancia paisajística y geobotánica (Gómez, 2012).



Fotografía 3.2. *Rosmarinus officinalis*.

3.2.2.2. *Lavandula angustifolia*.

Pequeño arbusto tomentoso de hasta 1m. Extendida por toda la Europa Submediterránea, su área se ha visto ampliada considerablemente por el cultivo, tanto como ornamental como para obtención de esencia. El pH óptimo para el desarrollo de la planta es básico (floramu, 2013).

Soporta una cierta sequía estival y periodos fríos, aunque requiere una buena insolación, por lo que cuanto más situada al norte, más precisa exposiciones soleadas. En cuanto a requerimientos edáficos es esencialmente calcícola, instalándose preferentemente en suelos desarrollados sobre calizas jurásicas y cretácicas bien drenados. No soporta los suelos ricos en arcillas, poco permeables o propensos a encharcarse (Gómez, 2012).



Fotografía 3.3. *Lavandula angustifolia*.

3.2.2.3. *Thymus vulgaris*.

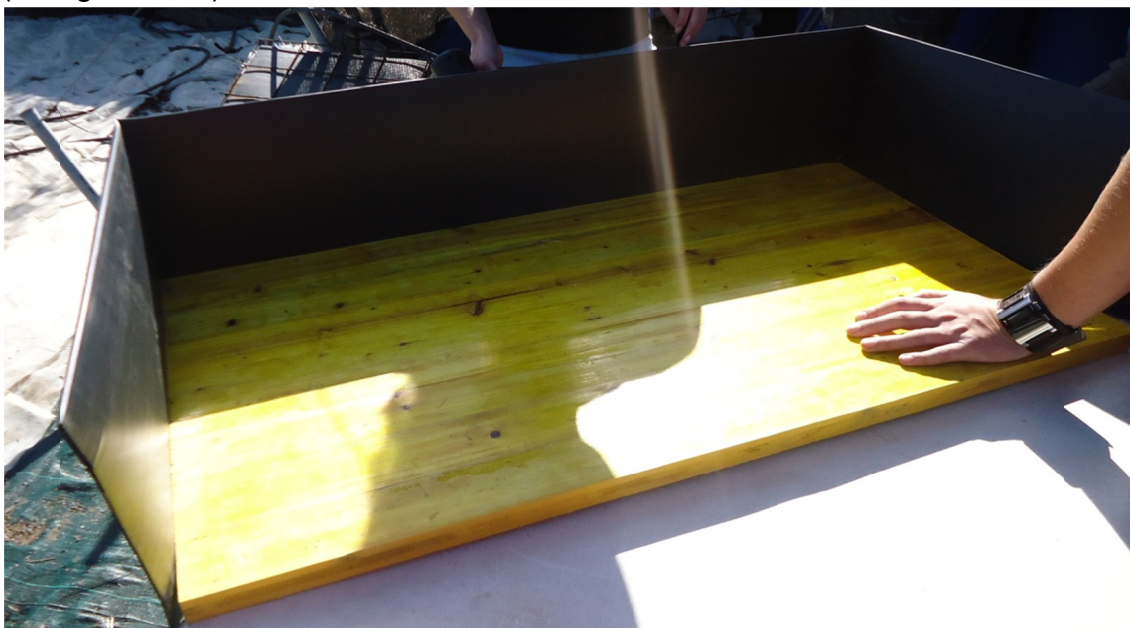
Pequeño arbusto o mata leñosa, de 10-30cm. En la Península es abundante en el centro y levante. Florece principalmente de abril a junio, aunque de forma local y esporádica. La fenología suele ser más amplia. El pH óptimo para el desarrollo de la planta es básico (floramu, 2013). Siente preferencia por los sustratos calcáreos, calizas y margas, siempre en lugares secos y soleados (Gómez, 2012).



Fotografía 3.4. *Thymus vulgaris*

3.3. Simulación de cubiertas ajardinadas extensivas. Construcción.

Se realizaron 9 cubiertas de 0,5m². Para la construcción de cada una de ellas, se utilizó como base un tablero de madera de encofrar tricapa de 50cm de ancho y 100cm de largo. Las paredes laterales estaban formadas por una capa doble de polipropileno de 25cm de alto grapada a la base de madera (Fotografía 3.5).



Fotografía 3.5. Construcción de una de las cubiertas experimentales.

Cada cubierta se impermeabilizó interiormente con plástico y se fijó con grapas a las paredes de polipropileno. Para reforzar las parcelas se colocaron perfiles de acero en la base de madera.

Encima del plástico se colocó una lámina drenante-retenedora de agua de 10mm. Sobre ésta se puso una capa de lana de roca de origen A de 20mm de grosor (Abad y Noguera, 2000) (Fotografía 3.6).



Fotografía 3.6. Lámina drenante-retenedora de agua y capa de lana de roca.

Terminadas las cubiertas, se le practicó un orificio para el drenaje (Fotografía 3.7) y se le proporcionó una pendiente longitudinal del 1%.



Fotografía 3.7. Vista del drenaje de la simulación de cubierta ajardinada.

3.4. Establecimiento, período experimental y manejo del ensayo.

- Período de establecimiento del ensayo

Durante los meses de febrero, marzo y abril de 2013, se dotó a todas las parcelas de abundante riego, para una correcta implantación de las plantas.

- Periodo experimental

Desde mayo de 2013, se aplicó la misma dotación de riego de 4L a todos los tratamientos. Para el cálculo de la dotación se utilizó la evapotranspiración (ET_o) y el coeficiente de jardín en WUCOLS (Water Use Classification of Landscape Species) (Costello, et al., 2000) obtenida para nuestras condiciones según las referencias locales (Heredia, 2012). Del producto de la ET_o con la media local de los últimos 5 años (IFAPA, 2013) y el coeficiente de jardín de 0,30 (Heredia, 2012), se obtuvo una frecuencia de 3 riegos/semana, para cada uno de los tres tratamientos. El riego se realizó de forma manual por falta de medios, utilizando una regadera, por lo tanto no se pudo tener en cuenta la eficiencia de riego en el cálculo, lo que hubiera sido lo idóneo (Fotografía 3.8).



Fotografía 3.8. Riego de las parcelas experimentales.

3.5. Diseño experimental y tratamientos aplicados.

El experimento consistió en el uso de compost de residuos vegetales hortícolas como sustrato para la plantación en cubiertas ajardinadas, el compost fue utilizado directamente una vez finalizado el proceso de compostaje y otro fue sometido a un tratamiento para mejorar sus propiedades químicas. En el experimento se realizaron tres tratamientos en función del sustrato empleado como componente orgánico de la cubierta. Los tratamientos realizados fueron los siguientes:

T0: Arcilla Expandida + Sustrato Vegetal.

T1: Arcilla Expandida + Compost de residuos vegetales hortícolas.

T2: Arcilla Expandida + Compost de residuos vegetales hortícolas + Enmienda.

Cada tratamiento estaba formado por 3 repeticiones que simulaban la estructura de una cubierta ajardinada. El ensayo usado como testigo o

referencia, fue el tratamiento T0 (arcilla expandida + sustrato vegetal) correspondiente a las características de las cubiertas vegetales comerciales.

Las cantidades para la preparación de las mezclas de arcilla expandida y materia orgánica (según tipo de sustrato) se calcularon según las recomendaciones empleadas en las cubiertas comerciales (ZinCo, 2008): 65 g·L⁻¹ de materia orgánica en seco y 80% de materia orgánica. Los cálculos realizados se especifican en el apartado 3.5.1.

3.5.1. Preparación de las mezclas de sustrato.

Para calcular la cantidad necesaria de material orgánico a emplear en cada simulación de cubierta hubo que calcular el peso seco de cada tipo de sustrato orgánico. Para ello, se pesaron tres repeticiones de cada componente orgánico de la mezcla, aproximadamente de 600 mL cada uno (peso en húmedo).

Tabla 3.1. Peso en húmedo de los materiales empleados en la mezcla de sustrato.

Sustrato vegetal	Compost de residuos vegetales hortícolas
Peso húmedo (g)	Peso húmedo (g)
268,62	197,22
216,02	189,41
210,59	180,83
Media (g)= 231,74	Media (g) =189,15

Ya pesadas, se llevaron a la estufa, durante un periodo de tres días (23/11/12 al 26/11/12) hasta que el peso de las muestras no variara. Transcurrido ese tiempo, se volvieron a pesar las muestras, obteniendo el peso en seco.

Tabla 3.2. Peso en seco de los materiales empleados en la mezcla de sustrato.

Sustrato vegetal	Compost de residuos vegetales hortícolas
Peso seco (g)	Peso seco (g)
118,59	146,56
115,39	138,50
112,82	131,99
Media (g)= 115,6	Media (g)= 139,02

Una vez obtenidos los datos de las muestras tanto en seco como en húmedo, se calcularon las cantidades de cada componente orgánico necesarias para preparar la mezcla de cada uno de los tratamientos.

Debido a la diferencia en el peso en seco del sustrato vegetal y compost de residuos vegetales hortícolas, se completó con arcilla expandida hasta alcanzar la capacidad total de la bandeja (75L).

En la tabla 3.3 se resumen las cantidades a emplear de cada componente del sustrato para la fabricación de una bandeja prototipo de

cubierta (repetición). Para el tratamiento T2, era necesario calcular la cantidad de material a emplear como enmienda. Para el cálculo de la enmienda aplicada al compost previamente a su utilización como parte orgánica del sustrato de cubierta se utilizó la referencia de Ventura (2012), quién concluyó que los mejores resultados se obtenían cuando se aplicaba el 0,7% en volumen de azufre.

