

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

HUMUS DE LOMBRIZ COMO MATERIA PRIMA EN LA
ELABORACIÓN DE SUSTRATOS PARA LA
PRODUCCIÓN DE PLANTINES DE HORTALIZAS

ALONSO H. PÉREZ LATHROP

SANTIAGO, CHILE

2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**HUMUS DE LOMBRIZ COMO MATERIA PRIMA EN LA
ELABORACIÓN DE SUSTRATOS PARA LA
PRODUCCIÓN DE PLANTINES DE HORTALIZAS**

**EARTHWORM HUMUS AS RAW MATERIAL IN THE
PREPARATION OF SUBSTRATES FOR THE
PRODUCTION OF VEGETABLE SEEDLINGS**

ALONSO H. PÉREZ LATHROP

SANTIAGO, CHILE

2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**HUMUS DE LOMBRIZ COMO MATERIA PRIMA EN LA
ELABORACIÓN DE SUSTRATOS PARA LA
PRODUCCIÓN DE PLANTINES DE HORTALIZAS**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero Agrónomo
Mención: Fitotecnia

ALONSO H. PÉREZ LATHROP

	Calificaciones
Profesor Guía Ricardo Pertuzé C. Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	6,6
Profesores Evaluadores María Luisa Tapia F. Ingeniero Agrónomo, M.S.	5,8
José Luis Henríquez S. Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	6,5

SANTIAGO, CHILE

2011

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a mis padres por confiar siempre en mí y darme la oportunidad de estudiar en la mejor universidad de Chile.

Quisiera también agradecer a mi profesor guía Sr. Ricardo Pertuzé por su apoyo constante e importantes consejos. Al Sr. Oscar Seguel por sus aportes y valiosa colaboración. Al Sr. Pablo Alvarado y Sra. Alejandra Martín por su apoyo y gran ayuda en un inicio de este proceso. A mis amigos por su compañía, en especial Felipe y Mario. A la empresa Ecoplantas Ltda., gracias a la cual se pudo realizar esta investigación. Y a todos quienes de una u otra forma hicieron posible este trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Ubicación del ensayo	6
Materiales	6
Métodos	6
Tratamientos y diseño experimental	6
Procedimiento	7
Evaluaciones	8
Caracterización de mezcla de sustratos	8
pH	8
Conductividad eléctrica	8
Densidad aparente	8
Porosidad total	8
Granulometría	8
Capacidad de almacenamiento de agua	8
Análisis de fitotoxicidad	9
Actividad biológica o respirometría	9
Observación de desarrollo de plantines	10
Evaluación de plantines al momento del trasplante	10
Área foliar	10
Volumen radical	10
Peso seco parte aérea y radical	10
Peso fresco parte aérea	10
Altura de planta	10
Diámetro del tallo	10
Número de hojas	10
Evaluación post trasplante	10
Análisis estadístico	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
Caracterización de mezcla de sustratos	12
Propiedades químicas	12
pH	12
Conductividad eléctrica	12
Propiedades físicas	13
Densidad aparente	13
Porosidad total	13
Granulometría	13
Capacidad de almacenamiento de agua	14

Propiedades biológicas	15
Análisis de fitotoxicidad	15
Actividad biológica o respirometría	15
Observación de desarrollo de plantines	16
Evaluación de plantines al momento del trasplante	17
Área foliar	17
Volumen radical	18
Peso seco y fresco parte aérea	18
Peso seco radical	20
Altura de planta	21
Diámetro del tallo	21
Número de hojas	22
Evaluación post trasplante	24
Volumen radical	24
Peso seco parte aérea	25
Peso seco radical	26
Número de hojas	27
CONCLUSIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	30

RESUMEN

El sustrato o medio de cultivo es uno de los factores de mayor relevancia en la producción de plantines de hortalizas, básicamente porque es el encargado de proveer el soporte, la aireación, el agua, y en algunos casos la nutrición del sistema radical de la planta. En los últimos años, ha crecido el interés por utilizar sustratos alternativos a los usados hasta hoy, en donde el humus de lombriz se presenta como una clara opción.

El presente ensayo se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto de fórmulas de sustratos a base de humus de lombriz, en la calidad de plantines de lechuga *Lactuca sativa* L. cv. Winterhaven y repollo *Brassica oleracea* var *capitata* L. cv. Savoy Ace.

Se evaluaron cinco mezclas de sustratos, las cuales contenían humus de lombriz, turba y perlita, más un testigo (70% turba y 30% perlita). Al mismo tiempo estas mezclas de sustratos se caracterizaron física, química y biológicamente.

El diseño experimental fue de bloques completos aleatorizados con seis tratamientos y cinco repeticiones para cada especie. Para ambas especies se evaluó el desarrollo de plantines desde emergencia hasta 3-4 hojas verdaderas, además de mediciones al momento del transplante y luego en campo al cabo de 21 días.

Producto del seguimiento que se hizo a cada especie, se determinó que el humus de lombriz otorga cierta precocidad en la producción al estado de 3-4 hojas verdaderas, sobretodo en repollo. Asimismo, para ambas especies, al momento del transplante se observó un mayor crecimiento de los plantines producidos en la mezcla que contenía un 70% de humus de lombriz, siendo esto más evidente para repollo. En cuanto a las mediciones realizadas en campo 21 días luego del transplante, se constató que para ambas especies el tratamiento de mejor comportamiento correspondió al que contenía un 56% de humus de lombriz.

Por lo tanto, se puede concluir que el humus de lombriz como componente de sustratos tiene efecto positivo sobre el crecimiento y desarrollo de plantines de repollo y lechuga, lo cual también es evidente en campo 21 días después del transplante.

Palabras clave

Repollo, lechuga, *Eisenia foetida*, transplante, turba, perlita.

ABSTRACT

The substrate is one of the most relevant aspects in vegetables seedling production, basically because it is responsible to provide support, air, water, and in some cases nutrients to the plant root system. In recent years, the interest to use alternative substrates has grown, and earthworm humus is presented like a clear choice.

The present study was developed with the objective to evaluate the effect of different substrates formulas based on earthworm humus, in lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Winterhaven) and cabbage (*Brassica oleracea* var *capitata* L. cv. Savoy Ace) seedlings.

Five substrates mixtures were evaluated, which contained earthworm humus, peat, perlite and a control (70% peat and 30% perlite). At the same time, the substrates mixtures were characterized by physical, chemical and biological analysis.

For each species, a randomized complete block design with six treatments and five replicates was used. Seedling development from emergency to 3-4 true leaves, in addition to measurements at the transplant moment and 21 days after transplant were measured for each species.

As a result of monitoring each species, it was determined that the earthworm humus at 3-4 true leaves give certain precocity in the production, moreover in cabbage. Also, for both species, at transplant moment, it was observed a major seedling growth in the 70% earthworm humus mix, becoming more evident in cabbage. Regarding the measurement at 21 days after transplant, both species verified that the treatment with the best behavior was the 56% earthworm humus substrate.

Therefore, it can be conclude that earthworm humus like substrate component have a positive effect over seedling growth and development, which was also evident in field at 21 days after transplant.

Key words

Cabbage, lettuce, *Eisenia foetida*, transplant, peat, perlite.

INTRODUCCIÓN

Según el VII Censo Nacional Agropecuario (INE, 2007), la producción de hortalizas en Chile alcanzó una superficie de 95.552 ha. En tanto la producción, cercana a los 3 millones de toneladas, alrededor de un 30% es destinado al mercado externo, ya sea como producto en fresco, semillas o procesado.

Actualmente, un gran número de especies hortícolas se cultivan mediante el sistema de almácigo y trasplante, el cual presenta una serie de ventajas que lo hacen ser uno de los más utilizados. Por lo tanto, es indispensable controlar todos los factores que inciden en la obtención de plantines de alta calidad que permitan establecer un cultivo exitoso desde un principio. Uno de estos factores, es el sustrato a utilizar (Aillapan, 1997).

El término sustrato se aplica en horticultura, a todo material sólido distinto del suelo, natural o de síntesis, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical desempeñando por tanto un papel de soporte para la planta. Al mismo tiempo, el sustrato puede o no intervenir en la nutrición vegetal de la planta (Abad *et al.*, 2004). En este sentido, Ansorena (1994) establece que el sustrato además de servir de soporte a la planta, debe suministrar a las raíces cantidades equilibradas de agua y aire, ya que si las proporciones de estos componentes no son adecuadas, el crecimiento de la planta podría verse afectado. Por lo tanto, puede asegurarse que un factor clave del que depende el éxito de un cultivo en contenedor, es la calidad del sustrato elegido.

En la actualidad existen una serie de materiales comúnmente usados en la elaboración de sustratos, entre ellos los más utilizados son: arena, grava, perlita, lana de roca, corteza de pino, aserrín y turba. Sin embargo, en los últimos años se ha constatado un encarecimiento y baja disponibilidad de los sustratos utilizados normalmente como medios de crecimiento vegetal (Zapata *et al.*, 2005), lo cual ha llevado a los productores a replantearse este aspecto, buscando sustratos alternativos a los comúnmente usados.

