

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**Evaluación de sustratos obtenidos a partir de la
mezcla de un residuo orgánico bioprocesado con
materiales comunes para la propagación de Palto.**

Felipe Andrés Aburto Guerrero

Santiago, Chile

2007

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Evaluación de sustratos obtenidos a partir de la mezcla de un residuo orgánico bioprocesado con materiales comunes para la propagación de Palto.

Evaluation of six Avocado propagation substrates containing organic and common nursery materials.

Felipe Andrés Aburto Guerrero

Santiago, Chile

2007

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**Evaluación de sustratos obtenidos a partir de la mezcla
de un residuo orgánico bioprocesado con materiales
comunes para la propagación de Palto**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero Agrónomo
Mención: Manejo de suelos y aguas

Felipe Andrés Aburto Guerrero

	Calificaciones
Profesora Guía Maria Loreto Prat D. Ing. Agrónomo Mg.	6,9
Profesores Evaluadores Oscar Seguel Ing. Agrónomo Dr.	6,8
Wilfredo Vera E. Ing. Agrónomo M.S.	7,0
Colaboradores Loreto Cánaves S. Ing. Agrónomo M.S Maria Varnero M. Químico Farmacéutico	

Santiago, Chile

2007

AGRADECIMIENTOS

Éste trabajo está dedicado a mi familia, por su constante apoyo, especialmente a mis padres por sus grandes esfuerzos y sacrificios para que pudiera lograr ésta meta. A mis hermanos, por su amistad, compañía y colaboración. A Claudia por su apoyo y constante ánimo.

Agradecer sinceramente la colaboración de mi profesora guía, Loreto Prat, quien me entregó gran apoyo y libertad en mi trabajo. A la Sra. Loreto Canaves por su gran colaboración y ayuda. A Sr. Oscar Seguel y Sra. M^a Teresa Varnero, por sus aportes y correcciones. A Alejandro Salas y Miguel Madrid por su colaboración y compañía durante el periodo experimental; y a todos quiénes hicieron posible el desarrollo de éste trabajo.

“Hay algo para todos nosotros en
el mundo.

Hay cosas grandes y otras más
pequeñas que realizar: y es la próxima
tarea que tenemos que emprender.
Si no puedes ser carretera sé sendero.
Si no puedes ser sol, sé una estrella;
no es por el tamaño como se tiene éxito
o fracaso, pero por encima de todo;
sé lo mejor de lo que fueres”

(Douglas Malloch)

INDICE

INDICE	0
RESUMEN	3
PALABRAS CLAVE.....	3
ABSTRACT	4
KEY WORDS	4
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVO PRINCIPAL.....	6
OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	7
MATERIALES Y METODO	8
LUGAR DE ESTUDIO	8
MATERIALES	8
<i>Materiales de Laboratorio</i>	9
MÉTODO.....	10
<i>Caracterización de las mezclas</i>	11
Determinación del pH	11
Determinación de Conductividad eléctrica.....	11
Determinación de pH y CE en el lixiviado.....	11
Determinación de pH y CE por profundidad de maceta	11
Determinación de materia orgánica.....	11
Determinación de carbono orgánico.....	12
Determinación de nitrógeno total, amoniacal y nítrico.....	12
Determinación de relación carbono/nitrógeno.....	12
Ensayo de respirometría.....	12
Determinación de densidad aparente, porosidad, espacio poroso, espacio libre con aire y capacidad de almacenamiento de agua.....	13
Determinación densidad aparente y porosidad del contenedor.....	14
Análisis granulométrico	15
<i>Evaluaciones del material vegetal</i>	15
Longitud de tallos.....	15
Diámetro.....	15
Materia seca radical y aérea	15
Análisis foliar.....	16
<i>Diseño experimental y Análisis estadístico</i>	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS	17
<i>Parámetros Físicos</i>	17
Densidad aparente (Da), espacio poroso (EP), volumen de aire (VA) y capacidad de almacenamiento de agua (CAA).....	17
Análisis Granulométrico.....	21
<i>Parámetros Químicos</i>	24
Conductividad Eléctrica y pH	24
Evolución del pH y la conductividad eléctrica en el lixiviado.....	27
Evaluación de pH y CE según la profundidad de maceta.....	29
Contenido de MO y relación C/N.....	30
Ensayo respirometría.....	32
EVALUACIONES DEL MATERIAL VEGETAL.....	33

<i>Diámetro y altura de plantas</i>	33
<i>Materia seca</i>	37
<i>Análisis Nutricional</i>	41
CONCLUSIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	45
APENDICES	52
ANEXOS	55

RESUMEN

En el presente estudio se evaluaron seis sustratos, con el objeto de determinar el material que permitía un mayor crecimiento, manteniendo el manejo usual en la propagación de paltos para la zona de Quillota. Los sustratos se obtuvieron de la mezcla de un residuo agrícola bioprocesado, con tres materiales comúnmente utilizados por viveristas.

Se planteó como hipótesis, que los sustratos en contenedores, modifican sus propiedades físicas y químicas, afectando el crecimiento del palto durante el periodo de propagación.

El estudio planteó como primer objetivo caracterizar los sustratos física, biológica y químicamente, para establecer parámetros físicos y químicos adecuados para la propagación del palto. En segundo término, se evaluó el crecimiento de las plantas en las distintas mezclas. Conjuntamente a lo antes señalado, se determinó la estabilidad del sustrato por medio de índices de madurez biológica.

Los sustratos correspondieron a mezclas de composición variable que incluían como sustrato base compost de orujo de uva en mezcla con arena, turba y/o fibra de coco.

Se determinó mensualmente el diámetro y altura de las plantas durante su crecimiento, además de la obtención de la materia seca radical y aérea de las plantas, hasta que estas alcanzaron su tamaño de comercialización.

El ensayo se realizó bajo un diseño completamente al azar con 20 repeticiones. Se realizó análisis de varianza para los diferentes variables y análisis de correlación entre ellas.

Los resultados muestran que los sustratos se mantienen estables biológicamente, pero modifican sus características físicas como densidad aparente y espacio poroso; además, se modifican algunas características químicas como CE y pH. Se observó que la mayoría de los sustratos alternativos al usado por el vivero (testigo), presentan mejores resultados en la mayoría de las variables de crecimiento evaluadas, como crecimiento del patrón e injerto y biomasa aérea.

La presente memoria forma parte de la segunda etapa de investigación del proyecto FONDEF DO3I1063, Elaboración de sustratos especializados para uso agrícola, a partir de residuos orgánicos bioprocesados.

Palabras clave

Persea americana Mill, Compost, orujo de uva, fibra de coco, arena, turba, medio de crecimiento, caracterización de mezclas.

ABSTRACT

Six new avocado plant propagation substrates were evaluated at nursery in the Quillota Valley. The new substrates considered materials commonly available on this zone as: compost (organic bio-processed material), coconut fiber, river sand and Canadian peat moss. The traditional substrate used by the nursery was considered as control.

The main aims of this study were (i) to determine biological, physical and chemical properties of each mixture, (ii) to evaluate avocado plant growth on each mixture; and (iii) to determine its biological stability through CO₂ gas emission.

The trial was maintained during a approximately period of 9 months from pregerminated seeds to plants ready to be sold. Rootstock diameter and height were evaluated monthly, dry weight of root and shoot were evaluated at the end of the growth season.

The trial was carried out under a completely random design with 20 replications. Growth variables data were analyzed using ANOVA test ($p > 0,05$) and Pearson's correlation coefficients (R) were calculated to reveal correlation between variables.

Substrates showed to maintain their biological stability but physical (bulk density, pore space, water holding capacity and free airspace) and chemical (EC and pH) properties were strongly modified. The new proposed mixtures showed better plant growth than the nursery traditional propagation media.

This statement is part of the second phase of the FONDEF DO3I1063 project research; Specializing in growing media elaboration for agricultural use, for bioprocesses organic wastes.

Key Words

Persea americana Mill, winery pressing waste, river sand, coconut fiber, Canadian peat moss, growing media, mixes characterization.

INTRODUCCIÓN

El término sustrato se aplica en agricultura para definir a todo material sólido distinto del suelo, natural o sintético, mineral u orgánico, que puesto en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando por tanto un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de nutrición vegetal (Morales, 1995; Abad *et al.*, 2004 y Martínez, 2005).

El sustrato de cultivo está constituido por un material poroso, en el que se desarrolla el sistema radicular de la planta, y del que ésta adquiere el agua y los nutrientes que necesita para su desarrollo y el oxígeno necesario para el funcionamiento correcto del sistema radicular. Para Gras (1987) y Nelson (1991), el soporte del cultivo (suelo o sustrato) cumple cuatro funciones: asegurar el anclaje mecánico de la planta, constituir la reserva hídrica de la que las raíces toman el agua, proporcionar el oxígeno necesario para su correcto funcionamiento y asegurar la nutrición mineral de la planta.

En el país existe una serie de materiales comúnmente usados en la elaboración de sustratos de vivero, entre ellos, los más utilizados son: arena de río, suelo de cultivo, corteza de pino, acícula de pino, turba y tierra de hoja. En los últimos años se ha observado una apreciable disminución de la disponibilidad de ellos, especialmente de los últimos tres materiales mencionados (Messerer, 1998).