Tabla 3.3. Cantidades utilizadas para la preparación de cada bandeja de simulación de cubierta en función del componente utilizado (sustrato vegetal y compost de residuos vegetales hortícolas).

Composición de los tratamientos				
Tratamientos	Sustrato vegetal	Compost de residuos vegetales hortícolas	Arcilla expandida	Enmienda de azufre
T0	32 L		43 L	
T1		27 L	48 L	
T2		27 L	48 L	189 mL

A continuación se resume el procedimiento empleado para la preparación de las mezclas de cada una de las repeticiones de las simulaciones de cubierta en cada tratamiento.

T0: Arcilla expandida + Sustrato vegetal.

Una vez preparada la mezcla de arcilla expandida y sustrato vegetal, se procedió a rellenar las bandejas. El sustrato vegetal (Sustrato Professionnel Terreau) estaba compuesto por la selección de turbas de Sphagnum procedentes del norte de Europa y España.

Tabla 3.4. Características físico-químicas del Sustrato Professionnel Terreau según fabricante.

Composición	Contenido
Materia orgánica	Aprox. 80%
Cribado	0-20 mm
pH	5,6-6,4
Conductividad (mS/cm)	Aprox. 0,85
NPK + Microelementos	0,9 kg·m ⁻³
Abono orgánico	1 kg·m ⁻³
Contenido	80 Litros (CEN- 12580)

T1: Arcilla expandida + Compost de residuos vegetales hortícolas.

A continuación se describe el procedimiento para la preparación del tratamiento T1, acondicionado mediante lavado con agua 1:1 en volumen.

Previamente a la incorporación del compost de residuos vegetales hortícolas a la mezcla de la cubierta, se procedió a saturar con agua poco a poco hasta capacidad de campo. De esta muestra se obtuvieron 3 repeticiones

del extracto saturado para su posterior análisis, conociendo así las características iniciales del sustrato.

Cada dos días se añadía a la mezcla anterior, toda el agua que se perdía por evaporación (siempre hasta capacidad de campo) (Fotografía 3.9).



Fotografía 3.9. Preparación de la mezcla de sustratos para cada simulación de cubierta. Mezcla y volteo (izquierda) y riego para humedecer la mezcla (derecha).

Transcurridos 20 días, se volvió a añadir agua hasta capacidad de campo, obteniéndose nuevas muestras de extracto saturado que correspondían a las tres repeticiones, las cuales fueron analizadas con posterioridad.

Para concluir, se acondicionó el compost de residuos vegetales hortícolas mediante un lavado (añadiendo su mismo volumen en agua 1:1), consiguiendo de esta forma 3 muestras de drenaje que al igual que en todo el proceso descrito fueron nuevamente analizadas.

T2: Arcilla expandida + Compost de restos vegetales hortícolas + Enmienda (Azufre).

El procedimiento seguido para la preparación del tratamiento T2, es igual al descrito para la realización del tratamiento T1, diferenciándose en la aplicación de la enmienda de azufre (Fotografía 3.10).



Fotografías 3.10. Añadiendo azufre al compost de residuos vegetales hortícolas.

3.6. Plantación en las parcelas experimentales.

La plantación se realizó el 22 de febrero de 2013 (Fotografía 3.11).



Fotografía 3.11. Plantación terminada.

3.7. Parámetros muestreados en las parcelas experimentales.

3.7.1. Parámetros de desarrollo vegetal.

A partir del 17/5/2013 se realizó un conteo quincenal de altura, área ocupada por la planta, índice de crecimiento e índice de supervivencia (Fotografía 3.12).



Fotografía 3.12. Medida del área ocupada por la planta.

Para estimar la superficie ocupada por la planta (cm^2), se empleó la ecuación del área de una elipse, y para ello fue necesario cuantificar el diámetro mayor y menor que ocupaba cada planta.

$$A = \pi \cdot R_1 \cdot R_2$$

Siendo:

R_1 = radio mayor

R_2 = radio menor

En el caso del índice de crecimiento (cm), se utilizó la referencia de Warsaw et al (2009).

$$IC = \frac{A + Dm + dm}{3}$$

Siendo:

A = Altura

Dm = Diámetro mayor

dm = Diámetro menor

En el índice de supervivencia (%), se cuantificó a lo largo del ciclo cada 15 días, para ello se contabilizaba el número de plantas muertas de cada tratamiento sobre el total de plantas plantadas.

Los datos de área, altura, índice de supervivencia e índice de crecimiento de las plantas utilizadas en el ensayo, fueron representados con el Software "Microsoft Office Excel" y comparados con el Software comercial "Statgraphics Centurion XVI, versión 16.2.04".

3.7.2. pH y Conductividad eléctrica (CE).

Durante el período comprendido entre 17/05/2013 y 5/09/2013 se midió el pH y la conductividad eléctrica (CE) semanalmente.

El pH se midió con un pH-metro modelo CRISON pH 25⁺. Y en el caso de la conductividad eléctrica (CE), se determinó con un conductímetro modelo CRISON MM 40.

Los resultados se expresaron en dSm^{-1} a 25°C (Fotografías 3.13).

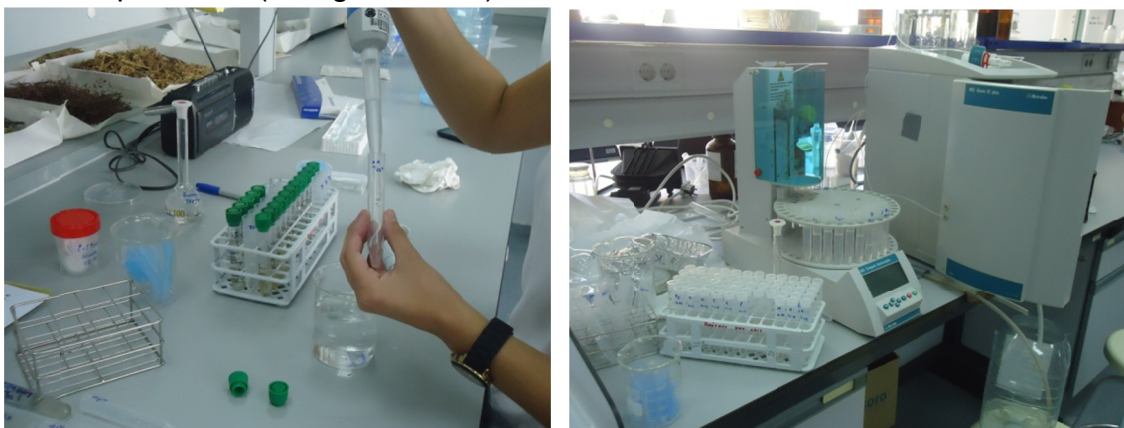


Fotografía 3.13. Conductímetro (izquierda) y pH-metro (derecha).

Los datos de la conductividad eléctrica (CE) y el pH fueron representados con el Software “Microsoft Office Excel” y comparados con el Software comercial “Statgraphics Centurion XVI, versión 16.2.04”.

3.7.3. Aniones y Cationes.

El análisis de aniones y cationes se realizó a través del cromatógrafo iónico modelo Metrohm 113 basic IC plus. Se emplearon dos columnas: una separadora de aniones Metrosep A supp 4 y otra separadora de cationes Metrosep C4-100 (Fotografía 3.14).



Fotografía 3.14. Realización de las disoluciones (izquierda) y Cromatógrafo iónico (derecha).

Los datos obtenidos de aniones y cationes resultantes en el ensayo, fueron representados con el Software “Microsoft Office Excel” y comparados con el Software comercial “Statgraphics Centurion XVI, versión 16.2.0

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros de desarrollo vegetal.

4.1.1. Altura.

En la figura 4.1, se incluye la evolución de la altura por especies para cada uno de los tratamientos utilizados en el ensayo (T0, T1 y T2).

Rosmarinus officinalis, presenta durante todo el muestreo una mayor altura cuando crece sobre el sustrato que incluye el compost de residuos vegetales hortícolas con la enmienda como componente orgánico (T2). Las diferencias en la altura de las plantas son estadísticamente significativas entre tratamientos. Al final del ciclo se igualan en altura las plantas de los tratamientos que emplean compost (T1 y T2). Al final del ciclo la mayor altura la mostraron las plantas crecidas en los tratamientos que emplean compost de residuos vegetales hortícolas con o sin enmienda.

La altura de las plantas de *Lavandula angustifolia*, es estadísticamente igual durante todo el ciclo muestreado en los tratamientos T0 (sustrato comercial) y T1 (el componente orgánico empleado es compost vegetal hortícola). Sin embargo cuando se emplea el compost con enmienda como sustrato (T2), las diferencias en la altura de las plantas es significativamente menor que en T0 durante todo el período del ensayo.

En las plantas de *Thymus vulgaris*, se observa una mayor altura significativamente en el tratamiento T0 donde se emplea el sustrato comercial, al final del ciclo se igualan las alturas de las plantas de los tratamientos T0 y T2.