Es así, que la búsqueda de nuevas materias primas para la elaboración de sustratos, se ha orientado básicamente a materiales que se encuentren en grandes volúmenes y en forma natural, lo cual ha favorecido el aprovechamiento de elementos muy diversos, que hasta fechas recientes eran considerados como residuos no deseables (Messerer, 1998). A su vez, el empleo de esta clase de materiales devuelve al ciclo productivo materiales desechados, reduce la presión de explotación sobre los recursos naturales y disminuye el impacto en el medio ambiente (Zapata *et al.*, 2005), como es el caso de la turba, en donde actualmente existe un constante deterioro de los ecosistemas donde se explota este recurso, lo cual ha llevado a la búsqueda de fuentes alternativas a nivel internacional (Gruda y Schnitzler, 2001).

Es en este sentido justamente cobran relevancia sustratos alternativos como el humus de lombriz, el cual se define como el resultado de la descomposición y estabilización microbiana de la materia orgánica al interior del tracto digestivo de lombrices de tierra (*Eisenia foetida* Sav.), luego de ser ingerida por éstas en el suelo (Domínguez, 2004). La acción de las lombrices sobre la materia orgánica es de tipo físico-mecánico y

bioquímico, es decir, el proceso físico incluye la aireación, mezclado y trituración de la materia orgánica, mientras que el proceso bioquímico es realizado por la descomposición microbiana del sustrato en el intestino de las lombrices (Ndegwa *et al.*, 2000). Durante el proceso de vermicompostaje (proceso por el cual se obtiene humus de lombriz) elementos como el N, P, K y Ca presentes en los residuos orgánicos se liberan y se convierten, a través de la actividad microbiana, en formas más solubles y disponibles para las plantas (Hidalgo y Harkess, 2002).

Químicamente el humus de lombriz evidencia características coloidales, lo cual es generado por el pequeño tamaño de sus partículas, gran área de dispersión por unidad de masa y la presencia en su superficie de cargas eléctricas negativas. Es por esto, que los cationes y las moléculas de agua son fácilmente retenidas por las partículas de humus de lombriz. Esta retención se realiza a bajo nivel energético, lo cual hace posible que las plantas puedan absorber fácilmente, desde la superficie de los coloides, agua y elementos nutritivos (Basare, 1995).

El humus de lombriz como materia prima proporciona una serie de beneficios, entre los que destacan: poseer un tamaño fino de partículas, una elevada porosidad y por ende una adecuada aireación y drenaje, alta capacidad de retención de agua, elevados niveles de actividad microbiana y un alto contenido de ácidos húmicos totales (Babaj *et al.*, 2009). Debido a estas características, el humus de lombriz tiene un gran potencial comercial en la industria hortícola, y está siendo utilizado como fertilizante orgánico, enmienda de suelos y como componente de sustratos para la producción de almácigos y plantas (Bachman y Metzger, 2007). Además, gracias a su bajo costo de producción surge como una alternativa al uso de turba y otros medios de cultivo.

Atiyeh *et al.* (2000), establecieron que la inclusión de humus de lombriz como componente de sustratos, siempre ha estado asociado al incremento en la germinación, crecimiento de plantines y floración de plantas ornamentales, incluso a bajas tasas de sustitución e independiente del suministro de nutrientes externos. Además, durante el trasplante previene enfermedades y lesiones por cambios bruscos de temperatura y humedad, y gracias a su pH neutro es recomendado para su uso en especies sensibles.

Diversos estudios han registrado los efectos favorables sobre el crecimiento y desarrollo de cultivos hortícolas y plantas ornamentales, al utilizar humus de lombriz como sustrato o medio de crecimiento. Es así, que se han realizado ensayos en una amplia gama de especies vegetales, como es el caso de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Arouiee *et al.*, 2009), pistacho (*Pistacia vera* L.) (Golchin *et al.*, 2006), aloe (*Aloe barbadensis* Mill.) (Saha *et al.*, 2005), ajo (*Allium sativum* L.) (Argüello *et al.*, 2006), crisantemo (*Dendranthema xgrandiflora* (Ramat.) Kitam.) (Hidalgo y Harkess, 2002), pepino (*Cucumis sativum* L.) (Babaj *et al.*, 2009) e hibisco (*Hibiscus moscheutos* L.) (McGinnis *et al.*, 2009), en donde para todos los casos se obtiene un mayor crecimiento o desarrollo producto de la utilización de humus de lombriz como sustrato.

Finalmente, es importante tener claro el concepto de plantín de calidad, el cual se relaciona con características de crecimiento y desarrollo de la planta, las cuales definen en gran parte el éxito de la plantación. Parámetros empleados para medir la calidad de un plantín son: área foliar, volumen de raíces, peso seco aéreo y radical, altura de planta y diámetro de cuello (Stuardo, 2003).

Sobre la base de estos antecedentes y considerando la importancia que merece el sustrato en la producción industrial de plantines, se planteó la siguiente hipótesis: “Es factible utilizar humus de lombriz en mezcla con otros materiales para la elaboración de sustratos específicos”.

Para probar lo anterior en el presente ensayo se plantearon los siguientes objetivos: Evaluar el efecto de fórmulas de sustratos a base de humus de lombriz en la calidad de plantines de repollo y lechuga, al momento del transplante y a los 21 días luego del transplante, además de caracterizar dichas fórmulas de sustratos física, química y biológicamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo

El estudio se llevó a cabo en instalaciones de la empresa Ecoplantas Ltda., ubicada en la comuna de Peñaflor, Región Metropolitana. La elaboración y análisis de las distintas mezclas de sustratos, las evaluaciones del material vegetal al momento del transplante y post transplante se realizaron en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en la comuna de La Pintana, Región Metropolitana.

Materiales

Se trabajó con las siguientes materias primas como base para la elaboración de sustratos: humus de lombriz, cuyo origen fue la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile; turba rubia marca Pindstrup Plus etiqueta naranja y perlita expandida marca Harborlite grado A4.

En cuanto al material vegetal se utilizaron las especies: lechuga *Lactuca sativa* L. cv. Winterhaven y repollo *Brassica oleracea var capitata* L. cv. Savoy Ace.

El almácigo se realizó utilizando diez bandejas de poliestireno expandido de 432 alvéolos (con un volumen de 10 cm³/celda), cinco para lechuga y cinco para repollo.

Métodos

Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron seis mezclas de sustratos, en dos especies (lechuga y repollo). Cada especie hortícola constituyó un ensayo independiente, el cual contempló dos etapas: a) evaluación del plantín al momento del transplante y b) evaluación del plantín luego de su establecimiento en campo. Para cada ensayo se utilizó un diseño experimental de bloques completos aleatorizados con seis tratamientos y cinco repeticiones.

Los tratamientos consistieron en cinco mezclas específicas de humus de lombriz y turba, manteniéndose siempre constante el porcentaje de perlita en 30% (fracción inorgánica), y un tratamiento testigo que estuvo dado por el sustrato que actualmente utiliza la industria plantinera, es decir, 70% turba y 30% perlita expandida base volumen (Cuadro 1).

Paralelamente se efectuó una caracterización química, física y biológica de las mezclas de sustratos, con el fin de conocer dichas características.

Cuadro 1. Tratamientos de los ensayos.

Tratamiento	Humus	Turba	Perlita
	----- (%) -----		
T1	70	0	30
T2	56	14	30
T3	42	28	30
T4	28	42	30
T5	14	56	30
T6	0	70	30

Procedimiento

Las mezclas de sustratos fueron elaboradas en forma manual, previa humectación de los materiales, posteriormente estas mezclas fueron caracterizadas química, física y biológicamente. Ambas actividades se llevaron a cabo en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Luego las bandejas con las mezclas de sustratos a evaluar y con humedad de siembra, fueron llevadas al vivero de la empresa Ecoplantas Ltda., donde se realizó la siembra en forma mecanizada siguiendo el mismo manejo de producción industrial de plantines que se realiza en la empresa. El experimento se montó y llevó a cabo en los mesones y naves de invernadero de producción de plantines comerciales.

Una vez que los plantines de lechuga y repollo alcanzaron el estado apto para su trasplante (para el caso de lechuga cuatro hojas y para el caso de repollo tres a cuatro hojas), fueron trasladados nuevamente a la Facultad de Ciencias Agronómicas para realizar las evaluaciones de laboratorio y el establecimiento de los platines en campo.

En el Laboratorio de Horticultura se realizaron las evaluaciones correspondientes al momento del trasplante. En tanto en el sector experimental de la Facultad de Ciencias Agronómicas, se estableció la fase de campo del estudio, para lo cual se dispuso de treinta plantas por cada tratamiento sobre mesas a 1,5 m entre surcos. Estas treinta plantas estuvieron dispuestas en tres hileras sobre la mesa. Finalmente, a los 21 días de la plantación, se llevaron a cabo las evaluaciones de post trasplante.