Hoy en día, para el rubro de viveristas, la elección de un sustrato de calidad, es uno de los aspectos más importantes a considerar para la propagación de plantas (Birnbaum, 1992; Styer and Koranski, 1997; Greer, 2005), siendo necesario que el medio de propagación reúna las siguientes características: medio suficientemente macizo y denso, volumen constante, que retenga suficiente agua, porosidad suficiente, libre de semillas de malezas, nemátodos y otros patógenos, baja salinidad, inocuo y que provea nutrientes en forma adecuada (Hartmann y Kester, 1999; Abad *et al.*, 2004).

Las características físicas y químicas óptimas para el crecimiento vegetal, que muestran los sustratos en condiciones de campo, son muy diferentes a las que podrían presentarse en condiciones de maceta o en camas de propagación, donde la porosidad y la aireación son menores, ocasionando menor crecimiento e incluso la muerte de las plantas (Bunt, 1960; Biran y Eliasaf, 1980; Verdonck *et al.*, 1984; Hanan *et al.*, 1981; Brown y Pokorny, 1975; Spomer, 1974).

En un sustrato elaborado, el componente orgánico es el que usualmente favorece la retención de agua y de nutrientes, pero, a su vez, disminuye la porosidad y aireación de las raíces cuando está húmedo. En cambio, el material mineral, comúnmente otorga peso y solidez para mantener la planta erecta y un adecuado espacio poroso para una buena aireación (Dickey *et al.*, 1978).

En la práctica, para valorar la calidad de un sustrato no basta con conocer las propiedades generales de sus principales componentes, sino que es necesario determinarlas para cada ingrediente o mezcla particular (Ansorena, 1994).

Por todo lo mencionado y en busca de una mejor planta terminada, resulta hoy indispensable la elaboración de mezclas adecuadas para los requerimientos de cada cultivo, respecto al manejo usual planteado para éste.

La utilización de plantas de *Persea americana Mill.* en la presente investigación, se debe a que es uno de los frutales más sensibles a las condiciones físicas y químicas del medio de propagación (Messerer, 1998), además de presentar uno de los mayores incrementos de superficie plantada en nuestro país (Ortúzar, 1996). En la última década la superficie plantadas con paltos ha aumentado de 8.190 ha en 1990 a 24.000 en 2004, con proyección de seguir creciendo debido a la alta rentabilidad de este cultivo orientado a la exportación (Lemus *et al.*, 2005).

México es el principal productor de paltas en el mundo (Knight, 2002 y Lemus *et al.*, 2005). En general, el cultivo de paltos en México se produce en suelos del orden Andisol y debido a sus propiedades físicas, químicas y biológicas son considerados como el sustrato óptimo para la producción de palto en Michoacán (Aguilera-Montañez y Salazar-García, 1991). Los materiales que constituyen estos suelos otorgan características químicas y físicas únicas de los Andisoles, como son la carga variable, alta retención de fósforo, baja densidad aparente (menor a 0,9 Mg/m³), buena friabilidad, untuosidad y formación de agregados estables (Wolstenholme, 2002). Debido a esto, se podrían definir como deseables, para un sustrato, las características que se encontrarían en dichos suelos. Sin embargo, el palto es capaz de crecer en una gran variabilidad de suelos por lo cual resultan recomendables características más generales como un rápido drenaje, una capacidad media de almacenamiento de agua y una buena aireación (Wolstenholme, 2002).

En el presente estudio se evaluaron seis mezclas como forma de determinar comparativamente cuál de estas constituye el mejor medio de propagación, expresado en parámetros de crecimiento, considerando el manejo común en la propagación de paltos de la zona de estudio.

Se plantea como hipótesis, que los sustratos en contenedores, modifican sus propiedades físicas y químicas, afectando el crecimiento del palto durante el periodo de propagación.

Objetivo Principal

- Determinar cuál de los sustratos evaluados permite obtener mejores resultados de crecimiento en las plantas de paltos, patrón Mexicana.

Objetivos secundarios

- Caracterizar física, química y biológicamente las mezclas y su evolución durante el desarrollo de las plantas.
- Evaluar el crecimiento y desarrollo de las plantas de palto en las distintas mezclas.

MATERIALES Y METODO

Lugar de estudio

El estudio se realizó desde Junio del 2005 hasta Julio del 2006, en instalaciones de Viveros San José, Fundo Lara (32°49'54.64"S; 71°14'11.22"W), ubicado en la localidad de La Cruz, Provincia de Quillota, Región de Valparaíso.

La evaluación de los materiales, sustratos y plantas terminadas se realizó en los laboratorios de Reciclaje Orgánico y de Anatomía Vegetal, ambos pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, la que se ubica en la ciudad de Santiago, Región Metropolitana.

La evaluación del contenido de materia orgánica, relación C/N, N-amoniaco, N-nítrico y análisis foliar se realizaron en Laboratorios de Análisis Agrolab.

Materiales

Se trabajó con cuatro materiales, considerados como componentes para la elaboración de sustratos. El material base correspondió a un compost originado a partir de un proceso biológico degradativo controlado, de residuos orgánicos vitivinícolas, correspondiente a un compost clase A (Norma chilena 2880). Los restantes componentes de las mezclas correspondieron a: arena fina del estero Lampa marca Anasac; turba rubia marca Sunshine, de origen canadiense y fibra de coco marca Amafibra, de origen brasileño, los cuales se encontraban desinfectados de origen.

El sustrato testigo correspondió a una mezcla de materiales disponibles en la zona de estudio y comercializado por Agrícola Aconcagua Ltda. Este sustrato estaba compuesto en mayor volumen por corteza, aserrín y viruta de pino, en segundo lugar arena y finalmente una menor proporción de material mineral extraído del suelo. Éste sustrato se encontraba desinfectado mediante uso de bromuro de metilo. El Cuadro 1 muestra los materiales componentes de cada mezcla.

Cuadro 1. Materiales que componen cada tratamiento o mezcla. (✓: Indica que la mezcla contiene dicho material)

Tratamiento	Material					
	Turba	Arena	Compost	F. de Coco	Mat. Suelo	Residuos Ind. Pino
1	---	✓	✓	---	---	---
2	✓ ¹	✓	✓	---	---	---
3	✓	✓	✓	✓	---	---
4	✓	---	✓	✓	---	---
5	---	✓	✓	✓	---	---
6 (Testigo)	---	✓	---	---	✓	✓

¹No se expresan las composiciones porcentuales por estar sometidas a un proceso de patentamiento.

Todos los materiales fueron mezclados en distintas proporciones de manera de definir cinco mezclas que junto al testigo (mezcla comercial utilizado regularmente en el vivero) fueron caracterizadas física, química y biológicamente, y puestos en bolsas de polietileno transparente de baja densidad (LDPE) de volumen conocido (23 x 43 cm), cubiertos a su vez por una segunda bolsa de LDPE negro (24 x 43 cm).

Materiales de Laboratorio

En la caracterización de las mezclas anteriormente descritas se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos:

- Balanza digital E 400 D, marca Ohaus, fabricación estadounidense. Capacidad máxima 400 g, precisión $\pm 0,01$ g.
- Balanza digital EOB120, marca Ohaus, fabricación suiza. Capacidad máxima 2100 g, precisión $\pm 0,01$ g.
- Balanza digital de precisión HA-1204, Marca AND, fabricación japonesa. Capacidad máxima 120 g, precisión $\pm 0,0001$ g
- PH-metro digital HI 991001, marca Hanna, fabricación rumana, precisión $\pm 0,01$.
- Conductivímetro digital HI99301, marca Hanna, fabricación rumana, precisión $\pm 0,01$ dS/m.
- Agitador mecánico de tamices, marca Podmores enginers stokes or trend, fabricación inglesa.
- Mufla 62730-26 marca Thermolyne, fabricación estadounidense.
- Estufa de secado por convección 11-30 marca Memmert, fabricación alemana.
- Incubadora 3554-18, marca Lab-Line instruments, fabricación estadounidense.
- Pie de metro digital, precisión 0,001 mm, marca Vetto.
- Bureta graduada.
- Tamices con tamaños de malla de 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 y 19 mm., marca Wilson Company Inc.
- Trompo mezclador eléctrico.
- Probetas graduadas, marca Pyrex, de 500 cm³, 250 cm³ y 100 cm³ con precisión de ± 5 cm³.
- Crisoles de porcelana 15 cc.
- Reactivos (NaOH 0,2 N, HCL 0,1 N, Timoftaleina 1 %, Ba Cl₂).
- Agua destilada.
- Papel filtro, grado 2, marca Advantec MFS, Inc., fabricación estadounidense.
- Embudos de vidrio.
- Embudo plástico
- Tuberías PVC de 110 mm, marca Vinilit, fabricación chilena.
- Tapas para tuberías de PVC de 110 mm, marca Vinilit, fabricación chilena.
- Depósitos plásticos de 500 cm³.
- Bandeja de Aluminio, vasos plásticos de 50cc y platos bajos desechables.
- Cinta adhesiva para cañerías, marca 3M, fabricación canadiense.

Método

Se realizaron mezclas del residuo vitivinícola bioprocesado con los restantes materiales en distintas proporciones en un trompo mezclador eléctrico. Estos materiales fueron llevados posteriormente en sacos de 70 L al lugar donde se montaría el ensayo.

El experimento fue montado, en un comienzo, en invernadero, en donde se dispusieron las distintas mezclas de sustratos en bolsas de 7 L transparentes, dejando 5 cm del borde superior de la bolsa, estas se cubrieron por bolsas negras. El sistema de doble bolsa permitió observar el desarrollo radical de las plantas. Llegado el mes de Octubre (mediados de primavera) se descubrió el plástico que cubría el invernadero, quedando las plantas bajo condiciones ambientales.