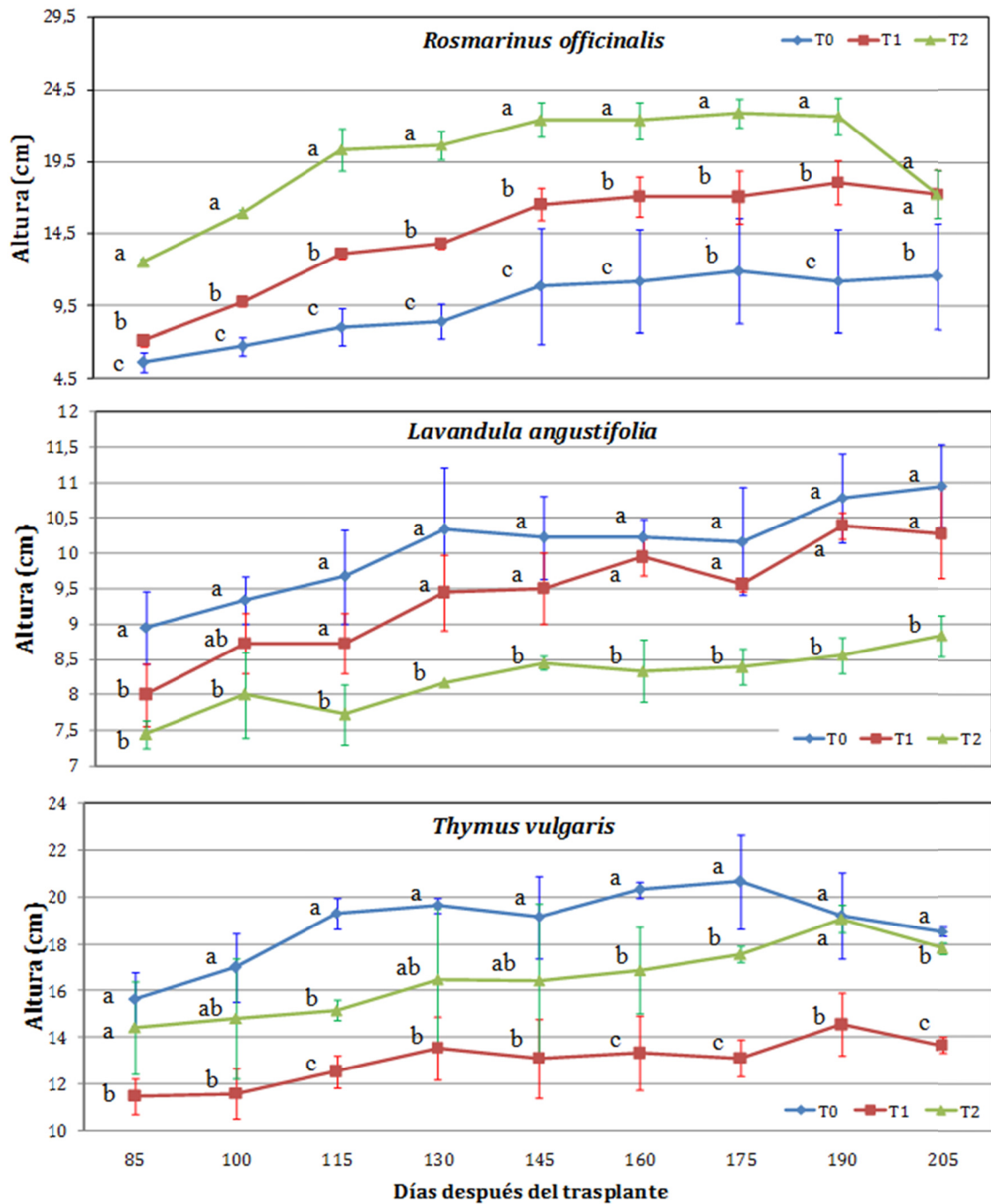


Figura 4.1. Altura (cm) de *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula angustifolia* y *Thymus vulgaris*. Según el tipo de componente orgánico empleado como sustrato en la cubierta ajardinada como medio de crecimiento (T0 sustrato comercial, T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), durante el período comprendido entre el 17/5/13 (85 días después del trasplante) hasta el 5/9/13. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

4.1.2. Área.

En la figura 4.2, se puede contrastar el área ocupada por la planta y por especie para cada uno de los tratamientos establecidos en el ensayo (T0, T1 y T2).

Las medidas de las áreas de las plantas de Romero y Lavanda presentan una gran variabilidad entre repeticiones lo que ha conllevado en ocasiones a no apreciar diferencias que sean estadísticamente significativas. El área ocupada por las plantas de Romero, es significativamente mayor en las plantas crecidas sobre el compost vegetal hortícola con enmienda (T2) al compararla con los otros dos tratamientos (T0 y T1).

En el caso de la Lavanda, las plantas en todos los tratamientos muestran prácticamente la misma área, no habiendo diferencias significativas entre tratamientos.

Las plantas de Tomillo, ocupan un área mayor en T0, presentando en T1 y T2 un área similar.

En general, el comportamiento de las plantas según la altura y el área ocupada es similar y mayor entre los tratamientos que utilizan compost con o sin enmienda para Romero; para todos los tratamientos en Lavanda, y los mejores resultados se observan en T0 para Tomillo.

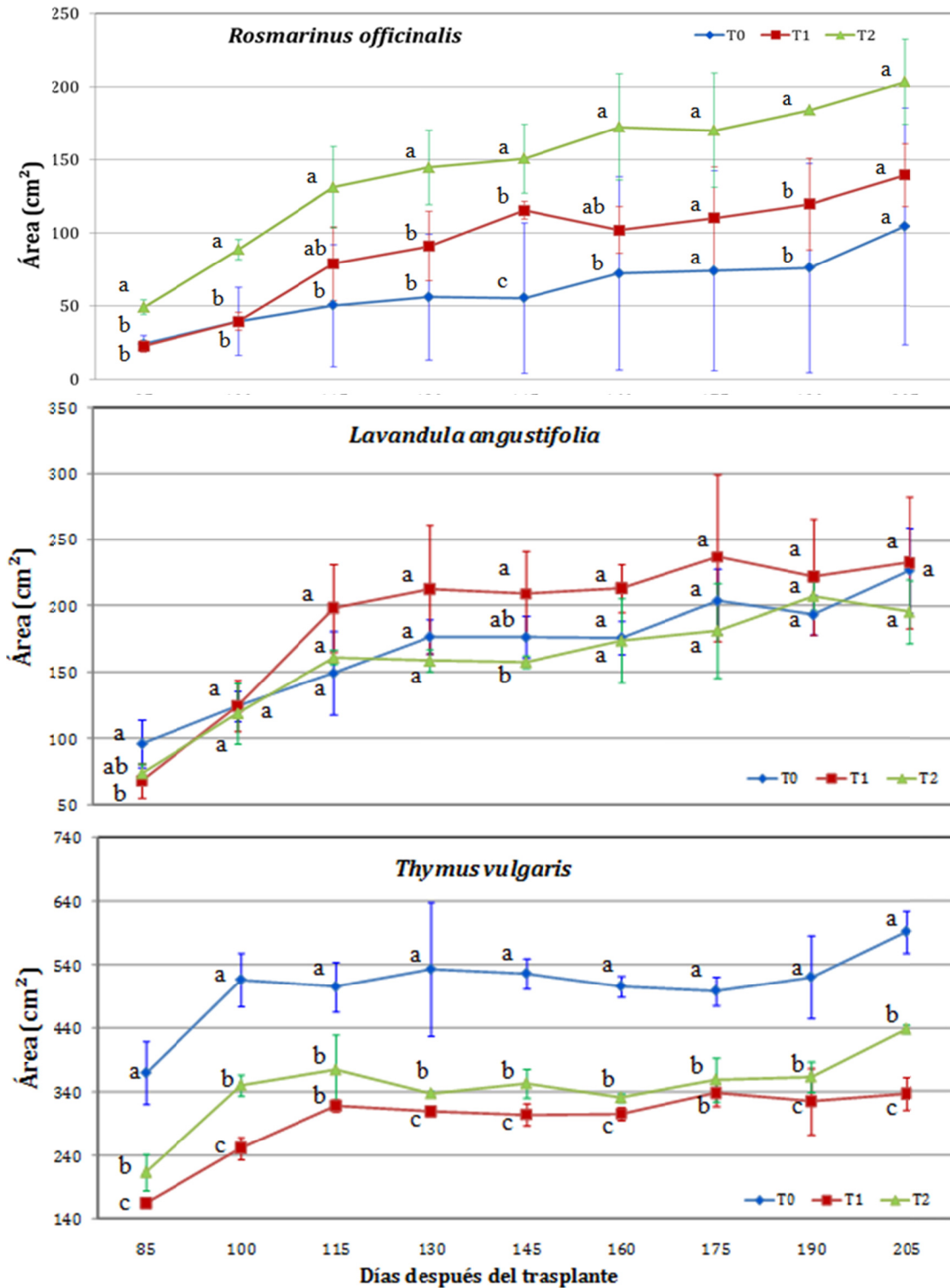


Figura 4.2. Área (cm²) de *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula angustifolia* y *Thymus vulgaris*. Según el tipo de componente orgánico empleado como sustrato en la cubierta ajardinada como medio de crecimiento (T0 sustrato comercial, T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), durante el período comprendido entre el 17/5/13 (85 días después del trasplante) hasta el 5/9/13. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

4.1.3. Índice de crecimiento.