Evaluaciones

a) Caracterización de mezcla de sustratos

Las mezclas de sustratos fueron evaluadas tomando muestras representativas de cada una, como una forma de describirlas. No fueron analizadas estadísticamente.

pH. Se midió mediante medidor de pH para cada mezcla, en una suspensión-solución en relación 1:5 (sustrato: agua destilada), en base a volumen, según lo descrito por Aburto (2007).

Conductividad eléctrica (dS/m). Se midió mediante medidor de CE en una suspensión-solución en relación 1:5 (sustrato: agua destilada), en base a volumen, según lo descrito por Aburto (2007).

Densidad aparente (g/cm³). Para determinar la densidad aparente (D_a) se colocaron 137 cm³ de cada mezcla de sustratos en cilindros metálicos debidamente graduados, según lo señalado por Dane y Topp (2002). Posteriormente se obtuvo el contenido de agua de cada muestra, y por consiguiente, el peso seco en gramos de cada muestra (P_s).

$$D_a = \frac{P_s}{137 \text{ cm}^3}$$

Porosidad total (%). Para determinar la porosidad total se utilizó la metodología descrita por Dane y Topp (2002). Se colocaron 137 cm³ de mezcla de sustratos en un cilindro metálico, luego éste se dispuso en una cama de agua (1 cm de altura de agua) en donde la muestra se saturó por capilaridad. Finalmente se obtuvo el contenido de agua en base a volumen de la muestra, el cual equivale a una tensión de -2 hPa y corresponde a la porosidad total de la muestra.

Granulometría (g g⁻¹). Según la metodología descrita por Dane y Topp (2002), se determinó la granulometría mediante la utilización de un juego de tamices con mallas de 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 y 0,05 mm. Cada muestra de 150 g (previamente secada al aire) se tamizó en el equipo tamizador durante 5 minutos. Posteriormente, con los pesos colectados en cada tamiz, se construyó un gráfico de fracciones parciales, las cuales indican el peso de una determinada granulometría en relación al peso total tamizado de cada tratamiento.

Capacidad de almacenamiento de agua (%). Para obtener este parámetro se utilizó la metodología descrita por Dane y Topp (2002). Se dispusieron 137 cm³ de mezcla de sustratos en cilindros metálicos, los cuales fueron inicialmente saturados de agua y luego sometidos a tensiones de -30, -60, -330 y -10.000 hPa. Para poder ejercer tales tensiones se requirió el uso de cámaras y ollas de presión. Luego para cada una de las tensiones se obtuvo un contenido de agua en base a volumen, con lo cual se diseñó una curva de liberación de agua. Finalmente, para simplificar la observación de datos en la

curva de liberación de agua, las tensiones (hPa) usadas en las distintas mezclas de sustratos se multiplicaron por log base 10.

Análisis de fitotóxicidad (%). Se analizó a través de la determinación de un Índice de germinación (IG). Para cada mezcla de sustratos se obtuvo 10 mL de extracto en relación 1:2 (mezcla de sustratos y agua destilada respectivamente), el cual se dispuso en placas Petri, según lo descrito por Zucconi *et al.* (1981). Cada placa poseía 10 semillas de pepino de ensalada (cv. Marketer) sobre papel filtro. Paralelamente se trabajó con un testigo para así poder comparar los tratamientos. El ensayo tuvo una duración de 7 días, periodo en el cual la cámara de germinación se mantuvo a 25°C.

Para obtener el IG, se trabajó con las siguientes fórmulas.

$$PGR (\%) = \frac{N_{\text{semillas germinadas en extracto}}}{N_{\text{semillas germinadas en testigo}}} * 100$$

$$CRR (\%) = \frac{\text{Elongación radículas en extracto}}{\text{Elongación radículas en testigo}} * 100$$

$$IG = \frac{PGR * CRR}{100}$$

En donde:

PGR es el porcentaje de germinación relativo.

CRR es el crecimiento de radícula relativo.

Los valores de IG se pueden catalogar de acuerdo a la siguiente escala:

IG<50: alta fitotóxicidad; 50<IG<80: fitotóxicidad moderada; IG>80: no presenta fitotóxicidad.

Actividad biológica o respirometría (mg de C-CO₂/g de MO/día). Se evaluó la emisión de mg de C-CO₂/g de MO/día desde cada una de las seis mezclas de sustratos. Esta evaluación se realizó según lo señalado por la adaptación de Varnero (1990) a la metodología de Pochon y Tardieux (1962).

Para medir el desprendimiento de CO₂ se dispusieron 10 g de mezcla de sustratos, base seca, ajustado a un 65% de contenido agua en frascos plásticos. Posteriormente, se introdujo en el frasco anterior un vaso que contenía 10 mL de NaOH 0,2 N, para luego cerrar herméticamente e incubar a 28°C. Al cabo de 24 horas se retiró el vaso con NaOH, se le agregaron 2 mL de BaCl₂ al 20% y 5 gotas de timoftaleina al 1%. A continuación se procedió a titular con HCl 0,1 N. De igual forma se tuvo un control que también se tituló y cuyo frasco plástico solo contenía 10 mL de NaOH 0,2 N.

Para calcular los mg de C-CO₂/g de MO/día se consideró lo siguiente:
1mL de NaOH 0,2 N que reacciona con el CO₂, equivale a 1,2 mg de C-CO₂. El resultado se expresó para 1g de MO en cada una de las mezclas de sustrato.

b) Observación de desarrollo de plantines

Se realizaron una serie de observaciones en la fase de almácigo desde el momento de la siembra, las que se llevaron a cabo día por medio. Las observaciones correspondieron a:

- Emergencia
- Plantas con cotiledones expandidos
- Aparición de primera, segunda y tercera hoja verdadera

Para efectos del estudio se consideró que, cuando el 50% de los plantines de un tratamiento alcanzará el estado fenológico respectivo, se consideraría como tal.

c) Evaluación de plantines al momento del trasplante

Área foliar (cm²). Se determinó el área foliar mediante el uso de un escáner Epson Perfection 4990 Photo y utilizando el software WinFolia (Régent Instruments).

Volumen radical (cm³). Se determinó el volumen de raíces mediante el uso de un escáner Epson Perfection 4990 Photo y utilizando el software WinRizo (Régent Instruments).

Peso seco parte aérea y radical (g). Se procedió a separar la parte aérea y radical en la zona del cuello del plantín, para luego secar el material vegetal en una estufa marca Labtech a 65°C +/- 5°C por 72 horas.

Peso fresco parte aérea (g). Para determinar este parámetro se procedió a cortar a nivel del cuello del plantín, utilizando luego una balanza analítica marca Adam de 0,1 mg de precisión.

Altura de planta (cm). Medido desde el cuello del plantín hasta la estructura vegetal más alta (con las hojas del plantín extendidas).

Diámetro del tallo (cm). Medido con un pie de metro electrónico a la altura del cuello del plantín.

Número de hojas. Se contó el número de hojas total de cada plantín.

d) Evaluación post trasplante

21 días post trasplante se realizaron las siguientes mediciones, las cuales ya fueron detalladas anteriormente:

- Volumen radical
- Peso seco parte aérea y radical
- Número de hojas

Análisis estadístico

Para cada especie en estudio y en forma independiente, se realizó un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95%. Al observarse diferencias significativas entre los tratamientos se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$).

Los valores obtenidos en la evaluación número de hojas por planta fueron corregidos previo al análisis de varianza, esto debido a que el descriptor numérico no presenta una distribución normal. Los valores se transformaron de acuerdo a la siguiente ecuación:
 $N^{\circ} \text{ Corregido} = \sqrt{N^{\circ} \text{ de hojas} + 1}$ (Montgomery, 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de mezcla de sustratos

Antes de evaluar las plantas de repollo y lechuga, se procedió a caracterizar las mezclas de sustratos en cuanto a: pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, porosidad total, granulometría, capacidad de almacenamiento de agua, fitotoxicidad y actividad biológica, resultados que se describen a continuación.

Propiedades químicas

pH. El rango ideal de pH (medido en base a una dilución 1:5) en el cual se debieran encontrar sustratos utilizados para la producción de especies vegetales debiera variar entre 5,5 y 8,5 (INN, 2004), ya que es en éste rango en donde la mayoría de los nutrientes presentan su máximo nivel de disponibilidad¹. Por lo tanto, según lo anterior y como se observa en el Cuadro 2, los seis tratamientos en estudio registraron un pH adecuado a la Norma y por consiguiente no presentarían problemas referentes a nutrición mineral.

Cuadro 2. pH y conductividad eléctrica (CE) en las mezclas de sustratos a 25°C.