Las semillas fueron colectadas con fruto por personal del vivero en un huerto propio, teniendo especial cuidado con que correspondieran a la variedad Mexícola. Todas las semillas fueron desprovistas de su testa y se les practicó un corte basal y apical, posteriormente fueron puestas a germinar en cajas plásticas con aserrín de pino de acuerdo al proceso usualmente utilizado en el vivero. Para seleccionar las semillas pre-germinadas, se consideró un peso promedio de 400 semillas, posteriormente se eligieron las 200 semillas que se encontraban más cercanas al peso promedio, esto se realizó para disminuir variaciones de vigor entre las semillas. De estas doscientas se seleccionaron al azar 120 semillas que fueron posteriormente puestas en los sustratos.

Las semillas fueron sembradas el 21 de Julio del 2005 y una vez que la radícula logró un tamaño sobre 4 cm de largo, se procedió al repique de estas en las mezclas a ensayar, el día 29 de Junio del 2005.

El 4 de enero del 2006, se consideró que las plantas contaban con el crecimiento adecuado para ser injertadas, teniendo como parámetro que a lo menos el 80% de las plantas hubiesen alcanzado un diámetro mayor a 7,5 mm a los 15 cm desde la semilla. Considerando lo anterior, se procedió a realizar un injerto de aproximación por empalme lateral con la variedad Hass (Apéndice I).

Durante el crecimiento de las plantas todas las mezclas se sometieron a igual manejo, el cual correspondió al realizado usualmente en el vivero. El riego fue localizado, de alta frecuencia, mediante micro tubo con un caudal estimado de 2 L h^{-1} .

La fertilización se realizó en forma localizada mediante riego en dosis controlada por el vivero. Los fertilizantes durante las primeras semanas correspondieron a una mezcla de nitrato de potasio, nitrato de magnesio, nitrato de calcio y cloro. Posteriormente, durante un mes se aplicó nitrógeno en forma de nitratos, finalizando con una aplicación de ácido fosfórico el 10 de noviembre del 2005. Durante los meses siguientes hasta el 28 de Febrero, se realizó una aplicación continua de Ultrasol Crecimiento® para terminar con dos aplicaciones de Ultrasol® Post cosecha® (Apéndice II).

Todas las aplicaciones de plaguicidas se realizaron según el criterio del vivero, mediante una bomba de espalda. Las aplicaciones se programaron para controlar plagas de: Chanchitos Blancos, pulgones y conchuelas. Los productos comerciales con sus dosis y fechas de aplicación se muestran en el Apéndice III.

Finalmente, una vez que la mayoría de las plantas alcanzó un crecimiento en altura del injerto mayor a los 35 cm, se consideró que las plantas se encontraban aptas para la venta (18 de Abril del 2006) por lo cual se dispuso su traslado a los laboratorios para ser sometidas a los análisis de planta terminada.

Caracterización de las mezclas

Determinación del pH

Se analizó mediante peachímetro para cada material y para la mezcla obtenida previa a la siembra, en una suspensión-solución en relación 1:5 en agua destilada, previamente filtrada.

Determinación de Conductividad eléctrica

Se analizó mediante conductivímetro para cada material y para la mezcla obtenida previa a la siembra en el mismo filtrado de una suspensión-solución en relación 1:5 en agua destilada, utilizado para la medición de pH.

Determinación de pH y CE en el lixiviado

Mensualmente se realizó un riego manual con agua extraída directamente del pozo (sin fertilizantes), hasta que se obtuviera un lixiviado, esta solución era colectada en contenedores bajos donde se procedía a medir el valor de pH y CE, con peachímetro y conductivímetro, respectivamente.

Determinación de pH y CE por profundidad de maceta

Al finalizar el ensayo se procedió a determinar posibles cambios de éstas variables a diferentes niveles de profundidad (cada 5 cm), ambas mediciones se realizaron un filtrado de una suspensión-solución con relación 1:5 en agua destilada. Las muestras se extrajeron de las mismas bolsas usadas para la determinación de densidad aparente (Da) a diferentes alturas.

Determinación de materia orgánica

Se determinó el porcentaje de materia orgánica (MO) para cada uno de los sustratos mediante el método de calcinación descrito en USCC (2001).

Muestras de 5g de cada sustrato, se secaron en estufa y se dispusieron en crisoles. Antes de introducirlos en la mufla se determinó el peso del crisol y el peso del crisol junto al sustrato, en una balanza de 0,001g de precisión. Luego se mantuvieron al interior de una

mufla por dos horas a 600°C. Una vez transcurrido este tiempo se pesaron nuevamente los crisoles junto con el material previo a ser sometido a calcinación y las cenizas que quedaron luego de este proceso, descontando el peso del crisol:

$$\text{MO [\%]} = 100\% * \frac{\text{peso}_{\text{material inicial}} [\text{g}] - \text{peso}_{\text{cenizas}} [\text{g}]}{\text{peso}_{\text{material inicial}} [\text{g}]}$$

Determinación de carbono orgánico

El método utilizado considera que la materia orgánica tiene en promedio, un 55% de carbono orgánico (Adams *et al.*, 1951, citado por Santibáñez 2002). Por lo tanto, para determinar el contenido de carbono orgánico se dividió por 1,8 el contenido de materia orgánica de la muestra.

Determinación de nitrógeno total, amoniacal y nítrico.

El contenido de nitrógeno total en conjunto con su forma nítrica y amoniacal se determinó mediante el método descrito por USCC (2001).

Determinación de relación carbono/nitrógeno

La relación entre el contenido de nitrógeno total (que incluye nitrógeno mineral y orgánico) y carbono orgánico contenido en los sustratos, corresponde al cociente de ambos valores.

Ensayo de respirometría

En el ensayo de respirometría se evaluó la emisión de mg de C-CO₂ g⁻¹MO día⁻¹ desde cada una de las mezclas. Según lo señalado por la adaptación de Varnero (1990) a la metodología de Pochon y Tardieux (1962). La determinación se realizó con 20 mg de material orgánico, base seca ajustado al 70% de contenido de agua en base a masa.

Para medir el desprendimiento de CO₂ se dispusieron de 20g del material orgánico, base húmeda, ajustado en un 70% de contenido de agua en un frasco plástico de 500cm³ con tapa hermética, luego se introdujo un vaso de 50 cm³ con 10 mL de NaOH 0,2N. En forma paralela se tiene un control que contiene solo el vaso con 10 mL de NaOH 0,2 N. El material contenido en el frasco se incubó a 28°C; al cabo de 24 h, se retiró el vaso de 50 cm³ y se procedió a agregar 2mL de BaCl₂ al 20% y 5 gotas de timoftaleina al 1%. A continuación se comenzó a titular con HCl 0,1 N

La titulación representó al NaOH que no reaccionó con el CO₂. De acuerdo a esto, la mitad de los mililitros de HCl 0,1N gastados en la titulación corresponden al NaOH que no reaccionó con el CO₂. Entonces por diferencia, se obtuvieron los mililitros de NaOH 0,2 N que sí reaccionaron con el CO₂.

Para calcular los mg de C-CO₂ g⁻¹MO día⁻¹ se tiene que:

1mL de NaOH 0,2 N que reacciona con el CO₂, equivale a 1,2 mg de C-CO₂, luego se expresó el resultado para 1g de MO de cada residuo, corrigiendo por el contenido de agua.

Determinación de densidad aparente, porosidad, espacio poroso, espacio libre con aire y capacidad de almacenamiento de agua.

Considerando que el material base evaluado fue un compost de residuo vitivinícola y teniendo presente que es el único material que se encuentra presente en todas las mezclas propuestas; la determinación de estas propiedades se realizó mediante el método descrito por USCC (2001). Debido a la inexistencia del instrumental necesario se realizó una adaptación del método y conjuntamente se disminuyó a la mitad el volumen de muestra.

Se diseñaron los recipientes con tuberías sanitarias de PVC de 110 mm de diámetro exterior, las cuales fueron cortadas para que en su interior fueran capaces de contener un volumen de 1500 cm³. Luego, fueron cubiertas en un extremo con una tapa de tuberías, del mismo diámetro, a la cual se le taladraron 4 agujeros de 3 mm cada uno, distribuidos uniformemente.

Los vasos fueron graduados con una precisión de ± 5 cm³. Como vasos de drenaje se utilizaron recipientes plásticos de baja altura, capaces de contener 1000 cm³.

Los vasos graduados de 1500 cm³ fueron llenados con las mezclas en dos alícuotas de 350 cm³ y una de 300 cm³ hasta completar 1000 cm³ de muestra (Anexo IV). Las alícuotas se transfirieron a través de un embudo con 15 cm de apertura superior y 2,5 de apertura en el vástago. Bajo el vaso a ser llenado se dispuso de una lámina de poli-estireno denso de 0,6mm.

Se tuvo especial cuidado de que la muestra no fuera compactada, siguiendo todos los pasos descritos en el método, pero a pesar de esto la muestra tendió a disminuir mínimamente su volumen. Por lo anterior, para el cálculo de densidad aparente se modificó el volumen inicial de 1000cm³ a lo que realmente fue ocupado por la muestra. Se tomó una alícuota de 50 cm³ de cada sustrato, las cuales se pesaron (A_{50}) y se dispusieron en recipientes de aluminio previamente tarados, luego fueron llevados a estufa a $65 \pm 5^\circ\text{C}$ por 72 horas, con lo cual se obtuvo el peso seco de la muestra (O_{50}).