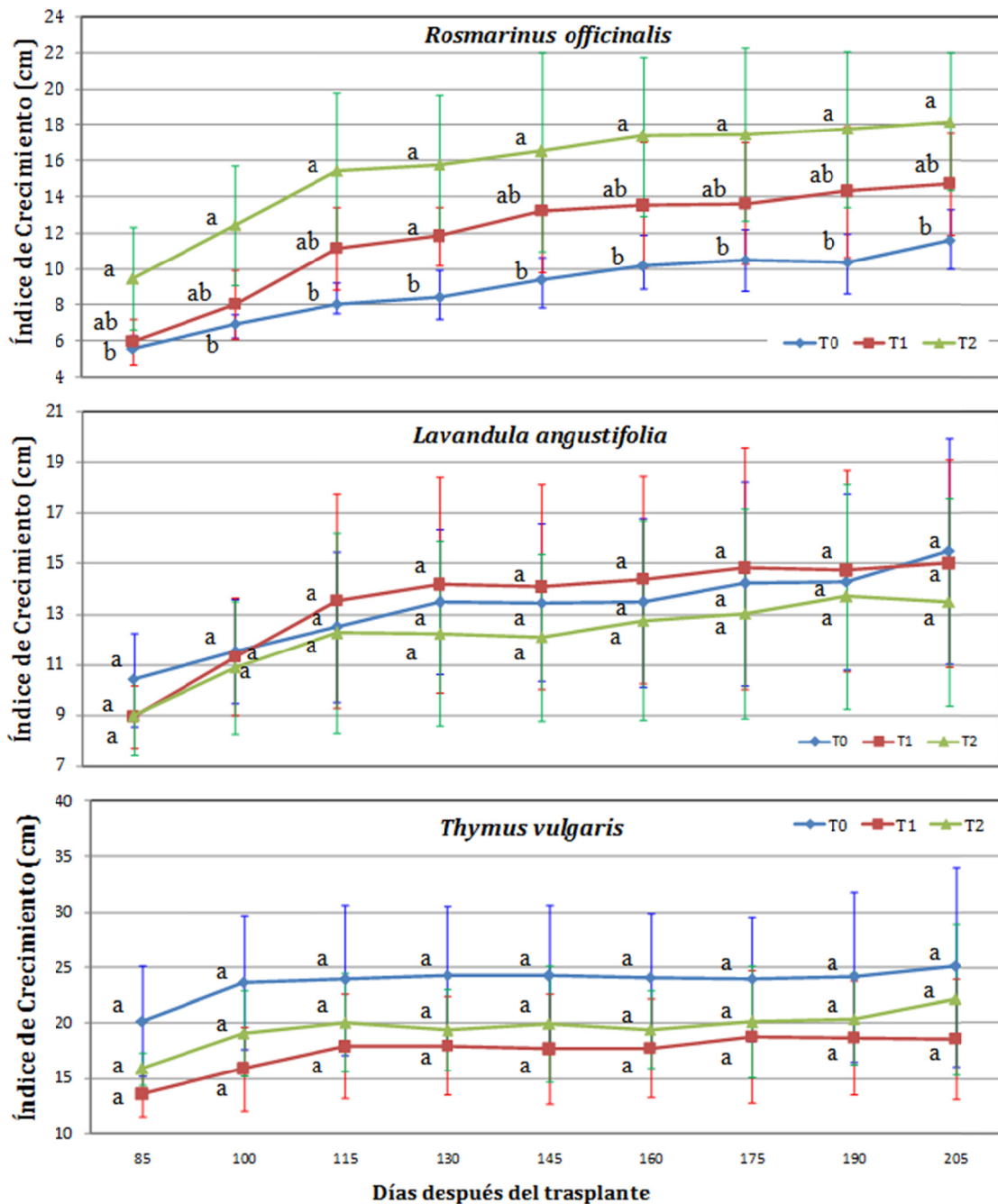


Figura 4.3. Índice de crecimiento (cm) de *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula angustifolia* y *Thymus vulgaris*. Según el tipo de componente orgánico empleado como sustrato en la cubierta ajardinada como medio de crecimiento (T0 sustrato comercial, T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), durante el período comprendido entre el 17/5/13 (85 días después del trasplante) hasta el 5/9/13. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

En la figura 4.3, se observa el crecimiento por especies para cada uno de los tratamientos empleados en el ensayo (T0, T1 y T2).

Las plantas de Romero presentan durante todo el muestreo un mayor índice de crecimiento en el tratamiento que emplea compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda (T2), siendo el índice de crecimiento inferior en el tratamiento que emplea sustrato vegetal (T0).

Según los resultados comparativos de los índices de crecimiento por especies, en Lavanda y Tomillo no se observan diferencias considerables en función del sustrato empleado como material orgánico.

4.1.4. Índice de supervivencia.

En la tabla 4.1, se puede apreciar la supervivencia por especies para cada uno de los tratamientos establecidos en el ensayo (T0, T1 y T2).

El índice de supervivencia de todas las especies empleadas no presenta diferencias significativas entre tratamientos desde el inicio hasta el final del ensayo. Solo al final del mismo se cuantifica la muerte de algunas plantas de Lavanda y Tomillo en el tratamiento T2, sin que sean significativas estadísticamente.

En las condiciones del experimento empleando Romero, Lavanda y Tomillo, podemos concluir que el compost de residuos vegetales hortícolas con o sin enmienda puede ser utilizado como sustituto de la componente orgánica de los sustratos empleados en las cubiertas vegetales sin perjudicar la supervivencia de las plantas. Sin embargo, será necesario considerar que cuando se aplica una enmienda de azufre en el compost el crecimiento de Lavanda disminuye.

Tabla 4.1. Índice de supervivencia (%) de *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula angustifolia* y *Thymus vulgaris*. Según el tipo de componente orgánico empleado como sustrato en la cubierta ajardinada como medio de crecimiento (T0 sustrato comercial, T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), durante el período comprendido entre el 17/5/13 (85 días después del trasplante) hasta el 5/9/13. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (DSM) a $P \leq 0,05$.

* D.d.t.		Índice de Supervivencia (%)								
		<i>Rosmarinus officinalis</i>			<i>Lavandula angustifolia</i>			<i>Thymus vulgaris</i>		
		T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2
85	Media	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0
	DMS (0,05)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
100	Media	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0
	DMS (0,05)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
115	Media	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0
	DMS (0,05)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
130	Media	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0
	DMS (0,05)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
145	Media	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0
	DMS (0,05)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
160	Media	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0
	DMS (0,05)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
175	Media	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	88,89±19,24	100±0	100±0	100±0
	DMS (0,05)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
190	Media	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	88,89±19,24	100±0	100±0	83,33± 23,57
	DMS (0,05)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
205	Media	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	88,89±19,24	100±0	100±0	83,33±23,57
	DMS (0,05)	a	a	a	a	a	a	a	a	a

* D.d.t. Días desde el trasplante.

En las fotografías 4.1, 4.2 y 4.3, se compara la supervivencia de las plantas en los tratamientos T0, T1 y T2, a los 85 y 205 días después del trasplante, donde se puede observar dicha evolución.



Fotografía 4.1. Evolución del crecimiento y supervivencia de las plantas. A la izquierda, 85 días después del trasplante. A la derecha, 205 días después del trasplante. Tratamiento T0 repetición 3.



Fotografía 4.2. Evolución del crecimiento y supervivencia de las plantas. A la izquierda, 85 días después del trasplante. A la derecha, 205 días después del trasplante. Tratamiento T1 repetición 1.



Fotografía 4.3. Evolución del crecimiento y supervivencia de las plantas. A la izquierda, 85 días después del trasplante. A la derecha, 205 días después del trasplante. Tratamiento T2 repetición 2.

4.2. Análisis del compost de residuos vegetales hortícolas durante el proceso de preparación de las mezclas de la cubierta.

4.2.1. pH

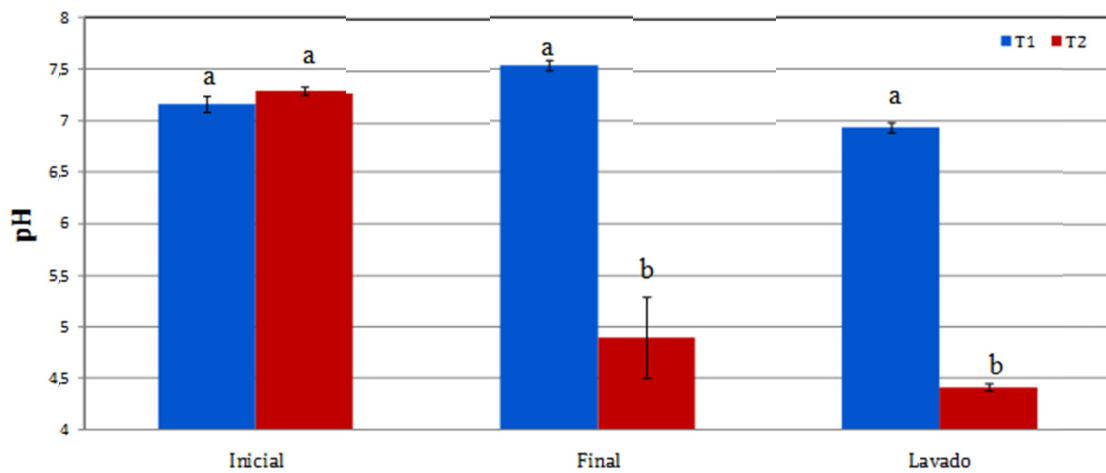


Figura 4.4. pH del extracto saturado del compost en función de los tratamientos aplicados (T1 compost de residuos vegetales hortícolas y T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), durante el período comprendido entre 22/1/13 (Inicial) hasta el 13/2/13 (Final y Lavado). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 4.4, se observa la evolución de pH de los tratamientos T1 y T2 en el proceso de preparación de las mezclas de sustrato.