Tratamiento	pH	CE ---- (dS/m) ----
T1 (70- 0 -30) ¹	7,32	0,56
T2 (56-14-30)	7,39	0,48
T3 (42-28-30)	7,39	0,41
T4 (28-42-30)	7,34	0,30
T5 (14-56-30)	7,18	0,21
T6 (0 -70-30)	6,57	0,07

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

Conductividad eléctrica (CE). Según se observa en el Cuadro 2, la totalidad de los tratamientos registra valores de conductividad eléctrica muy por debajo de 3 dS/m, valor que se indica como el máximo permitido en sustratos para la utilización en producción de plantas (medido en base a una dilución 1:5) (INN, 2004). Es decir, las mezclas de sustratos utilizadas en este ensayo se encuentran lejos de presentar problemas relacionados con un exceso de sales, lo cual implicaría en casos extremos: reducción del crecimiento, marchitez y quemadura apical de hojas (Martínez, 2005).

¹ Teresa Varnero. Químico Farmacéutico, Profesora Reciclaje Orgánico. Fac. Cs. Agronómicas, Universidad de Chile, 2010. Comunicación Personal.

Propiedades físicas

Densidad aparente (Da). Según Abad *et al.* (1992), valores inferiores a $0,4 \text{ g/cm}^3$ corresponden a la densidad aparente óptima para sustratos de cultivo. Por lo tanto, tal como se observa en el Cuadro 3, T1 y T2 presentarían problemas al momento de su uso como sustratos, debido principalmente a que los sustratos y los distintos contenedores son transportados durante su manejo, por lo cual, un exceso de peso puede ser perjudicial en la manipulación de los contenedores en la producción hortícola (Abad *et al.*, 2004).

Cuadro 3. Resultados de densidad aparente (Da) y porosidad total (PT) en las mezclas de sustratos.

Tratamiento	Da	PT
	---- (g/cm^3) ----	---- (%) ----
T1 (70- 0 -30) ¹	0,46	88,9
T2 (56-14-30)	0,48	92,7
T3 (42-28-30)	0,34	92,6
T4 (28-42-30)	0,26	97,0
T5 (14-56-30)	0,24	99,1
T6 (0 -70-30)	0,17	97,4

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

Porosidad total (PT). Los valores obtenidos para porosidad total indican que todos los tratamientos se encuentran en un rango favorable (Cuadro 3), puesto que poseen sobre un 85% de espacio poroso (Ansorena, 1994), por ende todas las mezclas presentarían una adecuada aireación y disponibilidad de agua. Los tratamientos T5 y T6 son los que muestran la más alta porosidad, lo cual se explica por el mayor aporte de turba a las mezclas.

Granulometría. Como se observa en la Figura 1, todos los tratamientos presentan una distribución de partículas homogénea, en donde la granulometría dominante es clara y tiene valores que van desde 0,375 a 1,5 mm. Martínez (2005) considera que un sustrato de fácil manejo, es decir, aquel que posee suficiente aire y agua disponible, debiera tener una granulometría de entre 0,25 y 2,5 mm, con lo cual las seis mezclas de sustratos se encontrarían en un nivel óptimo de tamaño de partículas.

En este sentido cabe recalcar la importancia de la granulometría de un sustrato, ya que partículas de muy bajo diámetro podrían provocar asfixia radical (exceso de agua disponible), mientras que partículas de elevado diámetro provocarían riesgo de déficit hídrico (Anicua-Sánchez *et al.*, 2008).

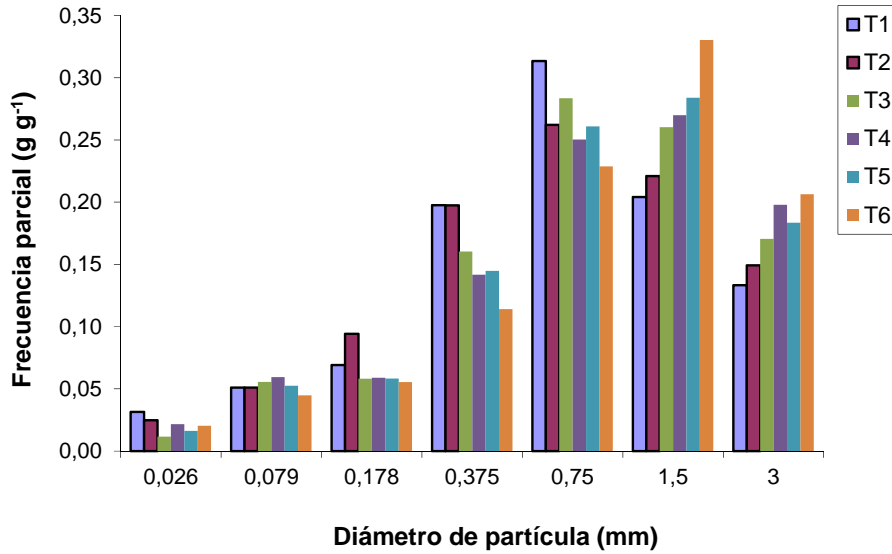


Figura 1. Distribución del tamaño de partículas de cada uno de los tratamientos. Los tratamientos indican el porcentaje de humus, turba y perlita respectivamente. T1: 70-0-30, T2: 56-14-30, T3: 42-28-30, T4: 28-42-30, T5: 14-56-30 y T6: 0-70-30.

Capacidad de almacenamiento de agua. A través de la curva de liberación de agua (Figura 2) se obtuvo el agua disponible (% del volumen) de cada uno de los tratamientos.

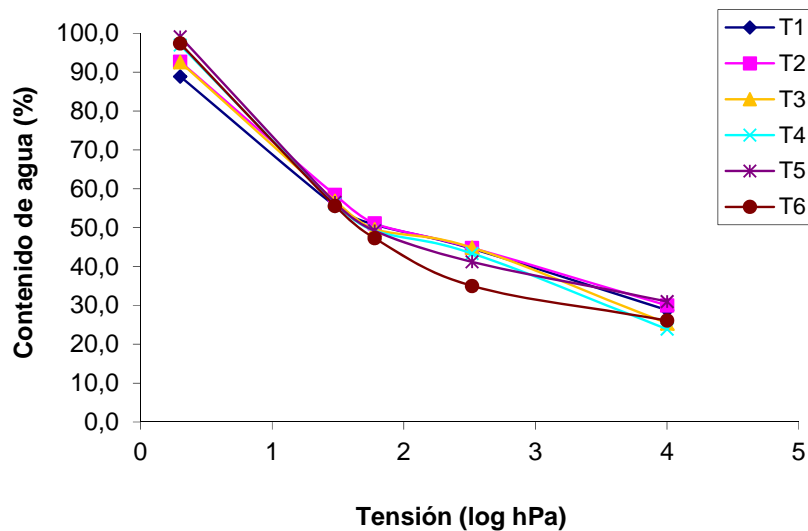


Figura 2. Curva de liberación de agua de los tratamientos a distintas tensiones. Los tratamientos indican el porcentaje de humus, turba y perlita respectivamente. T1: 70-0-30, T2: 56-14-30, T3: 42-28-30, T4: 28-42-30, T5: 14-56-30 y T6: 0-70-30.

La importancia de conocer el agua disponible de un sustrato radica en que afecta la frecuencia de riego, la cual puede espaciarse a medida que aumenta el agua disponible (Ansorena, 1994). En los tratamientos en estudio, el agua disponible varió de un 21% en T1 a un 30% en T6. En este sentido Abad *et al.* (2004) establecen que el nivel óptimo de agua disponible se sitúa entre el 24 y el 40% del volumen del sustrato, por lo tanto, solo T1 se encontró fuera del rango óptimo para dicho parámetro.

Propiedades biológicas

Análisis de fitotoxicidad. Algunos materiales usados como sustratos presentan compuestos fitotóxicos que pueden ser perjudiciales para el desarrollo vegetal, por lo cual se hace recomendable la práctica de bioensayos de germinación. En este sentido los resultados obtenidos indican que solo T6 no presentó fitotoxicidad, ya que su índice de germinación (IG) es mayor a un 80%, mientras que los demás tratamientos presentaron una fitotoxicidad moderada debido a que registraron un IG que se encuentra entre un 50 y 80% (Cuadro 4). En cuanto al elevado IG mostrado por T6, este podría deberse a su bajo contenido de sales junto a la estabilidad biológica otorgada por lo inerte de su composición.

Cuadro 4. Índice de germinación (IG) y Actividad biológica o Respirometría en las mezclas de sustratos.

Tratamiento	IG ---- (%) ----	Respirometría (mg C-CO ₂ /g MO/día)
T1 (70- 0 -30) ¹	56,4	1,11
T2 (56-14-30)	50,7	1,14
T3 (42-28-30)	69,2	1,12
T4 (28-42-30)	69,4	1,15
T5 (14-56-30)	72,2	1,14
T6 (0 -70-30)	90,0	0,05

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

Actividad biológica o respirometría. Según lo establece la Norma Chilena de Compost 2880-2004 (INN, 2004), las mezclas de sustratos en estudio pueden ser consideradas como material biológicamente estabilizado. La Norma indica que un material se encuentra estabilizado al presentar una tasa de respiración inferior a 8 mg C-CO₂ g⁻¹ MO⁻¹ día⁻¹. Como se observa en el Cuadro 4, la menor tasa respiratoria la presentó el tratamiento T6, básicamente por lo inerte de su composición (turba y perlita), mientras que los demás tratamientos mostraron una actividad respiratoria similar entre ellos.