La muestra contenida en el vaso fue pesada (A_{1000}) y se registró su volumen (V_{1000}), posteriormente, se le fue agregando agua destilada lentamente, hasta que alcanzara a formar un espejo de agua en su superficie, al cabo de cinco minutos y si el espejo de agua desaparecía, se volvía a repetir la operación. Consecutivamente, se procedió a destapar los agujeros de drenaje, que se que se encontraban sellados con cinta adhesiva para tuberías, para así dejar drenar libremente por 30 minutos. Posteriormente se volvió a repetir el procedimiento de saturación con agua destilada y una vez que la muestra se encontró saturada se registró el peso (W_{nd}) y volumen (V_{nd}). Finalmente se deja drenar la muestra por cuatro horas y se registra el volumen (V_{dd}) y peso (M_{dd}) de la muestra después del drenaje. Para el cálculo de cada una de las variables se utilizaron las siguientes fórmulas:

Determinación de materia seca de la muestra (O_{1000}):

$$O_{1000} = A_{1000} * (O_{50} / A_{50}) \quad [\text{g}]$$

Densidad Aparente (Da):

$$Da = O_{1000} / V_{1000} \quad [\text{Mg/m}^3]$$

Porcentaje espacio poroso (EP):

$$EP = \{ [W_{nd} - O_{1000} + (V_{1000} - V_{nd})] / V_{1000} \} * 100 \quad [\%]$$

Porcentaje de volumen de espacio libre con aire (VEA):

$$VEA = (W_{ad} - W_{dd}) / V_{1000} \quad [\%]$$

Porcentaje de capacidad de almacenamiento de agua, en base al volumen (CAA):

$$CAA = EP - VEA \quad [\%]$$

Determinación densidad aparente y porosidad del contenedor

El contenedor posee un volumen máximo conocido, pero a pesar de aquello se consideró necesario determinar cuanto de este volumen es realmente ocupado por las mezclas. Al mismo tiempo, la densidad aparente resulta una buena forma de determinar cambios en la porosidad disponible al interior del contenedor¹ una vez terminado el ensayo.

Considerando que el contenedor presenta una forma y tamaño conocido se realizó el siguiente método para determinación de la densidad aparente de las mezclas en el contenedor.

Mediante el uso de un pie de metro digital se procedió a tomar tres medidas del diámetro externo (D^e) del contenedor con la mezcla y la planta en su interior a distancias descendentes de 6 cm. Al ser las paredes del contenedor de un diámetro menor al rango de precisión del instrumento (menor a 0,01mm) se descartó su valor en el cálculo. Considerando la forma cilíndrica de los contenedores, el volumen se obtuvo de la siguiente relación:

$$V_{nivel} = 6 * (\pi * (D^e/2)^2) [\text{cm}^3]$$

Posteriormente se marcó el contenedor desde la superficie de la mezcla descendiendo cada 6 cm, estableciéndose así 5 niveles. Enseguida se procedió a cortar el primer nivel del contenedor con bisturí para posteriormente separar con extremo cuidado las raíces del sustrato (Apéndice V). El material extraído se almacenó en bolsas de papel previamente pesadas. Una vez terminado el nivel, la bolsa fue pesada y llevada a estufa por 48 h a $65 \pm 5^\circ\text{C}$ posterior a lo cual se pesó. El procedimiento se siguió de la misma manera para los restantes niveles. La densidad aparente se obtuvo de la siguiente relación.

$$Da = \frac{MS_{nivel}}{V_{nivel}} \quad \begin{matrix} [\text{Mg}] \\ [\text{m}^3] \end{matrix}$$

¹ Seguel, O. Ingeniero Agrónomo. Dr., especialista en física de suelos. Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería y suelos. 2006 (Comunicación Personal).

Análisis granulométrico

Se determinó la distribución de tamaño de partículas con un juego de tamices con mallas de 16; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25 y 0,125 mm. Los pesos colectados por cada tamiz fueron pesados, posteriormente se construyeron curvas de frecuencia acumulada y se obtuvo el diámetro medio de partícula (D_{50}) que corresponde al percentil cincuentavo de una distribución acumulativa. Conjuntamente se obtuvo el diámetro medio geométrico de partículas (D_G) y la desviación estándar geométrica (σ_G) mediante el uso de las siguientes fórmulas:

$$D_G = \exp \left(0,01 * \sum_{i=1}^n F_p * \ln M_i \right) \quad [\text{mm}]$$

$$\sigma_G = \exp \left[0,01 * \sum_{i=1}^n F_p * \ln^2 M_i - \left(0,01 * \sum_{i=1}^n F_p * \ln M_i \right)^2 \right]^{1/2} \quad [\text{adimensional}]$$

Donde:

M_i = media aritmética del tamaño de dos tamices consecutivos.

F_p = frecuencia parcial de partículas con tamaños entre M_i y M_{i-1} .

Evaluaciones del material vegetal

Para determinar el efecto de las mezclas, se evaluaron distintos parámetros de crecimiento en las plantas creciendo en ellos.

Longitud de tallos

Se incluyó en esta medición el tallo principal antes de la injertación. En el momento previo a la injertación se evaluó el patrón. Posterior a la injertación, se evaluó el injerto y a la planta completa, debido a que los patrones fueron decapitados dos semanas después de injertadas las plantas.

Diámetro

Se realizó a la altura de injertación con pie de metro digital, a 15 cm desde la semilla, una vez que las plantas alcanzaron sobre 20 cm de altura. Además, posterior a la injertación se determinó el diámetro a 5 cm desde la zona de unión. Dicha medición se realizó mensualmente hasta el tamaño comercial (altura del injerto mayor a 30 cm).

La injertación se realizó mediante empalme lateral, que es el que comúnmente se utiliza en la especie y en la zona de estudio (Apéndice I).

Materia seca radical y aérea

Las plantas fueron sacadas del contenedor y separadas en tres partes: raíz, patrón e injerto. Cada una de las partes fueron puestas en bolsas de papel previamente taradas y introducidas en estufa por 72h a $65 \pm 5^\circ\text{C}$. Una vez secadas las muestras fueron pesadas. En el caso de las raíces se consideró necesario separarlas en dos rangos: raíces finas (diámetro menor a 2 mm) y raíces medias a gruesas (diámetro mayor a 2 mm).

Análisis foliar

Se extrajeron las segundas hojas desde la base de cada injerto y se conformó una muestra compuesta a la cual se le realizó un análisis foliar de los contenidos de los siguientes elementos: Nitrógeno total mediante el método de Kjeldahl; Fósforo y Boro por fotolorimetría; Potasio, Sodio, Calcio, Magnesio, Zinc, Manganeso, Hierro y Cobre mediante espectrofotometría de absorción atómica y Cloro mediante potenciometría.

Diseño experimental y Análisis estadístico

El ensayo se realizó bajo un diseño completamente al azar, con seis tratamientos o mezclas, de 20 repeticiones cada uno, donde la unidad experimental correspondió a una planta. A cada material y mezcla, se les realizaron análisis físicos, químicos y biológicos con tres repeticiones por tratamiento.

La información se analizó mediante ANDEVA con un nivel de confianza de 95%, al encontrarse diferencias significativas se usó un test de rango múltiple Student-Neuman-Kevls (SNK), además se evaluó la asociación lineal entre las variables por medio del análisis de correlación de Pearson o Spearman. Cuando existió dependencia entre variables se realizó una regresión entre estas (Siegel, 1956; Zar, 1974).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las mezclas

Parámetros Físicos.

Densidad aparente (Da), espacio poroso (EP), volumen de aire (VA) y capacidad de almacenamiento de agua (CAA).

Los datos obtenidos para la Da en los diferentes tratamientos se muestran en el Cuadro 2. La mezcla 4 presenta una Da significativamente menor que el resto de las mezclas, mientras que la mezcla 1 presentó el valor de Da promedio significativamente mayor. Estos resultados muestran que la mezcla constituida sólo por materiales orgánicos (mezcla 4), presenta los menores valores de Da, mientras que los tratamientos en que parte de composición es mineral (mezclas 1,2,3,5 y testigo) lograrían aumentar su masa en relación a su volumen aparente.

En general para el palto se recomienda una densidad aparente en suelos entre 0,7 y 0,8 Mg/m³ (Sale, 1997, citado por Wolstentholme, 2002). Sin embargo, las condiciones de campo son diferentes a las condiciones más restrictivas impuestas en un contenedor, dadas principalmente por el menor volumen del contenedor y las características del sustrato, por lo cual se podría suponer que en contenedores el rango de densidad aparente debería encontrarse por debajo de los valores recomendados para suelos. Tomando en consideración lo anterior, solo las mezclas 3 y 4 podrían poseer una densidad aparente adecuada para el cultivo en contenedores. Los tratamientos con mayor Da provocarían una menor pérdida de plantas por volcamiento, pero conjuntamente dificultarían su manejo y transporte. Por el contrario, Da bajas como la presentada en el tratamiento 4 favorecerían significativamente la capacidad operacional del sustrato, disminuyendo los costos de transporte y manipulación de materiales (Abad *et al.*, 2004).

Cuadro 2 Resultados de densidad aparente (Da), espacio poroso (EP), capacidad de aire (VEA), capacidad de almacenamiento de agua en base a volumen (CAA) al inicio del ensayo.