En los cuales como cabría esperar en la fase inicial no hay diferencias significativas entre el material original (se corresponde con el primer drenaje de las mezclas). Después de aplicar la enmienda y adecuar la humedad del compost (fase final) y el lavado del compost tras 20 días de preparación (ver apartado 3.5.1), se pueden ver diferencias significativas entre el pH del extracto de los compost en función de los tratamientos. La aplicación de la enmienda de azufre en el compost (T2) produce una disminución del pH del extracto saturado a valores fuertemente ácidos por actividades de los microorganismos (Roig et al., 2004) que deberían ser considerados cuando se recomienden las especies vegetales a utilizar en la cubierta (ver revisión bibliográfica).

4.2.2. Conductividad eléctrica (CE).

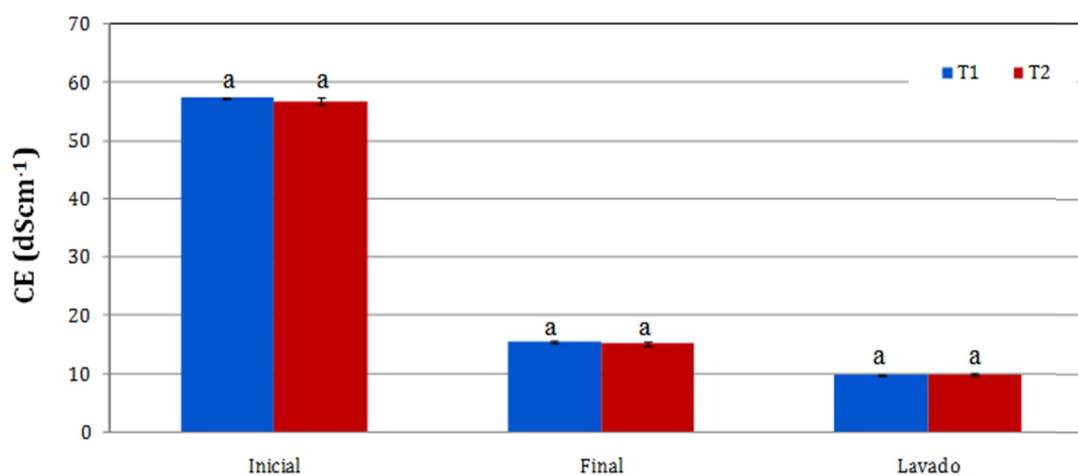


Figura 4.5. Conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{cm}^{-1}$) de los tratamientos T1 y T2 (T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), durante el período comprendido entre 22/1/13 (Inicial) hasta el 13/2/13 (Final y Lavado). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 4.4, se confirma la evolución de la conductividad eléctrica de los tratamientos T1 y T2 en el proceso de preparación de las mezclas de sustrato.

Durante todo el proceso de realización de las mezclas de sustrato, no se observan diferencias significativas entre T1 y T2 durante las diferentes fases.

Como podemos concluir, la aplicación de la enmienda de azufre, no influye en el valor absoluto de la conductividad eléctrica final de los extractos saturados del compost vegetal.

4.2.3. Aniones.

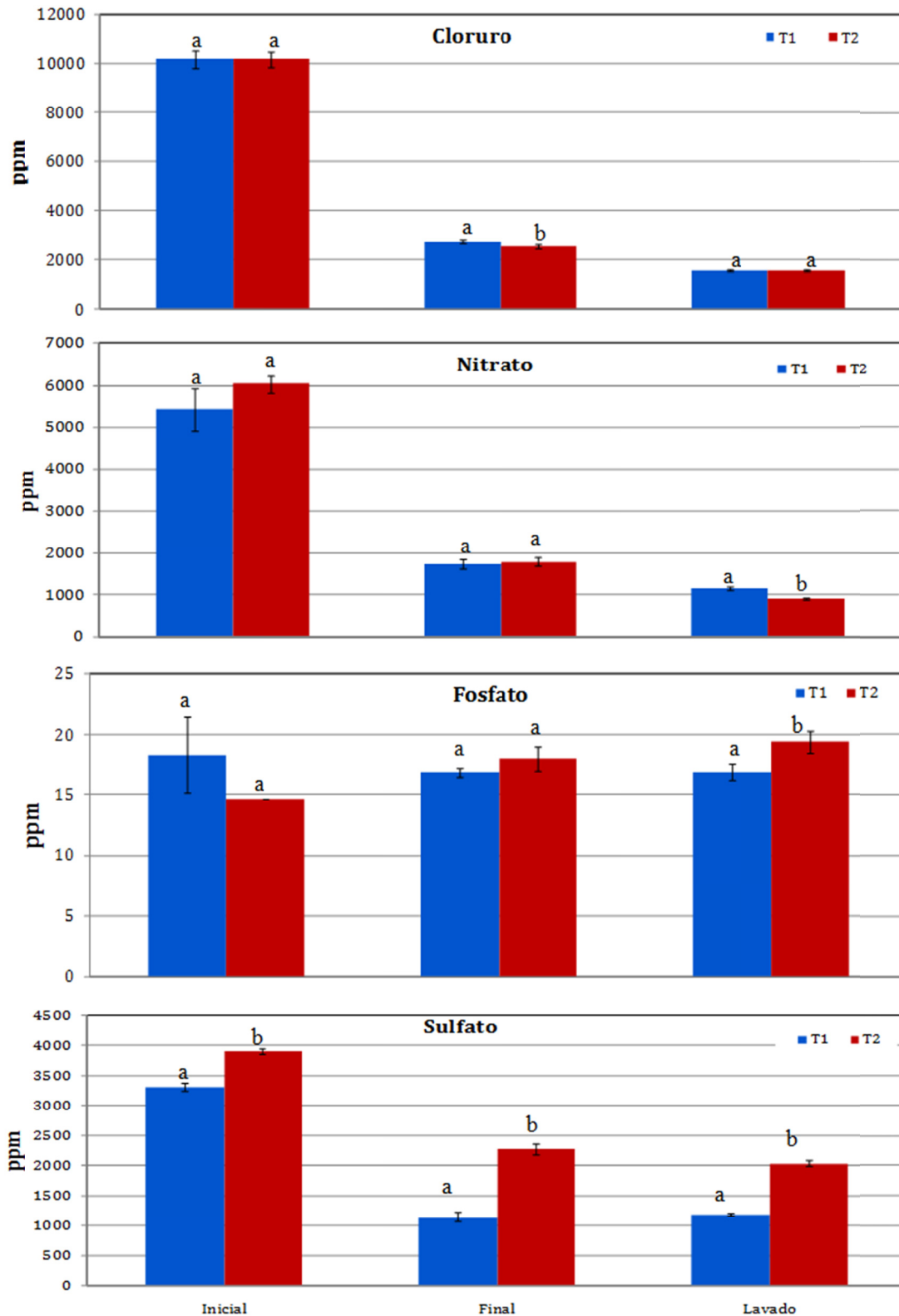


Figura 4.6. Aniones (ppm) de los tratamientos T1 y T2 (T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), durante el período comprendido entre 22/1/13 (Inicial) hasta el 13/2/13 (Final y Lavado). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 4.6, el valor absoluto de la conductividad eléctrica (CE) no se ve afectado en el extracto saturado según se aplique o no la enmienda de azufre al compost, según el análisis de los extractos saturados de los compost con y sin enmienda, se observa una disminución del contenido en nitrato por el consumo de los microorganismos presentes, una mayor disponibilidad de fosfato por disminución del pH, y una mayor concentración de sulfato como consecuencia directa de la transformación de azufre por los microorganismos.