La importancia de contar con sustratos maduros biológicamente, radica en que así se pueden evitar problemas asociados con la presencia de compuestos fitotóxicos tales como ácidos grasos, orgánicos y compuestos fenólicos, deficiencias de nitrógeno y también de oxígeno producto de la competencia con microorganismos (Burés, 2005).

Observación de desarrollo de plantines

Como se muestra en el Cuadro 5, tanto en repollo como en lechuga se observó un comportamiento similar entre los tratamientos en los primeros estados de desarrollo, sin embargo, ya con la aparición de la primera hoja verdadera, los tratamientos que contienen humus de lombriz y principalmente el tratamiento T1, evidenciaron precocidad de uno o dos días según el tratamiento, la cual se mantiene constante hasta la aparición de la tercera hoja. En este sentido la condición de precocidad es aun más clara en el caso de repollo, en donde la diferencia entre T1 y T6 (70% y 0% de humus de lombriz respectivamente) al estado de tercera hoja verdadera es de tres días, mientras que en lechuga es solo de dos días.

Estos resultados coinciden con lo descrito por Moreno *et al.* (2005), quienes destacaron que el humus de lombriz favorece el desarrollo de cultivos en invernadero cuando éste se utiliza como sustrato.

En relación a la precocidad desarrollada tanto en repollo como en lechuga, Argüello *et al.* (2006) obtuvieron resultados similares en plantas de ajo (*Allium sativum*), en donde se determinó que el uso de humus de lombriz como componente de sustratos producía una bulbificación precoz y una extensión en la etapa de llenado de bulbo, lo cual resultaba en mayores rendimientos y calidad de bulbos.

Cuadro 5. Días para alcanzar los diferentes estados fenológicos en repollo y lechuga.

Tratamientos	Emergencia	Cotiledones expandidos	1ª hoja	2ª hoja	3ª hoja
----- Días desde siembra -----					
Repollo					
T1 (70-0-30) ¹	2	4	14	19	33
T2 (56-14-30)	2	4	14	19	34
T3 (42-28-30)	2	4	15	20	34
T4 (28-42-30)	2	4	15	20	35
T5 (14-56-30)	2	4	15	21	35
T6 (0-70-30)	2	4	16	22	36
Lechuga					
T1 (70-0-30)	2	4	13	16	21
T2 (56-14-30)	2	4	13	16	22
T3 (42-28-30)	2	4	13	16	22
T4 (28-42-30)	2	4	13	16	22
T5 (14-56-30)	2	4	13	16	22
T6 (0-70-30)	2	4	14	17	23

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

Finalmente es preciso mencionar la importancia de poder contar con una producción anticipada de plantines mediante el uso de sustratos específicos, lo cual conlleva a optimizar el espacio en un determinado invernadero, y por lo tanto, producir una mayor cantidad de plantines por unidad de tiempo.

Evaluación de plantines al momento del transplante

Área foliar

Según se observa en el Cuadro 6, en repollo, el tratamiento con mayor contenido de humus de lombriz, es decir T1, evidenció diferencias significativas con T4, T5 y T6 para la variable área foliar, siendo al mismo tiempo similar con T2 y T3.

En el caso de lechuga se registraron diferencias significativas entre T1 y T6 para la variable área foliar, en tanto, los plantines obtenidos de T2, T3, T4 y T5 no presentaron diferencias con ninguno de los otros tratamientos.

Cuadro 6. Área foliar de plantines de repollo y lechuga al estado de 3-4 hojas verdaderas.

Tratamiento		Área foliar
		----- (cm ²) -----
Repollo		
T1	(70- 0 -30) ¹	19,82 a ²
T2	(56-14-30)	17,78 ab
T3	(42-28-30)	16,07 abc
T4	(28-42-30)	14,34 bcd
T5	(14-56-30)	12,46 cd
T6	(0 -70-30)	11,32 d
Lechuga		
T1	(70- 0 -30)	18,60 a
T2	(56-14-30)	16,54 ab
T3	(42-28-30)	16,27 ab
T4	(28-42-30)	16,87 ab
T5	(14-56-30)	16,43 ab
T6	(0 -70-30)	13,96 b

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

²Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas dentro de una misma especie, según Tukey ($p \leq 0,05$).

Estos resultados son similares a los obtenidos por Babaj *et al.* (2009), quienes señalaron que plantines de pepino (*Cucumis sativum*) producidos en sustratos que contenían humus de lombriz, presentaban un valor de área foliar mayor a aquellos plantines provenientes de un sustrato compuesto solo por turba.

Los resultados también coinciden con lo obtenido por Golchin *et al.* (2006), en donde a través de un ensayo se determinó el efecto de distintos humus de lombriz como sustratos para plantines de pistacho (*Pistacia vera*). En dicho ensayo se estableció al cabo de 5 meses, que las plantas que provenían de un sustrato que contenía humus de lombriz (10-20% base volumen), presentaban un área foliar mayor a aquellas plantas que provenían de un sustrato estándar.

Volumen radical

Al evaluar el volumen radical de plantines tanto de repollo como de lechuga se observaron diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 7), en donde T1 se presentó claramente superior a T5 y T6, siendo estos, los tratamientos que poseen el menor contenido de humus de lombriz. En cuanto a T2, T3 y T4, estos no se presentaron estadísticamente distintos al resto de los tratamientos.

Cuadro 7. Volumen radical de plantines de repollo y lechuga al estado de 3-4 hojas verdaderas.

Tratamiento		Volumen radical
		----- (cm ³) -----
Repollo		
T1	(70- 0 -30) ¹	0,50 a ²
T2	(56-14-30)	0,37 ab
T3	(42-28-30)	0,31 ab
T4	(28-42-30)	0,32 ab
T5	(14-56-30)	0,25 b
T6	(0 -70-30)	0,23 b
Lechuga		
T1	(70- 0 -30)	0,43 a
T2	(56-14-30)	0,35 ab
T3	(42-28-30)	0,31 ab
T4	(28-42-30)	0,35 ab
T5	(14-56-30)	0,28 b
T6	(0 -70-30)	0,30 b

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

²Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas dentro de una misma especie, según Tukey ($p \leq 0,05$).

Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Salvador y Minami (2008), quienes evaluaron distintos sustratos, algunos de ellos a base de humus de lombriz, en gloxinia (*Sinningia speciosa* Lood. Hiern.). Ellos establecieron al momento de cosecha que plantas provenientes de sustratos que contenían humus de lombriz, presentaban entre un 20 y un 30% mayor volumen de raíces que aquellas plantas que provenían de un sustrato control.

Este mayor crecimiento expresado a través de un mayor volumen de raíces puede ser explicado, según Brown (1995), ya que el humus de lombriz contiene una población microbiana que afecta directamente el desarrollo de las plantas, al producir sustancias que actúan como reguladores de hormonas del crecimiento vegetal.

Peso seco y fresco parte aérea

Como se puede apreciar en el Cuadro 8, el repollo presentó diferencias significativas entre los tratamientos para las variables peso seco y peso fresco parte aérea. En este caso, se mantiene la tendencia en donde a medida que aumenta el contenido de humus

de lombriz en las mezclas de sustratos, aumenta también el peso seco y fresco de la parte aérea de la planta. Es tan evidente el efecto provocado por el humus de lombriz que T1 posee casi el doble de peso que T6 (tratamiento testigo) en ambas variables.

En el caso de lechuga no existieron diferencias significativas entre los tratamientos para las variables en cuestión.

Cuadro 8. Peso seco y fresco de la parte aérea de plantines de repollo y lechuga al estado de 3-4 hojas verdaderas.

Tratamiento		Peso seco parte aérea	Peso fresco parte aérea
		----- (g) -----	
Repollo			
	T1 (70- 0 -30) ¹	0,816 a ²	6,64 a
	T2 (56-14-30)	0,757 ab	6,08 ab
	T3 (42-28-30)	0,610 bc	4,95 bc
	T4 (28-42-30)	0,619 bc	4,79 bc
	T5 (14-56-30)	0,493 cd	3,88 cd
	T6 (0 -70-30)	0,413 d	3,19 d
Lechuga			
	T1 (70- 0 -30)	0,464 a	4,65 a
	T2 (56-14-30)	0,457 a	4,52 a
	T3 (42-28-30)	0,444 a	4,34 a
	T4 (28-42-30)	0,446 a	4,42 a
	T5 (14-56-30)	0,438 a	4,19 a
	T6 (0 -70-30)	0,404 a	3,66 a

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

²Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas dentro de una misma especie, según Tukey ($p \leq 0,05$).