Tratamientos o Mezclas	Da (Mg/m ³)	EP	VEA (%)	CAA
1	0,97 d ¹	45,78 a	20,44 a	25,34 a
2	0,77 c	53,60 a,b	14,68 a	38,93 a
3	0,53 b	60,08 b	16,59 a	43,49 a
4	0,26 a	56,87 b	21,04 a	35,84 a
5	0,71 c	53,12 a,b	22,98 a	30,14 a
Testigo	0,77 c	52,84 a,b	15,69 a	37,15 a

¹ Letras diferentes en cada columna indican que existen diferencias significativas. SNK (p≥0,05)

Los valores obtenidos para porcentaje de espacio poroso (EP), presentaron diferencias significativas entre las diferentes mezclas. La mezcla 1, presentó el menor porcentaje de espacio poroso entre los tratamientos, siendo significativamente diferente al encontrado en los en las mezclas 3 y 4. El valor de EP encontrado en la mezcla 1 se encontraría por debajo del porcentaje comúnmente encontrado para suelos minerales, que esta entre 50 y 60% (White, 1997)

Los valores de porosidad total (EP) encontrada en todas las mezclas se presentan muy por debajo del valor óptimo para sustratos, que debe ser sobre un 85% (Abad *et al.*, 2004).

El menor valor de porosidad total fue obtenido por la mezcla 1, el que está constituido por compost de orujo y arena. Según datos entregados por Burés (1997) el orujo de uva contiene un bajo porcentaje de partículas de diámetro inferior a 0,5 mm, teniendo su mayor contenido parcial en el tamiz de 4 mm. Por su parte, la arena fina, incluida en menor proporción, disminuye el tamaño de poros interparticulares. Según lo anterior, el bajo valor de EP en éste tratamiento se debería a que estas mezclas alcanzarían su máximo arreglo en volumen, ya que esta se produce cuando la fracción de partículas gruesas de la mezcla se acercan al 70% (Burés, 1997).

La CAA y la VEA son dos importantes propiedades físicas que influyen directamente sobre la disponibilidad de aire y agua para las raíces (Richard, 2006). En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas entre estas variables, lo que se debería a la dispersión de datos obtenida. Iskander (2002) menciona como mínimo valor recomendable de VEA un 10%, para De Boodt y Verdonck (1972), un sustrato ideal en contenedor de 15 cm de altura (1,7L) debe poseer una capacidad de aire de un 25% y una capacidad de almacenamiento de agua de un 60%, mientras que para Abad *et al.* (1992) un sustrato para uso de cultivos debe poseer un volumen de espacio de aire entre un 10 y un 30%. En el ensayo, todos los tratamientos poseerían más de un 10% de VEA, pero su CAA se encuentra muy por debajo del 60% recomendado. Sin embargo, la capacidad de almacenamiento de agua es función de las características del sustrato y de la altura del contenedor (Burés, 1997), por lo que resulta importante considerar que la muestra utilizada en el método (USCC, 2001), es de aproximadamente la mitad de la altura que la descrita por dichos autores. Si a lo anterior se suma la menor altura del cilindro de prueba en relación a la bolsa de 7L, el valor real de capacidad de aire que existiría en las bolsas es mayor (Ansorena, 1994).

Como se mencionó, en la maceta la condición de VEA y CAA cambiaría de manera importante debido principalmente a la mayor altura del contenedor (de aproximadamente 15 a 40 cm), el cual causaría una disminución de la capacidad de almacenamiento de agua por volumen y un aumento del volumen utilizado por aire. De todas maneras siempre existirá en la parte baja del contenedor un área del sustrato que poseerá un mayor volumen ocupado por agua, el que dependerá del potencial matricial del sustrato.

En la Figura 1, se puede observar los resultados de densidad aparente (D_a) al finalizar el ensayo, para cada tratamiento a diferentes profundidades de contenedor (cada 6 cm). En dicho análisis se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los tratamientos, en donde el nivel más profundo muestra valores de D_a mayores a los niveles superiores del contenedor. Lo anterior, se debería principalmente a la acumulación de arena al fondo de los contenedores, debido a un cambio en el empaquetamiento de partículas, que se produce por el movimiento relativo de sus partículas constituyentes (Burés, 1997). Para Ansorena (1994) el riego ejerce un efecto de compactación en los sustratos en contenedor, así el agua aplicada arrastra las partículas más finas y hace que estas ocupen los poros formados por las partículas de mayor diámetro. También resulta importante el hecho de que todos los sustratos presentan mayores valores de densidad aparente, en los distintos rangos de profundidad, que los obtenidos al inicio del ensayo. Esto sería coincidente con lo encontrado en sustratos empleados para propagación clonal de paltos donde se presentó una inestabilidad en los materiales, que provocó la compactación de la mezcla, limitando el desarrollo de raíces principalmente en la zona base (Alves *et al.*, 1999).

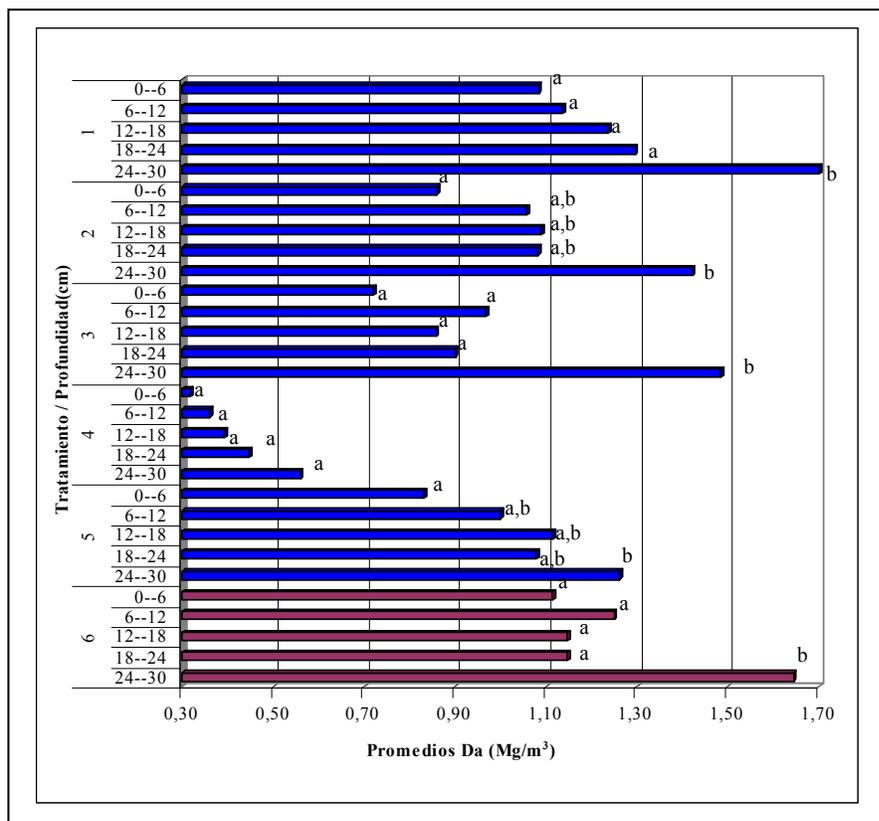


Figura 1. Densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$) para cada tratamiento a distintas profundidades de contenedor (cm). Letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre las D_a , a diferentes profundidades en un mismo tratamiento SNK ($p \geq 0,05$).

Los tratamientos 1 y el testigo, coinciden en ser los que poseen menores valores de espacio poroso total al inicio del ensayo (48,13 y 49,04 % respectivamente) y poseer el mayor aumento de densidad aparente al final del ensayo. Resulta además considerable el aumento

en densidad aparente que sufren, en el rango de profundidad de 24-30 cm, los cuales llegan a valores de $1,7 \text{ Mg m}^{-3}$ y $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$ respectivamente.

La cantidad de espacio poroso total de un sustrato está en relación inversa con su densidad aparente (Argo, 1998b). Cuando la densidad aparente de un sustrato disminuye, la porosidad total aumenta linealmente. De acuerdo a lo antes expuesto, el aumento excesivo de los valores promedios de D_a en los tratamientos uno y testigo causó una reducción importante en la porosidad en el nivel más profundo de la maceta. Si a lo anterior se suma el hecho de que la mayoría de los sustratos presentan una zona saturada en el fondo de la maceta, el que en magnitud dependerá del potencial matricial del sustrato (Martínez, 2005), provocará que en estas zonas el desarrollo radicular se vea impedido por el bajo contenido de oxígeno. Lo anterior se pudo observar (Figura 2) por la gran cantidad de raíces podridas encontradas en esta zona en la mayoría de los tratamientos, acentuándose en los tratamientos 1 y testigo.

También resulta importante mencionar que las raíces en la zona baja del contenedor tienden a crecer próximas a las paredes del contenedor, ya que en esta zona se produce un aumento en la porosidad, debido al espacio formado entre las partículas y la pared del contenedor (Burés, 1997 y Martínez, 2005).



Figura 2. Posible efecto de una zona saturada, de la compactación y de la pérdida de porosidad, en el crecimiento de las raíces. Se puede observar el tratamiento testigo (T6 a la izquierda) y el tratamiento cinco (T5 a la derecha).