4.2.4. Cationes.

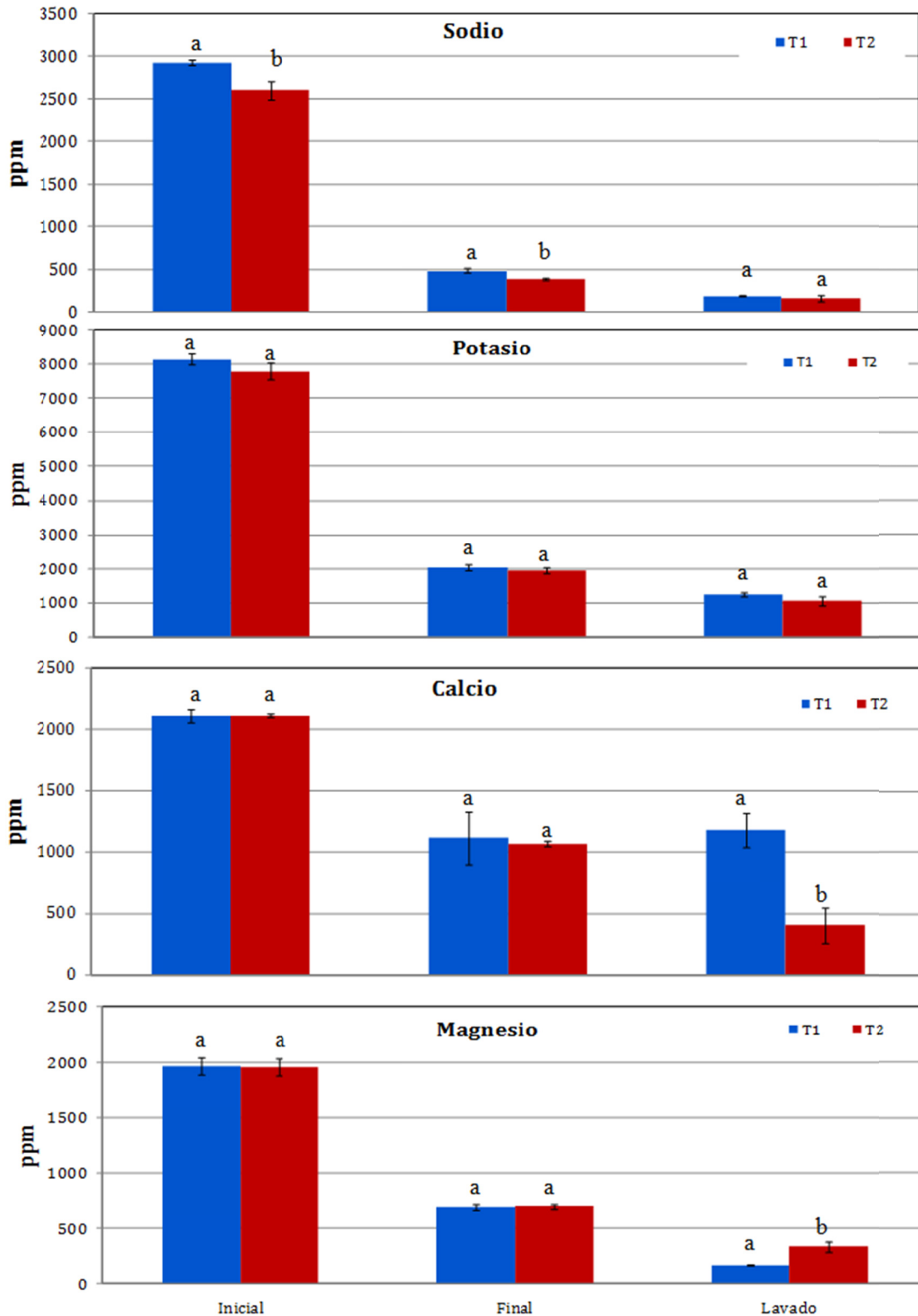


Figura 4.7. Cationes (ppm) de los tratamientos T1 y T2 (T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), durante el período comprendido entre 22/1/13 (Inicial) hasta el 13/2/13 (Final y Lavado). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 4.7, en el caso del potasio y sodio, no hay diferencias significativas entre tratamientos, durante el proceso de preparación del compost para las mezclas de sustrato.

Respecto al calcio y al magnesio, según los resultados se aprecian diferencias significativas entre tratamientos, disminuyendo el calcio en el extracto de T2 lo que indica que está fijado en el complejo de cambio y disponible para la planta. Sin embargo en el compost sin enmienda la concentración de magnesio es menor significativamente que en T2, contrario a lo que cabría esperar.

4.3. Evolución de los tratamientos durante el período de establecimiento del ensayo.

4.3.1. Consumo hídrico.

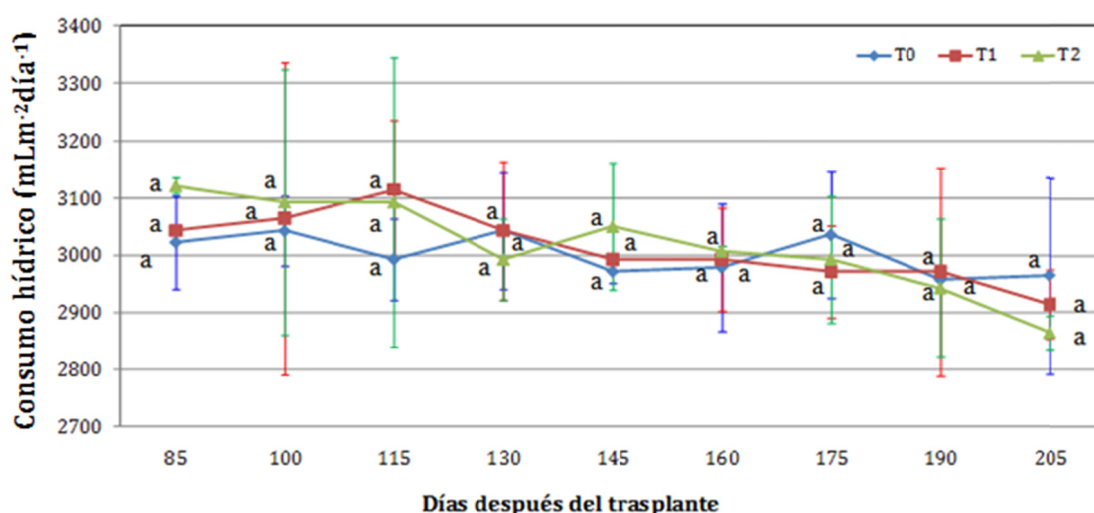


Figura 4.8. Consumo hídrico ($\text{mL}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$). Según el sustrato empleado en la cubierta ajardinada como medio de crecimiento (T0 sustrato comercial, T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), durante el período comprendido entre el 17/5/13 (85 días después del trasplante) hasta el 5/9/13. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 4.8, se observa el consumo hídrico de las plantas para los tres tratamientos, como cabría esperar los tratamientos T0, T1 y T2 presentan el mismo consumo hídrico durante el período de establecimiento del ensayo, no habiendo diferencias significativas.

4.3.2. pH

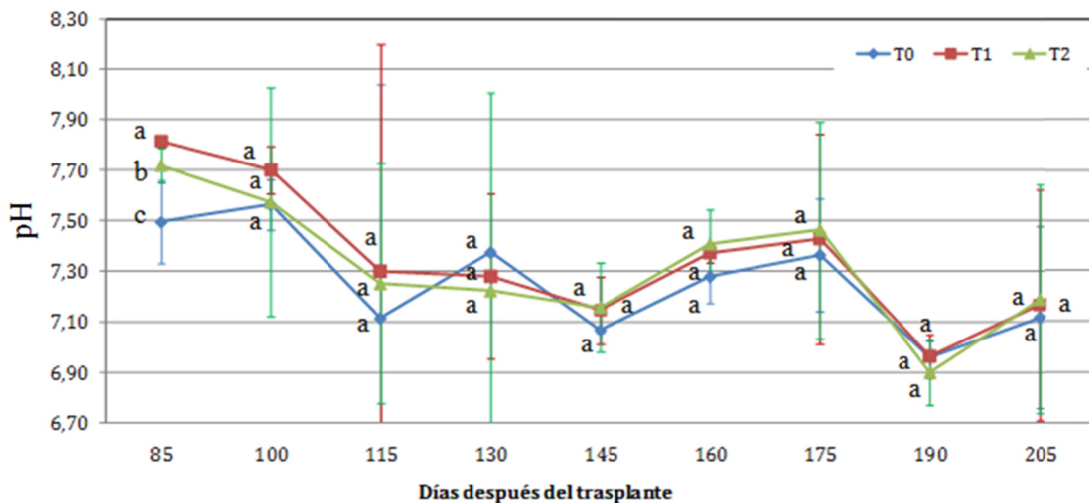


Figura 4.9. pH. Según el sustrato empleado en la cubierta ajardinada como medio de crecimiento (T0 sustrato comercial, T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), durante el período comprendido entre el 17/5/13 (85 días después del trasplante) hasta el 5/9/13. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 4.9, la aplicación de la enmienda de azufre en el compost (T2) produce una disminución del pH a valores fuertemente ácidos por actividades de los microorganismos (Roig et al., 2004). El efecto de la enmienda de los tratamientos sobre el pH del extracto saturado se aprecia hasta el muestreo de los 85 días después del trasplante al comparar el compost con y sin enmienda. Sin embargo a partir de los 3 meses de realizado el trasplante y finalizada la aplicación del azufre como enmienda ya no presenta diferencias significativas. De aquí que sería recomendable una aplicación posterior de azufre a lo largo del desarrollo de las plantas, ya que un aumento de la dosis inicial de azufre produciría una mayor disminución del pH que es difícil de tolerar por la mayoría de las especies utilizadas habitualmente en cubiertas vegetales.