Los resultados anteriores registrados en repollo son similares a los obtenidos por McGinnis *et al.* (2009), quienes estudiaron el efecto del humus de lombriz como sustrato para plantas de hibisco (*Hibiscus moscheutos*) cosechadas al estado comercial. En dicho estudio se estableció que todos los sustratos que contenían humus de lombriz (20% en base volumen), producían plantas con un mayor peso seco de la parte aérea que aquellas provenientes de un sustrato que representaba el estándar de la industria.

Del mismo modo, Hidalgo y Harkess (2002) realizaron un estudio en donde se evaluaron una serie de sustratos en plantas de crisantemo (*Dendranthema xgrandiflora*) al momento de cosecha. En dicho estudio los autores determinaron que los sustratos que contenían entre un 25 y 100% de humus de lombriz (proveniente de desechos de oveja), registraban un mayor peso seco de la parte aérea que la mezcla comercial evaluada (compuesta de turba y perlita expandida).

Arouiee *et al.* (2009) obtuvieron resultados similares a este estudio, en donde se evaluaron plantines de tomate (*Solanum lycopersicum*) al momento del trasplante. En dicha investigación se estableció que plantines provenientes de sustratos con 25 y 50% de humus de lombriz en mezcla con arena, alcanzaron prácticamente el doble de peso

fresco de la parte aérea que plantines provenientes de un sustrato compuesto solo por arena.

Peso seco radical

Al evaluar el peso seco radical en repollo, se pudo establecer la existencia de diferencias significativas entre las mezclas de sustratos (Cuadro 9), en donde T1 registró el mayor peso promedio. En este sentido, los tratamientos con mayor contenido de humus de lombriz, es decir T1 y T2, presentaron valores de peso seco radical más altos que el tratamiento testigo, el cual representa lo que actualmente utiliza la industria.

Un comportamiento similar registraron Salvador *et al.* (2005), quienes evaluaron diferentes sustratos en violeta africana (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) al momento de alcanzar el estado comercial. Los resultados indicaron que el sustrato compuesto por humus de lombriz produjo plantas con un 15% a 20% más de peso seco radical que los sustratos comerciales utilizados en el experimento.

Cuadro 9. Peso seco radical de plantines de repollo y lechuga al estado de 3-4 hojas verdaderas.

Tratamiento		Peso seco radical
		----- (g) -----
Repollo	T1 (70- 0 -30) ¹	0,13 a ²
	T2 (56-14-30)	0,10 b
	T3 (42-28-30)	0,08 bc
	T4 (28-42-30)	0,09 bc
	T5 (14-56-30)	0,08 bc
	T6 (0 -70-30)	0,07 c
Lechuga	T1 (70- 0 -30)	0,21 a
	T2 (56-14-30)	0,19 a
	T3 (42-28-30)	0,18 a
	T4 (28-42-30)	0,20 a
	T5 (14-56-30)	0,19 a
	T6 (0 -70-30)	0,19 a

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

²Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas dentro de una misma especie, según Tukey ($p \leq 0,05$).

En cuanto a lechuga, nuevamente esta no presentó diferencias significativas entre los tratamientos para peso seco radical, lo cual indica que la presencia de humus de lombriz en las mezclas de sustratos no es determinante en una mayor o menor acumulación de peso seco radical.

Altura de planta

En la altura de planta (Cuadro 10) en repollo, se observó que el tratamiento testigo obtuvo un valor significativamente menor a casi todos los tratamientos, salvo por T5. En tanto T1 y T2 presentaron valores significativamente más altos que T4, T5 y T6, siendo al mismo tiempo similares a T3.

En el caso de lechuga nuevamente no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos para altura de planta.

Cuadro 10. Altura de plantines de repollo y lechuga al estado de 3-4 hojas verdaderas.

Tratamiento		Altura
		----- (cm) -----
Repollo		
T1	(70- 0 -30) ¹	11,90 a ²
T2	(56-14-30)	11,93 a
T3	(42-28-30)	10,96 ab
T4	(28-42-30)	10,59 b
T5	(14-56-30)	10,24 bc
T6	(0 -70-30)	9,13 c
Lechuga		
T1	(70- 0 -30)	7,47 a
T2	(56-14-30)	7,19 a
T3	(42-28-30)	7,14 a
T4	(28-42-30)	7,24 a
T5	(14-56-30)	6,99 a
T6	(0 -70-30)	6,68 a

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

²Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas dentro de una misma especie, según Tukey ($p \leq 0,05$).

Resultados similares a este estudio fueron reportados por Argüello *et al.* (2006), en donde al cabo de 60 días desde la siembra, la altura de plantas de ajo (*Allium sativum*) se vio incrementada por efecto de la presencia de humus de lombriz en el sustrato utilizado.

Es importante considerar que si bien es necesario que los plantines en general alcancen cierta altura dependiendo de la especie, no es favorable una mayor altura debido a que así se favorece la tendadura (Navas, 2006).

Diámetro del tallo

Los resultados obtenidos se exponen en el Cuadro 11, en donde se evidencian diferencias significativas entre los tratamientos para la especie repollo. Las mezclas de sustratos T1 y T2 se presentaron estadísticamente mayores a T3, T5 y T6, y similares a T4. Mientras que T6 registró valores significativamente menores al resto de los tratamientos salvo por T5.

En cuanto a lechuga, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos para la variable en cuestión, lo cual indica nuevamente que la inclusión de humus de lombriz en las mezclas de sustratos, no tiene efectos significativos en ciertos parámetros evaluados de esta especie.

Cuadro 11. Diámetro del tallo de repollo y lechuga al estado de 3-4 hojas verdaderas.

Tratamiento		Diámetro del tallo
		----- (cm) -----
Repollo		
T1	(70- 0 -30) ¹	1,71 a ²
T2	(56-14-30)	1,69 a
T3	(42-28-30)	1,58 b
T4	(28-42-30)	1,61 ab
T5	(14-56-30)	1,52 bc
T6	(0 -70-30)	1,46 c
Lechuga		
T1	(70- 0 -30)	1,55 a
T2	(56-14-30)	1,59 a
T3	(42-28-30)	1,54 a
T4	(28-42-30)	1,51 a
T5	(14-56-30)	1,51 a
T6	(0 -70-30)	1,50 a

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

²Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas dentro de una misma especie, según Tukey ($p \leq 0,05$).

Estudios realizados en tomate al momento del transplante por Arouiee *et al.* (2009), señalaron que el diámetro del tallo en plantines producidos en un sustrato con 50% de humus de lombriz, es un 15% mayor al registrado en plantines provenientes de un sustrato compuesto solo por arena.

Número de hojas

Como se observa en el Cuadro 12, al evaluar número de hojas en repollo se pudieron constatar diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T6, en donde el valor más alto se presentó en la mezcla de sustratos que contiene un 70% de humus de lombriz (T1), mientras que el menor promedio fue alcanzado por la mezcla que contiene 70% de turba (T6).

Para lechuga existieron diferencias significativas entre los tratamientos, en donde T1, T2 y T4 registraron un mayor número de hojas respecto a T6 (tratamiento testigo). Además, T3 y T5 se presentaron similares estadísticamente al resto de los tratamientos.

Similares resultados obtuvieron Paul y Metzger (2005) en tomate, en donde plantines producidos en sustratos que contenían un 20% de humus de lombriz registraron un mayor número de hojas que plantines producidos en una mezcla comercial (formulado a base de turba y perlita gruesa).

Cuadro 12. Número de hojas de repollo y lechuga al estado de 3-4 hojas verdaderas.

Tratamiento		Hojas
		----- (Número) -----
Repollo	T1 (70- 0 -30) ¹	3,28 a ²
	T2 (56-14-30)	3,22 ab
	T3 (42-28-30)	3,20 ab
	T4 (28-42-30)	3,24 ab
	T5 (14-56-30)	3,16 ab
	T6 (0 -70-30)	2,82 b
Lechuga	T1 (70- 0 -30)	3,48 a
	T2 (56-14-30)	3,50 a
	T3 (42-28-30)	3,38 ab
	T4 (28-42-30)	3,44 a
	T5 (14-56-30)	3,34 ab
	T6 (0 -70-30)	3,08 b

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

²Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas dentro de una misma especie, según Tukey ($p \leq 0,05$).

Como se observa en el Cuadro 12, en ambas especies el tratamiento que representa lo que utiliza actualmente la industria como sustrato (T6), produce los plantines con el menor número de hojas en comparación con T1 en el caso de repollo, y T1, T2 y T4 en el caso de lechuga (precisamente las mezclas de sustratos que poseen un elevado porcentaje de humus de lombriz). La importancia de este punto radica en que, a nivel de plantineras, el número de hojas es un parámetro de relevancia al momento de decidir la venta de plantines de hortalizas, y por lo tanto en este caso, sustratos a base de humus de lombriz favorecerían una mayor precocidad.

Evaluación post transplante

Volumen radical

En repollo, como se puede apreciar en el Cuadro 13, T2 registró diferencias significativas con T4, T5 y T6 (tratamientos con el menor contenido de humus de lombriz), y al mismo tiempo se presentó similar a T1 y T3.