Los datos de D_a obtenidos para cada tratamiento, fueron promediados y sometidos a análisis estadístico, donde se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos, estos resultados se muestran en el Cuadro 3. En éste se puede notar que el tratamiento 4 posee una densidad aparente significativamente menor que los restantes tratamientos,

contrariamente a lo encontrado en los tratamientos 1, 5 y 6 (testigo) que poseen valores significativamente mayores. Por su parte, el tratamiento 3 muestra un valor medio.

Cuadro 3. Promedios de D_a de los distintos tratamientos para el volumen total de la maceta al finalizar el ensayo.

Tratamiento o Mezcla	Da	
	Mg/m ³	
1	0,91	c ¹
2	0,78	b,c
3	0,70	b
4	0,29	a
5	0,75	b,c
Testigo (6)	0,89	c

¹ Letras diferentes en cada columna indican que existen diferencias significativas. Prueba SNK ($p \geq 0,05$).

Comparando estos resultados promedios con los valores obtenidos en los sustratos inicialmente, se puede observar que en la mayoría de los tratamientos se generó un aumento en los valores de D_a , exceptuando el tratamiento 1. El aumento de los valores de D_a aparente se debería como se mencionara anteriormente, a una compactación de los sustratos en los contenedores; esta compactación provocaría un aumento en la D_a con una consecuente disminución en la porosidad de las mezclas. La capacidad de almacenamiento de agua, a diferencia de la capacidad de aire, aumentaría con la compactación (Ansorena, 1994).

Resulta interesante observar que los sustratos aumentan su D_a dentro de cierto rango, existiendo una semejanza en el ordenamiento encontrado entre los valores promedios de la medición por intervalos de altura (Cuadro 3) y los valores encontrados inicialmente para los sustratos (Cuadro 2). Así, el tratamiento 1, que poseía los mayores valores de D_a , aumenta este valor, de forma que sigue siendo el con mayor valor promedio.

El tratamiento 1 es el que presenta un mayor valor de D_a inicial y final, menor porcentaje de espacio poroso y la menor capacidad de almacenamiento de agua por unidad de volumen y masa. Lo anterior indicaría que este sustrato presenta las peores condiciones físicas para la propagación de palto.

Análisis Granulométrico

Se entiende por diámetro medio geométrico (D_g) como el tamaño de partículas que tiene una probabilidad de ocurrencia del 50 %. En tanto el tamaño de partículas mediano o diámetro mediano (D_{50}), es el diámetro de partícula que corresponde al percentil 50^{avo} en una distribución acumulativa (Burés, 1997).

En el Cuadro 4 se pueden observar los resultados obtenidos de D_g y D_{50} para cada tratamiento. La mezcla del tratamiento 4 posee el mayor tamaño de partícula, siendo este aproximadamente el doble de lo obtenido en el resto de las mezclas.

Cuadro 4. Resultados promedio obtenidos a partir del análisis granulométrico para: el diámetro geométrico (D_g) y el tamaño de partículas mediano (D_{50}).

Tratamiento	D_g	D_{50}
1	0,55	1,0
2	0,5	0,5
3	0,48	0,5
4	0,95	2,0
5	0,44	0,5
Testigo (6)	0,48	0,5

Se ha encontrado que la distribución del tamaño de partículas de un medio de cultivo puede afectar de manera importante el crecimiento de las plantas (Richard, 2006). El tamaño de poros aumenta en la medida que lo hace el tamaño medio de las partículas (Martínez, 2005). Las partículas pequeñas hacen disminuir la porosidad ocupada por aire y aumentar la cantidad de agua retenida (Baixauli y Aguilar, 2002). Burés (1997) señala que en general el tamaño medio de poros es la mitad del tamaño medio de partículas. Lo anterior, indicaría que el tratamiento 4 posee un mayor diámetro de poros que los restantes tratamientos, por lo que se esperaría una baja retención de agua; sin embargo, éste tratamiento posee una capacidad de almacenamiento de agua y aire media. Lo anterior podría ser explicado por la alta retención de agua no disponible que presentan algunos materiales incluidos en mayor proporción en el tratamiento 4, como son la turba y la fibra de coco. Burés (2005) menciona que en promedio la turba puede poseer un nivel de agua difícilmente disponible (ADD) de 47,91% y la fibra de coco posee una ADD de 24,80%.

El tratamiento 3 posee una mayor capacidad de retención de agua y menor capacidad de aire en relación al tratamiento 4 a pesar de poseer un mismo nivel volumétrico de turba y fibra de coco; esto se explicaría por su menor diámetro geométrico aportado por su contenido de arena.

En la Figura 3 se muestra la curva de distribución acumulada de tamaño de partículas de los diferentes tratamientos. En éstas queda de manifiesto que el tratamiento 1 posee un dominio de partículas con tamaño mayores 0,5 y menores a 1 mm (32,8%); los tratamientos 2, 3, 5 y testigo con partículas mayores a 0,25 mm y menores a 0,5 mm; y el tratamiento 4 con partículas mayores a 1 mm y menores que 2 mm (32,3%).

Conjuntamente, puede observarse que el tratamiento 4 presenta una menor pendiente en el tramo de partículas menores a 1 mm a diferencia de los restantes tratamientos. Lo anterior es importante de considerar debido a que de un modo empírico se ha hecho énfasis en que las partículas mayores a 1mm tienen poca importancia en la absorción de agua (Burés,

1997), siempre que no exista una diferencia entre partículas que provoque que partículas finas rellenen los poros gruesos.

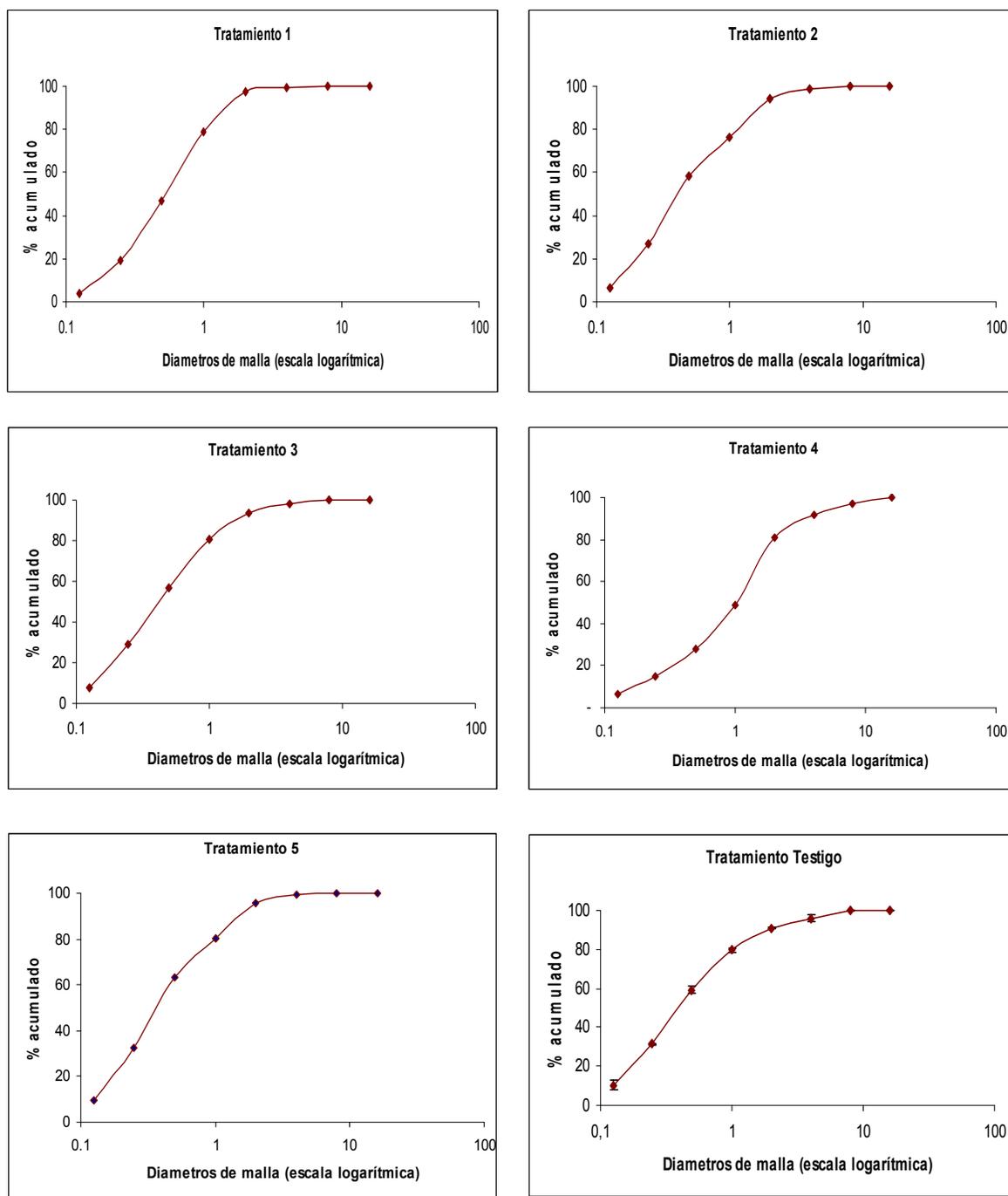


Figura 3. Resultado análisis granulométrico, expresado mediante curvas de frecuencia acumulada en escala logarítmica.