4.3.3. Conductividad eléctrica (CE).

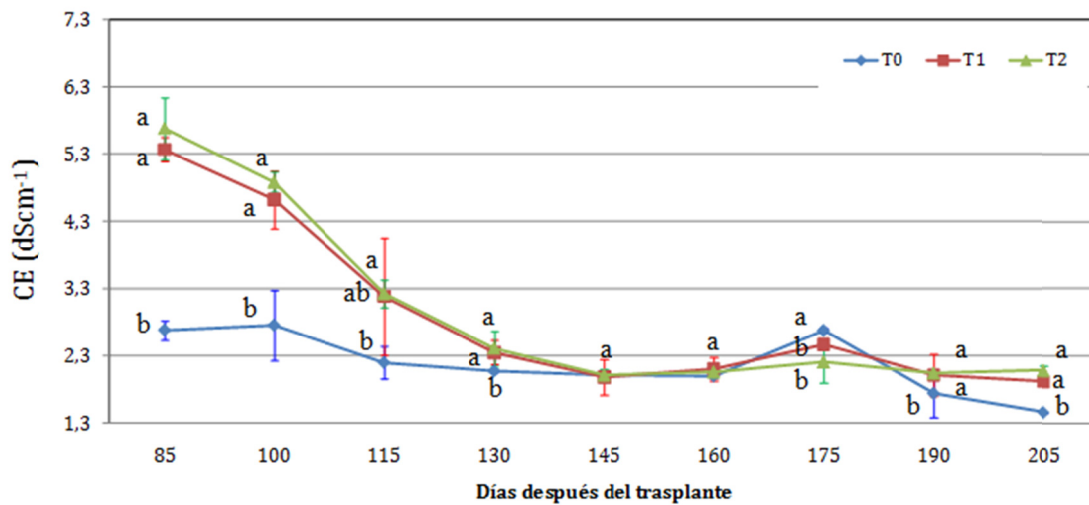


Figura 4.10. Conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{cm}^{-1}$). Según el sustrato empleado en la cubierta ajardinada como medio de crecimiento (T0 sustrato comercial, T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), durante el período comprendido entre el 17/5/13 (85 días después del trasplante) hasta el 5/9/13. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 4.10, con respecto a los valores de la conductividad eléctrica de los drenajes son mayores los de los tratamientos con compost (T1 y T2), igualándose a partir de los 5 meses después del trasplante, siendo mayor en el compost con enmienda por aplicación del azufre hasta el cuarto mes. Los valores elevados de la conductividad eléctrica iniciales de las mezclas de sustratos que emplean compost justificarían la disminución que se observó en el crecimiento de algunas de las especies empleadas.

4.3.4 Aniones.

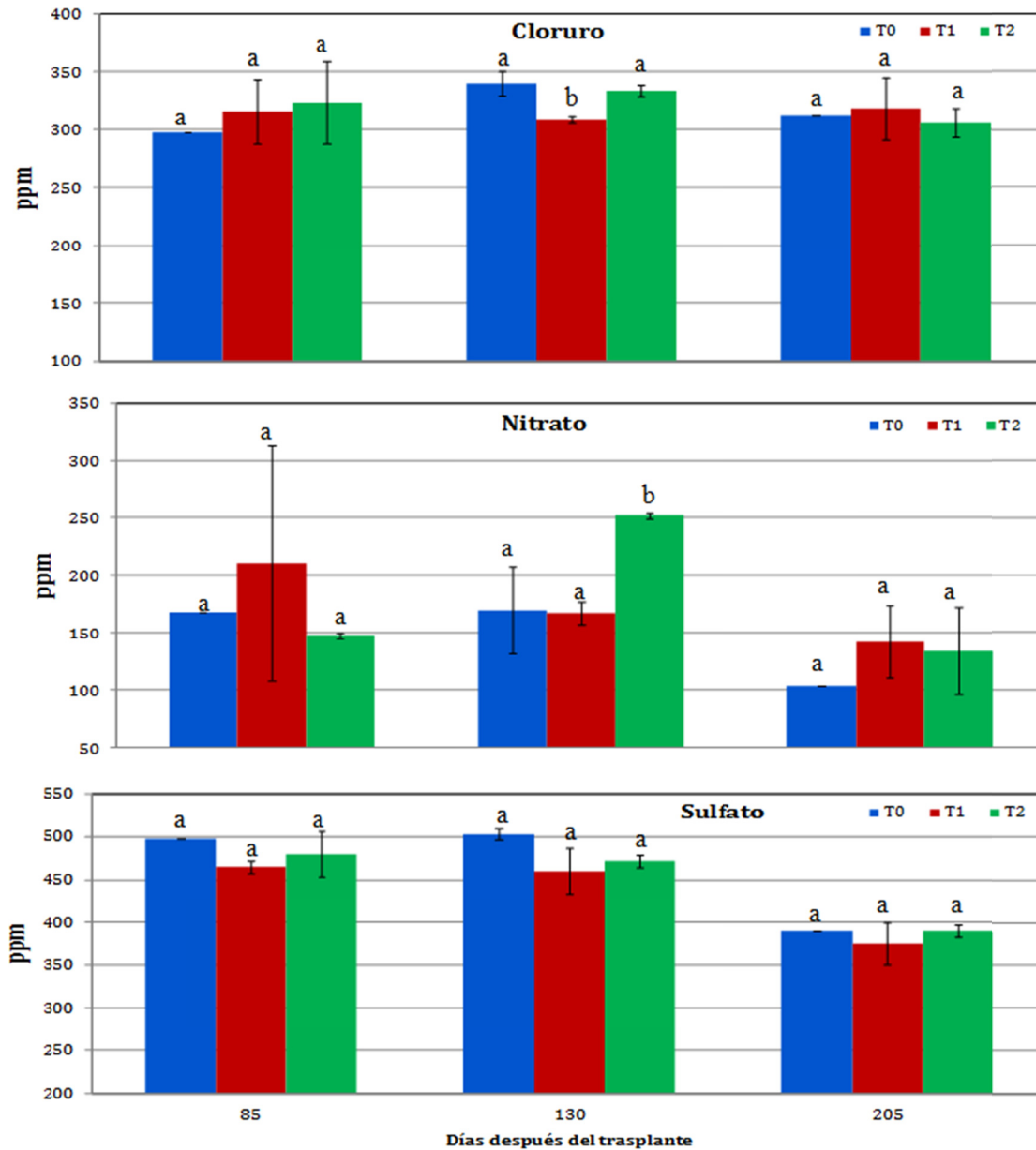


Figura 4.11. Aniones (ppm) de los tratamientos T0, T1 y T2 (T0 sustrato comercial, T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), que corresponde a los 85, 130 y 205 días después del trasplante. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 4.11, en el caso del cloruro, nitrato y sulfato no hay diferencias significativas entre tratamientos.

4.3.5 Cationes.

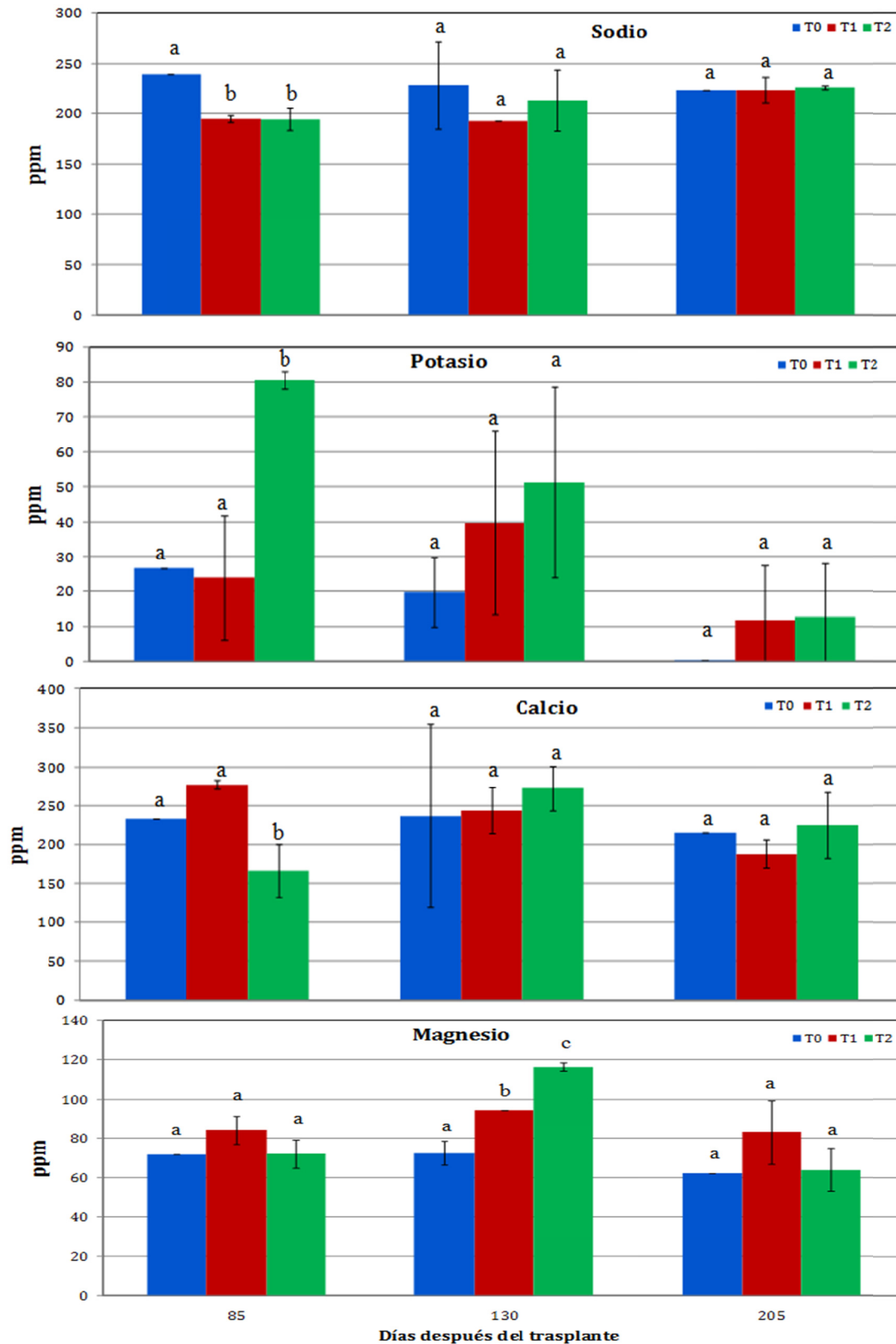


Figura 4.12. Cationes (ppm) de los tratamientos T0, T1 y T2 (T0 sustrato comercial, T1 compost de residuos vegetales hortícolas, T2 compost de residuos vegetales hortícolas con enmienda de azufre), que corresponde a los 85, 130 y 205 días después del trasplante. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a $P \leq 0,05$.