En este sentido resulta interesante observar en repollo, que luego de los 21 días desde el transplante, T2 presentó un incremento de un 75% en su volumen radical, mientras que T1 (el tratamiento mejor catalogado antes del transplante) registró un aumento de solo un 14%, lo cual es producto de que T1 no presentó un cepellón bien formado en el momento del transplante, provocando un estrés radical y posterior lento establecimiento en campo.

Para el caso de lechuga no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos para volumen radical. Por otro lado, al igual que en repollo, T1 registró un lento crecimiento de raíces posterior al transplante, es decir un incremento de 200%.

Cuadro 13. Volumen radical de plantas de repollo y lechuga al estado de 5-6 y 6-7 hojas verdaderas respectivamente, e incremento del volumen radical desde el momento del transplante.

Tratamiento	Volumen radical	Incremento de volumen radical
	----- (cm ³) -----	----- (%) -----
Repollo		
T1 (70- 0 -30) ¹	0,57 ab ²	14,0
T2 (56-14-30)	0,65 a	75,6
T3 (42-28-30)	0,54 ab	74,1
T4 (28-42-30)	0,41 bc	28,1
T5 (14-56-30)	0,43 bc	72,0
T6 (0 -70-30)	0,34 c	47,8
Lechuga		
T1 (70- 0 -30)	1,29 a	200,0
T2 (56-14-30)	1,51 a	328,5
T3 (42-28-30)	1,51 a	387,0
T4 (28-42-30)	1,25 a	257,1
T5 (14-56-30)	1,15 a	310,7
T6 (0 -70-30)	1,05 a	250,0

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

²Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas dentro de una misma especie, según Tukey ($p \leq 0,05$).

Los resultados obtenidos para la variable volumen radical concuerdan con lo descrito por Caro (2008), quien recalca lo importante de contar con un cepellón bien definido al momento del transplante, y en donde a través de un ensayo determinó que plantas de lechuga a los 10 días post transplante, registraron diferencias en el desarrollo del

sistema de raíces, lo cual fue definido por el mayor o menor grado de agregación otorgado por los sustratos utilizados.

Peso seco parte aérea

Al evaluar el peso seco de la parte aérea en plantas de repollo se pudo constatar que existen diferencias significativas entre los tratamientos, en donde la mezcla que contiene 56% de humus de lombriz (T2) registró un mayor peso seco de la parte aérea que el tratamiento testigo (T6). En relación a los demás tratamientos, es decir, T1, T3, T4 y T5, se presentaron estadísticamente similares entre sí, e iguales con T2 y T6 (Cuadro 14).

En general para repollo se observó en campo, una notoria ganancia de peso en los tratamientos que poseen un mayor contenido de turba, como es el caso de T5 y T6, los cuales registraron un incremento de un 311 y 330% en peso seco de la parte aérea respectivamente (Cuadro 14). Lo anterior provocó que se equiparen los 6 tratamientos, ya que las mezclas que contienen un mayor contenido de humus de lombriz presentaron una tasa de crecimiento más lenta luego de su establecimiento en campo.

Para el caso de lechuga se repite el mismo fenómeno ocurrido en repollo, en donde T2 presentó diferencias significativas con la mezcla de sustratos que posee el menor contenido de humus de lombriz (T6) para la variable peso seco parte aérea.

Cuadro 14. Peso seco de la parte aérea de plantas de repollo y lechuga al estado de 5-6 y 6-7 hojas verdaderas respectivamente, e incremento del peso seco de la parte aérea desde el momento del transplante.

Tratamiento	Peso seco parte aérea	Incremento de peso seco parte aérea
	----- (g) -----	----- (%) -----
Repollo		
T1 (70- 0 -30) ¹	2,40 ab ²	195,2
T2 (56-14-30)	2,72 a	259,5
T3 (42-28-30)	2,05 ab	236,5
T4 (28-42-30)	2,01 ab	225,0
T5 (14-56-30)	2,03 ab	311,7
T6 (0 -70-30)	1,77 b	330,7
Lechuga		
T1 (70- 0 -30)	2,80 ab	504,9
T2 (56-14-30)	3,14 a	587,9
T3 (42-28-30)	2,78 ab	526,3
T4 (28-42-30)	2,76 ab	519,0
T5 (14-56-30)	2,42 ab	454,3
T6 (0 -70-30)	2,21 b	448,5

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

²Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas dentro de una misma especie, según Tukey ($p \leq 0,05$).

En este sentido, es interesante lo que ocurre con lechuga, en donde T2 registró un importante incremento de peso seco de la parte aérea desde el momento de transplante, el cual alcanzó un 587%, y corrobora su buen desempeño en campo.

Resultados similares al presente estudio obtuvieron Basirat *et al.* (2008), quienes establecieron que plantas de olivo (*Olea europea* L.) producidas en sustratos que contenían un 35% de humus de lombriz (base volumen), registraban mayor peso seco de la parte aérea que plantas producidas en mezclas de sustratos a base turba y arena.

Peso seco radical

Al evaluar en repollo el peso seco radical a los 21 días luego del establecimiento en campo (Cuadro 15), se constató que T2 presentó diferencias significativas con el resto de los tratamientos, en donde, es precisamente este tratamiento el que ostenta el registro promedio más alto de peso seco radical. Por otro lado, el resto de las mezclas de sustratos se presentaron iguales entre sí.

Como es posible observar en el Cuadro 15, en repollo no se registró un incremento en el peso seco radical respecto al momento de establecimiento de plantines. Esto se debió posiblemente a una pérdida de raíces y raicillas al momento de toma de muestras en campo, producto de la adherencia de las raíces al suelo que las circundaba. Lo anterior se valida ya que, se mantiene la misma tendencia observada en otros parámetros evaluados luego del establecimiento.

Cuadro 15. Peso seco radical de plantas de repollo y lechuga al estado de 5-6 y 6-7 hojas verdaderas respectivamente, e incremento del peso seco radical desde el momento del transplante.

Tratamiento	Peso seco radical	Incremento de peso seco radical
	----- (g) -----	----- (%) -----
Repollo		
T1 (70- 0 -30) ¹	0,05 a ²	-
T2 (56-14-30)	0,08 b	-
T3 (42-28-30)	0,04 a	-
T4 (28-42-30)	0,04 a	-
T5 (14-56-30)	0,02 a	-
T6 (0 -70-30)	0,03 a	-
Lechuga		
T1 (70- 0 -30)	0,36 a	68,8
T2 (56-14-30)	0,40 a	102,5
T3 (42-28-30)	0,37 a	101,6
T4 (28-42-30)	0,35 a	78,0
T5 (14-56-30)	0,29 a	55,2
T6 (0 -70-30)	0,30 a	54,0

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

²Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas dentro de una misma especie, según Tukey ($p \leq 0,05$).

En cuanto a lechuga, no se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos para la variable en cuestión. Al margen de lo anterior, es llamativo observar (Cuadro 15) que T2 y T3 presentaron un importante incremento de peso seco radical luego del establecimiento en campo, siendo a la vez, los tratamientos que contienen un mayor contenido de humus de lombriz en mezcla con turba.

Número de hojas

Al realizar en repollo la evaluación al día 21, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos para la variable número de hojas (Cuadro 16).

En relación a lechuga se constató la existencia de valores significativamente inferiores en el tratamiento testigo (T6) con respecto a los demás tratamientos, los cuales son estadísticamente iguales entre sí. En este sentido, es importante mencionar que todo aquel tratamiento que posee algún porcentaje de humus de lombriz, alcanza un mayor número de hojas que la mezcla de sustratos que utiliza la industria actualmente (T6). Lo anterior indicaría que la adición de humus de lombriz en los tratamientos, supone un inmediato incremento en el número de hojas de las plantas.

Cuadro 16. Número de hojas en plantas de repollo y lechuga al estado de 5-6 y 6-7 hojas verdaderas respectivamente, e incremento del número de hojas desde el momento del transplante.

Tratamiento	Hojas	Incremento del número de hojas
	----- (Número) -----	----- (%) -----
Repollo		
T1 (70- 0 -30) ¹	5,80 a ²	32,5
T2 (56-14-30)	5,93 a	35,7
T3 (42-28-30)	5,66 a	33,1
T4 (28-42-30)	5,66 a	31,6
T5 (14-56-30)	5,66 a	33,8
T6 (0 -70-30)	5,20 a	35,9
Lechuga		
T1 (70- 0 -30)	6,86 a	40,8
T2 (56-14-30)	7,06 a	42,4
T3 (42-28-30)	6,93 a	43,7
T4 (28-42-30)	6,86 a	41,6
T5 (14-56-30)	6,73 a	42,3
T6 (0 -70-30)	6,20 b	41,7

¹Porcentaje de humus de lombriz, turba y perlita respectivamente.

²Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas dentro de una misma especie, según Tukey ($p \leq 0,05$).