El Tratamiento 1 se encuentra compuesto en un mayor porcentaje por compost de orujo de uva, que presenta un D_{50} de 4,8 mm (Rojas, 2006) y en un menor porcentaje de arena la que posee un valor estándar para el D_{50} de 0,5 mm (Burés, 1997); esta diferencia en el tamaño de partícula y en especial la distribución de las mismas (Figura 3) favorecerían que los espacios formados entre las partículas del compost sean ocupadas por la arena esto favorecería un tamaño de poros menor que el esperado y a su vez provocaría una baja porosidad total, como se encontró en esta mezcla.

Es importante señalar que para las mezclas propuestas que presentan una combinación de material mineral con material orgánico (todos a excepción del tratamiento 4) el análisis granulométrico puede sobredimensionar la fracción granulométrica del material mineral (Burés, 1997), debido a que este posee un mayor peso en relación a su volumen, lo cual debe considerarse al analizar el menor D_g y D_{50} obtenido por estas mezclas en comparación al tratamiento 4.

Martínez (2005), señala la importancia que las mezclas posean una mayor fracción volumétrica de partículas entre 0,25 y 2,5mm, debido a que es en esta fracción en donde se lograría un diámetro de poros que entregarían un potencial matricial que iría entre -1 y -10 kPa. Por lo anterior y según como se estimó en el análisis, todos los sustratos propuestos (incluyendo al testigo) cumplen con dicha condición. Por su parte Iskander (2002) menciona que lo ideal para un sustrato es que este posea sobre un 60% de partículas con diámetros entre 0,5 y 2 mm, esto indicaría que el tratamiento 1 es el que posee el mayor porcentaje de partículas en este rango, seguido por los tratamientos 2, 4, 3 y 5 siendo el tratamiento testigo el único que no cumple con dicha condición.

Parámetros Químicos

Conductividad Eléctrica y pH

La medida de CE resulta una forma eficaz y eficiente de expresar el contenido y calidad de sales presentes en un sustrato. Según Martínez (2005) los valores de CE superiores al rango de 1,8-2,25 (dS/m) reducirían el crecimiento de las plantas, causarían problemas de marchites y quemadura apical de las hojas. Valores superiores a 3,4 dS/m causarían lesiones severas y pérdidas irreversibles de los cultivos.

Los resultados mostrados en la Figura 4, al ser obtenidos en una suspensión-dilución 1:5 presentan valores menores a los que se obtendrían en un extracto de saturación². Para Jeangille (1991) es necesario corregir la CE en base a la dilución hecha. Sin embargo, no se presentan investigaciones con respecto a la transformación antes mencionada. Una de las diluciones que se asemejaría más a los resultados obtenidos mediante esta suspensión-dilución sería la 1:6 (volumen/volumen), conocido como método inglés², sin embargo resultaría incorrecto recomendar la transformación encontrada para esta suspensión.

² Varnero, M. Químico Farmacéutica, especialista en procesos biodegradativos. Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería y suelos. 2006(Comunicación personal).

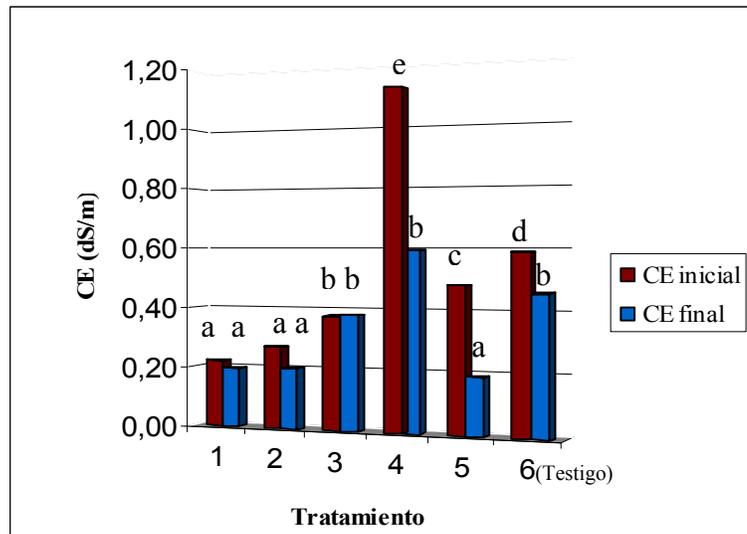


Figura 4. Conductividad eléctrica (dS/m) para cada tratamiento previo a la siembra y una vez terminado el ensayo (Las letras indican subgrupos, para un mismo periodo, con diferencias significativas, SNK con $p \geq 0,05$)

En la Figura 4, se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos, así los tratamientos 1 y 2 presentan los menores valores de conductividad eléctrica inicial y final. Por el contrario, el tratamiento 4 presenta los mayores valores de conductividad tanto inicial como final. El análisis realizado al final del ensayo arrojó que los sustratos poseen una tendencia a bajar su CE durante el periodo de propagación, así los tratamientos con menor CE mantienen dicha condición al igual a lo que sucede con los tratamientos que poseen mayores valores. Lo anterior se debería a que durante el último periodo del ensayo existieron una serie de riegos sin incorporación de elementos nutritivos (Apéndice II). Estos riegos habrían lavado sales solubles, como nitratos, desde el sustrato.

Resultan interesantes los mayores valores de CE obtenidos por el tratamiento 4 tanto al inicio como al final del ensayo. El mayor contenido de sales solubles al inicio del ensayo posiblemente se deba a la exclusión de la arena en este tratamiento, la cual posee una muy baja CE (Burés, 1997). En cuanto al mayor valor final de CE se estima que se produciría por una mayor capacidad de intercambio, ya que éste sustrato solo está compuesto por materiales orgánicos (Puustajarvi, 1994). Lo anterior conlleva a un mayor contenido relativo tanto de cationes como aniones en el complejo de cambio, lo que a su vez facilitará la formación de sales solubles.

Se puede notar también que el valor de CE para la mezcla 3 se mantiene, lo que posiblemente se debería a la acidificación de la mezcla, que se observa en la Figura 5, esto habría inducido un aumento de la capacidad de intercambio aniónico por protonación de los grupos OH^- de la materia orgánica, provocando una mayor adsorción coloidal de aniones como los nitratos, sulfatos y fosfatos (Fassbender, 1975).

El rango de pH para materiales orgánicos que son usados en la elaboración de sustratos debería ser según Abad *et al.*, (1993, citado por Terés, 2001) entre 5,2 y 6,3 debido a que en esta condición la mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de asimilabilidad. Por su parte Handreck y Black (2002) estrechan el rango de pH de 5,5 a 6,3. En el presente ensayo se encontró que la mayoría de los sustratos cumplirían con el rango considerado adecuado por los autores antes mencionados. Sin embargo, es importante señalar las diferencias existentes entre los valores obtenidos, con el método tradicional para suelos (en un extracto a saturación) y el método utilizado (suspensión-solución 1:5), en general las suspensiones con un gran contenido de solución extractante presentan valores de pH un poco mayores a los obtenidos de un extracto de saturación (Ansorena, 1994). Por todo lo antes mencionado, se estima que todos los sustratos cumplirían con los valores considerados como óptimos.

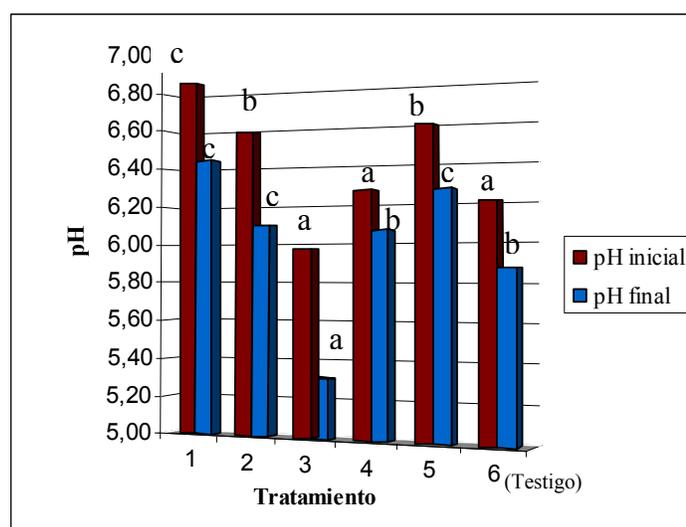


Figura 5. Cambio del pH para cada tratamiento o mezcla al inicio y final del estudio (Letras diferentes indican subgrupos, para un mismo periodo, con diferencias significativas. SNK con $p \geq 0,05$).

Para el palto se podría establecer como rango óptimo de pH en el suelo entre 5,5 y 6,5 existiendo algunas ventajas bajo este rango (Wolstenholme, 2002). Sin embargo, a un mismo nivel de pH la disponibilidad de nutrientes cambia en un suelo mineral en comparación a un sustrato orgánico (Handreck y Black, 2002) (Anexo I).

Como se puede observar en la Figura 5, se encontró que el tratamiento 3 al inicio del ensayo presenta el menor valor de pH, siendo este significativamente diferente al obtenido en los tratamientos 1,2 y 5. El pH ácido inicial del tratamiento 3 posiblemente se debería a una disminución porcentual del componente compost en la mezcla, y a un aumento en volumen de turba y fibra de coco, los cuales son materiales de carácter ácido.