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 4.12, en el caso del sodio, potasio y magnesio, no hay diferencias significativas entre tratamientos.

Sin embargo, el calcio a los 85 días después del trasplante, presenta diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T2, disminuyendo en T2, lo que indica que está fijado al complejo de cambio y disponible para la planta, pero a los 205 días después del trasplante, los tres tratamientos no presentan diferencias significativas.

V. CONCLUSIONES

V. CONCLUSIONES

- En las condiciones del experimento el empleo de compost de residuos vegetales hortícolas con o sin enmienda como componente orgánico de los sustratos en las cubiertas ajardinadas extensivas no afecta a la supervivencia de las plantas de *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula angustifolia* y *Thymus vulgaris*. Sin embargo, será necesario considerar que cuando se aplica una enmienda de azufre en el compost el crecimiento de *Lavandula angustifolia* disminuye.
- La aplicación de la enmienda de azufre sobre el compost de residuos vegetales hortícolas se aprecia en el extracto saturado y drenajes con el aumento de la Conductividad eléctrica y la solubilidad de nutrientes como el nitrato, potasio y magnesio, y la disminución del pH. Sin embargo, el efecto de la enmienda se mantiene en el sustrato durante los primeros 5 meses de cultivo, con lo cual sería recomendable estudiar el efecto y aplicaciones posteriores de azufre sobre las características químicas del sustrato así como sobre el crecimiento de las plantas, para asegurar la supervivencia de las mismas.
- Los residuos generados por la horticultura intensiva una vez compostados pueden utilizarse como la componente orgánica de los sustratos en las cubiertas ajardinadas extensivas. De esta forma utilizamos una fuente de compost local y contribuiríamos a dar salida a un residuo de difícil utilización.

VI. BIBLIOGRAFÍA

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aalok, A., Tripathi, A.K. y Soni, P., 2008. Vermicomposting: A better option for organic solid waste management. *Journal of Human Ecology* 24: 59-64.
- Abad, M., Noguera, P., Noguera, V., Roig, A., Cegarra, J. y Paredes, C., 1997. Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustrato de cultivo. *Actas de Horticultura* 19: 92-109.
- Abad M. y Noguera P., 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: Urrestarazu M. (Ed.). *Manual de Cultivo sin Suelo*. 2ª ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 137-185.
- Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A. y Noguera, V., 2002. Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology* 82:241-245.
- Barbaro, L.A.; M.A. Karlanian and D. Morisigue., 2010. Correction of the pH of pruning waste compost with micronized sulphur. *Agriscientia XXVII* (2): 125-130
- Benvenuti S. and Bacci D., 2010. Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs DOI 10.1007/s11252-010-0124-9
- Butler. T.A., Sikora, L.J., Steinhilber, P.M y Douglass L.W., 2001. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality* 30: 2141-2148.
- Callejón-Ferre AJ, Carreño-Ortega A, Sánchez-Hermosilla J, Pérez-Alonso J., 2010. Environmental impact of an agricultural solid waste disposal and transformation plant in the province of Almería (Spain). *inf constr*; 62:79–93.
- Carrión, C., Abad, M. y Puchades, R., 2006. Desarrollo de Nuevos Sustratos de Cultivo para la Producción de Planta Ornamental en Maceta a partir de Compost de Residuos de Cultivos Hortícolas. Tesis Doctorales. Valencia.
- Carrión, C., García de la Fuente, R., Fornes, F., Puchades, R. y Abad, M., 2008. Acidifying composts from vegetable crop waste to prepare growing media containerized crops. *Compost Science and Utilization* 16:20-29.
- Carrión, C.; M. Abad; F. Fornes and V. Noguera., 2008. Acidification of compost from agricultural wastes to prepare nursery potting mixtures. *ISHS Acta Horticulturae* 779: 333-340.

- Cortés, L., 2011. Evaluación del comportamiento hídrico y térmico de un jardín vertical modular con recirculación en zonas áridas y semiáridas. Universidad de Almería.
- Costello, L.R., Matheny, N.P., y Clark, J.R., 2000. A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California. The landscape coefficient method & WUCOLS III. University of California Cooperative Extension, California Dept. of Water Resources, U.S. Bureau of Reclamation. California.
- Fischer, P. and W. Popp., 1998. The use of various composts and recycled materials in growing media for ornamental shrubs. *Acta Horticulturae* 469: 287-296
- Fitzpatrick, G.E.; E.R. Duke and K. A. Klock Moore., 1998. Use of compost products for ornamental crop production: Research and grower experiences. *HortScience*. Vol. 33 (6): 941-944.
- Floramu, 2013. Flora ornamental autóctona de la Región de Murcia. Disponible en internet: <http://www.floramu.com/index.php>
- Gómez, F., 2012. Optativa Plantas Aromáticas y Medicinales. Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad de Almería.
- Google Maps, 2013. <https://maps.google.es/>
- Handreck, K.A., 1996. Phosphorus immobilization in Wood waste-based potting media. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 27, 2295-2314.
- Heredia E.J., 2012. Evaluación de plantas xerófitas para su uso en cubiertas ajardinadas extensivas en el término municipal de Almería. Proyecto fin de carrera. Universidad de Almería.
- IFAPA, 2013. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca. "Estación Meteorológica de Almería" (en línea). Disponible en la Web: http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController?action=Static&url=coordenadas.jsp&c_provincia=4&c_estacion=2
- Lax, A., Roig, A., Costa, F., 1986. A method for determining the cation-exchange capacity of organic material. *Plant Soil* 94, 349-355.
- López, M.J y Boluda, R., 2008. Residuos Agrícolas En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. pp. 489-518. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- López, C., 2010. Un acercamiento a las cubiertas verdes.

- Martínez, F.X., 2002. Gestión y tratamiento de residuos agrícolas. URL: http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm
- Martínez, F.X., 2006. Gestión y tratamiento de residuos agrícolas. Revista técnica de medio ambiente 111: 62-75.
- Mazuela, P., Salas, M.C. y Urreztarazu, M., 2005. Vegetable waste composts as substrate for melón. Commun. Soil Science and Plant Analysis 36: 1557-1572
- Montero, J.L., Salas, M.C., Díaz, J.G., Guzmán, M., Heredia, E., 2013. Evaluación hídrica de cubiertas ajardinadas para su uso en arquitectura bioclimática en zonas mediterráneas de clima árido y semi-árido. Actas de VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas (en prensa).
- Moral, R., Paredes, C., Bustamante, M.A., Marhuenda-Egea F. y Bernal M.P., 2009. Utilization of manure composts by high-value crops: safety and environmental challenges. Bioresource Technology 100: 5454-5460.
- Moreno, J. y Moral, R., 2008. Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Moreno, J., 2008. Compostaje. Mundi-prensa. 570pag.
- Palmero, R., 2010. Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional en pilas o montones.
- Pascual, J.S., García, C. y Hernández T., 1999. Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality. Bioresource Technology 68: 225-264.
- Roig, A., Cayuela, M.L., Sánchez-Monedero, M.A., 2004. The use of elemental sulphur as organic alternative to control pH during composting of olive mill wastes. Chemosphere. Volume 57, Issue 9, Pages 1099–1105
- Salas, M.C., Urrestarazu, M., Moreno, J., Elorrieta, M.A., 2000. Sustrato alternativo para su uso en cultivo sin suelo. Phytoma 123, 52-55.
- Salas, M.C., 2005. Manejo de los nutrientes aportados por fertirrigación en cultivos sin suelo. Vida rural 205, 38-43.
- Ventura, F. J., 2012. Acondicionamiento del pH y de la conductividad eléctrica en dos tipos de compost. Trabajo Fin de Máster. Departamento de Agronomía. E.S.I. Universidad de Almería.
- Warsaw, A.L., Fernández, R.T., Gregg, J.A., Andresen, J.A., 2000. Container-grown ornamental plant growth and water runoff nutrient content and volume under four irrigation treatments.

ZinCo, 2008 .Ficha técnica Zincoterra Floral. Disponible en internet:
http://www.zinco-cubiertasecologicas.es/downloads/download_files/ZinCo_FT_Zincoterra%20Floral_es.pdf

ZinCo, 2011. Guía técnica “Cubiertas ecológicas extensivas con sistema”
http://www.zinco-cubiertasecologicas.es/guias_tecnicas/guias/Cubiertas_verdes_extensivas.pdf

ZinCo, 2012. Guía de planificación “Sistemas ZinCo para cubiertas verdes”.
http://www.zinco-cubiertasecologicas.es/guias_tecnicas/guias/Cubiertas_sistemas_verdes.pdf