En lechuga, el mayor número de hojas registrado en los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5, indica la importancia del humus de lombriz como componente de sustratos. Al respecto, Saha *et al.* (2005) se refirieron al componente nutricional del humus de lombriz, en donde se establece que plantas de aloe (*Aloe barbadensis*) producidas en

presencia de humus de lombriz, presentaban al cabo de 120 días un incremento de 62% en el número de hojas, respecto a plantas producidas en ausencia de humus de lombriz.

En resumen, los resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas al cabo de 21 días luego del trasplante, tanto para repollo como lechuga, indican que T1 ya no se comporta como el tratamiento más destacado, sino que ha sido desplazado por T2, el cual se alza como la mejor mezcla de sustratos en campo.

Este hecho se explica ya que, si bien T1 (70% humus de lombriz y 30% perlita) posee un excelente comportamiento en bandejas alveoladas, al momento del trasplante no presentó un cepellón totalmente definido, lo cual provoca que las raíces del plantín queden expuestas al medio, conllevando con ello un estrés del plantín, y por ende un lento establecimiento en campo (Aillapan, 1997).

Por otro lado, el mejor comportamiento de T2 (56% humus de lombriz, 14% turba y 30% perlita) en campo, radica principalmente en su alto contenido de humus de lombriz y a la presencia de turba, la cual otorga un efecto aglutinante que permite la formación del pan o cepellón, evitando así el estrés radical, permitiendo un crecimiento continuo de la planta.

Por último, también se registró que, en los parámetros evaluados en campo para ambas especies vegetales, T6 (70% turba y 30% perlita) es el tratamiento que sigue presentando el desempeño más bajo.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente ensayo, se puede establecer que:

- Es posible obtener plantines de calidad, tanto en repollo como en lechuga, mediante el uso de sustratos a base de humus de lombriz.
- Plantines de repollo y lechuga, evidencian mayor precocidad en su desarrollo al momento del transplante al utilizar humus de lombriz como componente de sustratos en lugar de turba.
- Plantines de repollo y lechuga registran mayor crecimiento y desarrollo al momento del transplante, producto de la utilización de humus de lombriz en lugar de turba, lo que se mantiene en campo 21 días luego del transplante.
- El humus de lombriz como componente de sustratos sin la presencia de turba, presenta problemas de disgregación del pan o cepellón de la planta. Para lechuga y repollo 56% humus de lombriz, 14% turba y 30% perlita registra un excelente resultado como mezcla de sustratos para plantín.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M., M. Martínez, P. Martínez y J. Martínez. 1992. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. I Jornadas de sustratos. Actas de Horticultura 11: 141-154.
- Abad, M., P. Noguera y C. Carrión. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelos. pp. 113- 158. In: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3^{era} ed. Ediciones Mundi-Prensa, España. 911 p.
- Aburto, F. 2007. Evaluación de sustratos obtenidos a partir de la mezcla de un residuo orgánico bioprocesado con materiales comunes para la propagación de palto. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 56 p.
- Aillapan, E. 1997. Evaluación de sustratos para la preparación industrial de plantines hortícolas. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 70 p.
- Anicua-Sánchez, R., M.C. Gutiérrez-Castorena and P. Sánchez-García. 2008. Physical and micromorphological properties of organic and inorganic materials for preparing growing media. Acta Horticulturae 779: 577-582.
- Ansorena, J. 1994. Sustratos: Propiedades y caracterización. Grupo Mundi-Prensa, España. 172 p.
- Argüello, J.A., A. Ledesma, S.B. Núñez, C.H. Rodríguez and M.C. Díaz. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield and quality of 'Rosado paraguayó' garlic bulbs. HortScience 41(3): 589-592.
- Arouiee, H., B. Dehdashtizade, M. Azizi and G.H. Davarinejad. 2009. Influence of vermicompost on the growth of tomato transplants. Acta Horticulturae 809: 147-154.
- Atiyeh, R.M., S. Subler, C.A. Edwards, G. Bachman, J.D. Metzger, and W. Shuster. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. Pedobiologia 44: 579-590.
- Babaj, I., S. Kaçiu, G. Sallaku and A. Balliu. 2009. The influence of different substrate composition on growth parameters and dry mass partitioning of cucumber (*Cucumis sativum* L.) seedlings. Acta Horticulturae 830: 419-424.
- Bachman, G.R. and J.D. Metzger. 2007. Physical and chemical characteristics of a commercial potting substrate amended with vermicompost produced from two different manure sources. HortTechnology 17: 336-340.
- Basaure, P. 1995. Lombricultura: Manual técnico. Agroflor Lombricultura. Chile. 43 p.
- Basirat, M., S. Ghalebi, M. Meschi and M. Hosseini-Mazinani. 2008. A study of the effect of different media on durability and growth indices of rooted olive cuttings after transplanting. Acta Horticulturae 791: 197-202.

Brown, G.G. 1995. How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity?. *Plant and Soil* 170: 209-231.

Burés, S. 2005. Producción de sustratos. Parte I: Dinámica en la producción de sustratos y de las diversas materias primas utilizadas para su elaboración. 16p. *In*: Burés, S. y X. Martínez. Seminario internacional sobre sustratos para uso en agricultura. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 3 de Noviembre del 2005.

Caro, J. 2008. Producción de plantines de lechuga en agrolan y perlita expandida para uso en hidroponía. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 36 p.

Dane, J.H. and G.C. Topp. 2002. Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. Soil Science Society of America Book Serie Nr 5. Madison, Wisconsin, USA. 1692 p.

Domínguez, J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. pp. 401-424. *In*: C.A. Edwards (Ed). *Earthworm ecology*. 2nd ed. CRC Press, Florida, USA. 441 p.

Golchin, A., M. Nadi and V. Mozaffari. 2006. The effects of vermicomposts produced from various organic solid wastes on growth of pistachio seedlings. *Acta Horticulturae* 726: 301-305.

Gruda, N. and W.H. Schnitzler. 2001. Physical properties of wood fiber substrates and their effect on growth of lettuce seedlings (*Lactuca sativa* L. var. *Capitata* L.). *Acta Horticulturae* 548: 415-420.

Hidalgo, P.R. and R.L. Harkess. 2002. Earthworm castings as a substrate amendment for chrysanthemum production. *HortScience* 37(7): 1035-1039.

INE. Chile. 2007. Censo Nacional Agropecuario 2007. Disponible en <http://www.ine.cl>. Leído el 10 de enero de 2011.

INN. Chile. 2004. Norma Chilena de Compost 2880-2004 (Nch 2880-2004), Compost-Clasificación y Requisitos. 23p.

Martínez, X. 2005. Identificación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos y su relación con el crecimiento y desarrollo de las plantas. 20p *In*: Burés, S. y X. Martínez. Seminario internacional sobre sustratos para uso en agricultura. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 3 de Noviembre del 2005.

McGinnis, M.S., S.L. Warren, and T.E. Bilderback. 2009. Replacing conventional nursery crop nutrient inputs with vermicompost for container production of *Hibiscus moscheutos* L. 'Luna Blush'. *HortScience* 44(6): 1698-1703.

Messerer, D. 1998. Sustratos alternativos en la propagación de palto (*Persea americana*). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. 61 p.

Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica, México. 589 p.

- Moreno, A., M.T. Valdés y T. Zarate. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica (Chile)* 65(1): 26-34.
- Navas, C. 2006. Efecto de diferentes volúmenes de alvéolo en la producción de plantines de brócoli, coliflor y repollo. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 34 p.
- Ndegwa, P.M., S.A. Thompson and K.C. Das. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology* 71: 5-12.
- Paul, L.C. and J.D. Metzger. 2005. Impact of vermicompost on vegetable transplant quality. *HortScience* 40(7): 2020-2023.
- Pochon, J. et P. Tardieux. 1962. *Techniques d'analyse en microbiologie du sol*. Francia Paris. Tourrelle St-Mande (Ed). 111 p.
- Saha, R., S. Palit, B.C. Ghosh and B.N. Mitra. 2005. Performance of *Aloe vera* as influenced by organic and inorganic sources of fertilizer supplied through fertigation. *Acta Horticulturae* 676: 171-175.
- Salvador, E.D., K. Minami and S.O. Jadoski. 2005. Evaluation of different substrates on african violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) growth. *Acta Horticulturae* 697: 125-132.
- Salvador, E.D. and K. Minami. 2008. Evaluation of different substrates on gloxinia (*Sinningia speciosa* Lood. Hiern.) growth. *Acta Horticulturae* 779: 555-560.
- Stuardo, A. 2003. Sustratos a base de desechos orgánicos para la producción de plántulas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en contenedor. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Santiago. 76 p.
- Varnero, M. 1990. *Microbiología de suelos: Evaluación de la actividad microbiana*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Ingeniería y Suelos. 10 p.
- Zapata, N., F. Guerrero y A. Polo. 2005. Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustratos de cultivo. *Agricultura Técnica (Chile)* 65(4): 378-387.
- Zucconi, F., A. Pera, M. Forte and M. De Bertoli. 1981. Evaluating toxicity in immature compost. *Biocycle* (22): 54-57.