Es importante observar que todos los tratamientos tienden a acidificarse hacia el término del ensayo. El origen de la acidez tiene dos causas: pérdida de cationes básicos y adición de hidrogeniones H^+ (Ansorena, 1994). Es posible que la primera causa sea el factor más

importante en provocar el aumento de acidez en los sustratos propuestos, lo anterior se provocaría por la inexistencia de fertilización en el último período del ensayo, por la lixiviación de los cationes presentes por el riego y finalmente por la extracción de éstos por las plantas. En cuanto a la segunda causa de aumento de acidez, se podría estimar que su importancia sería menor, debido a la estabilidad biológica de los sustratos utilizados, por lo que la liberación de H^+ por descomposición de la materia orgánica sería baja (a excepción del tratamiento testigo) y a que la oxidación de fertilizantes principalmente amoniacales sería baja, ya que el aporte de nitrógeno en el ensayo se realizó en forma de nitratos.

Gardiazabal (1990) encontró que el pH influiría en la velocidad de crecimiento y diámetros de plantas, siendo más favorable un pH ligeramente ácido en comparación a uno ligeramente básico. Lo anterior es coincidente con lo encontrado en este ensayo, donde el tratamiento 3, que posee los menores valores de pH, obtuvo mayores valores en la mayoría de los parámetros de crecimiento.

Evolución del pH y la conductividad eléctrica en el lixiviado.

Se entiende como lixiviado al resultado de la percolación del agua que resulta en la pérdida de sales solubles y de ese modo la pérdida de ciertos nutrientes (Buckman y Brady, 1969). Debido a que el primer riego post-siembra se efectuó el 26 de septiembre, solo se empezaron las mediciones en el mes de octubre.

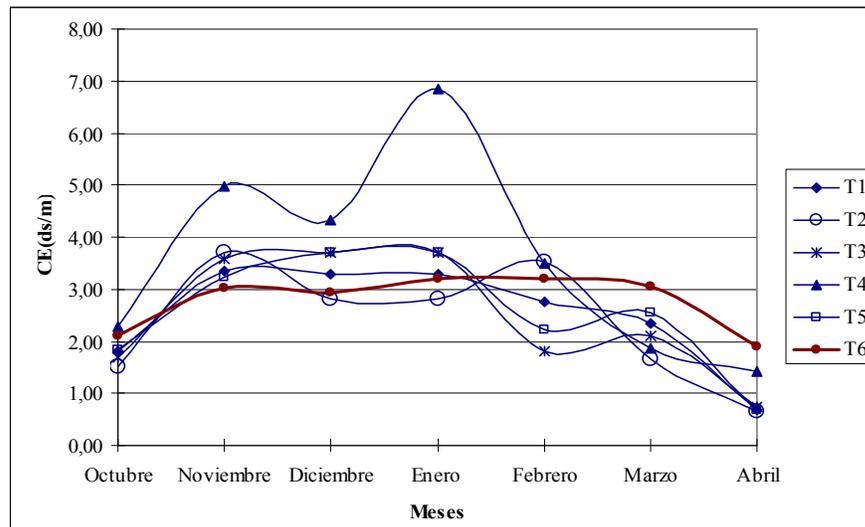


Figura 6. Evolución mensual de la conductividad eléctrica promedio (dS/m) medida en el lixiviado. Se destaca en color rojo al testigo.

La Figura 6 muestra la evolución de la conductividad eléctrica promedio obtenida del lixiviado. El tratamiento testigo presenta un comportamiento bastante menos variable (menor desviación estándar) a través de los meses, especialmente del tratamiento 4 el cual posee mayores variaciones con valores que van de los 6,84 a 1,42 dS/m.

Los resultados altos de CE obtenidos, no pueden ser atribuidos a aguas de riego de mala calidad, ya que se obtuvo una conductividad eléctrica promedio de 0,75 dS/m inferior al valor límite descrito por Gardiazabal (1990). Por lo anterior, estos valores serían atribuibles a la fertilización, ya que algunas soluciones pueden tener niveles de sales tan altos que podrían elevar los niveles de CE, pudiendo ser tóxicos para las plantas. Según Merino y Ansorena (1990) es habitual en los viveros que los niveles necesarios de nitratos en las aguas de riego sean superados ampliamente, teniendo por consecuencia la aparición de problemas de salinidad. El agua de riego utilizada por el vivero sin fertilizantes presentó un valor de CE para el mes de Octubre de 0,81 dS/m, el cual empezó a bajar paulatinamente hasta llegar a un valor de 0,69 para el mes de abril.

El comportamiento del tratamiento 4, con un alto *peak* de concentración de sales durante el mes de enero, se debería principalmente, a que es el único tratamiento que posee solo materiales orgánicos, los cuales son mucho más activos en la retención de iones que la fracción mineral de arena, por lo cual adsorberían mayor cantidad de sales que el resto.

Los niveles de CE alcanzados en el lixiviado son muy superiores a lo que sería recomendable para el palto. Sin embargo, en el agua de drenaje generalmente la conductividad se sitúa por encima del valor correspondiente a la solución de aporte, pudiendo llegar a ser dos veces superior a la solución de aporte (Magan, 2005).

Se considera como una propiedad química deseable en los sustratos, que estos posean la capacidad de conservar el pH constante (Argo, 1998a). La Figura 7 muestra los resultados obtenidos del análisis del lixiviado donde se observa que todos los sustratos, incluyendo el testigo, varían su valor de pH durante el periodo de crecimiento de la planta, lo cual a su vez haría variar la disponibilidad relativa de los nutrientes en la solución.

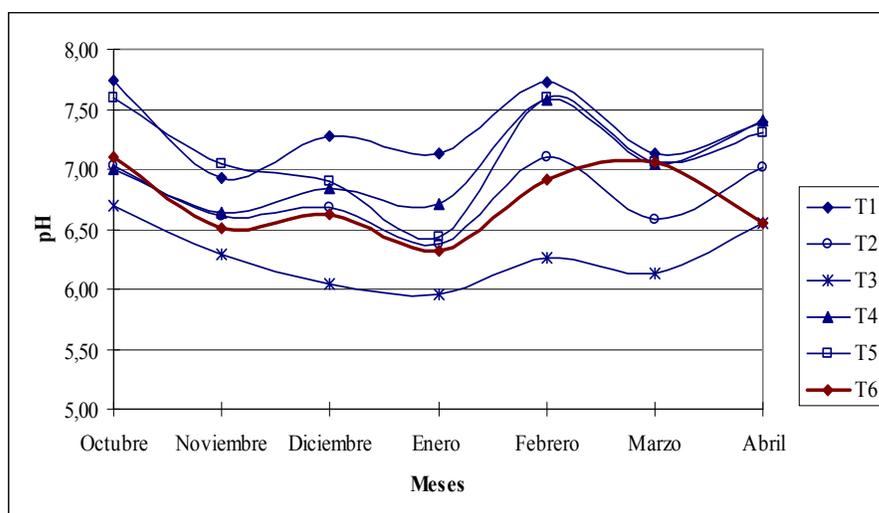


Figura 7. Evolución mensual del pH medido en el lixiviado. Se destaca en color rojo al testigo.

En la Figura 7 se puede notar que los pH del lixiviado de cada sustrato varían a lo largo del periodo de crecimiento de las plantas, pero dentro de ciertos rangos, así se puede observar que el tratamiento 3 resulta ser el que presenta el lixiviado con rango más ácido con valores que van de 5,96 a 6,70. Por el contrario el tratamiento 1 presenta valores que van desde la neutralidad a la alcalinidad con cifras entre de 6,92 a 7,73. Sin embargo, el tratamiento con mayor desviación estándar en sus resultados es el tratamiento 5 que presenta un rango de pH que se encuentra entre 6,89 y 7,60, se podría suponer entonces que es este sustrato el que poseería una menor capacidad buffer.

Es importante considerar que esta es una medición indirecta del contenido de H^+ en la solución del sustrato, por lo cual los valores serían referenciales y solo comparables entre tratamientos. De lo anterior, se puede desprender que los rangos reales (dilución 1:5) se podrían mover en rangos más ácidos ya que la capacidad de arrastre de iones H^+ y dilución del agua de riego aplicada podría ser menor.

Es conocida la importancia de la capacidad buffer en los suelos; así, Buckman y Brady (1969) establecen que un cambio marcado del pH indicaría una modificación radical en el ambiente edáfico, especialmente en lo que respecta a la disponibilidad de nutrientes. Los materiales orgánicos utilizados como sustratos presentan una mayor capacidad buffer que los sustratos de origen mineral. En cuanto a los sustratos analizados, el tratamiento testigo presenta una de las más bajas desviación estándar, lo cual posiblemente se deba a la inclusión de material mineral extraído del suelo con una predominancia de la fracción arcilla, que aumentaría la capacidad buffer del mismo, a diferencia de los sustratos propuestos que incluyen arena como fracción mineral, la que se considera inerte químicamente (Burés, 1997).

A pesar que el tratamiento 1 posee los mayores valores de pH iniciales, finales y durante el ensayo en el lixiviado, este aumento no influyó mayormente en el nivel foliar de nutrientes.

Evaluación de pH y CE según la profundidad de maceta

Los resultados observados en la Figura 8, muestran que para la mayoría de los tratamientos, la conductividad eléctrica tiende a aumentar al avanzar en profundidad en la maceta, llegando a los valores más altos en la última sección ésta.

Considerando que el microtubo se encuentra enterrado en la mezcla (aproximadamente 5 cm) no existiría lavado en la zona de 0 a 6 cm, además existe un posible aporte de sales solubles que ascienden por capilaridad. Lo anterior, explicaría los valores más altos obtenidos en el primer rango de profundidad.

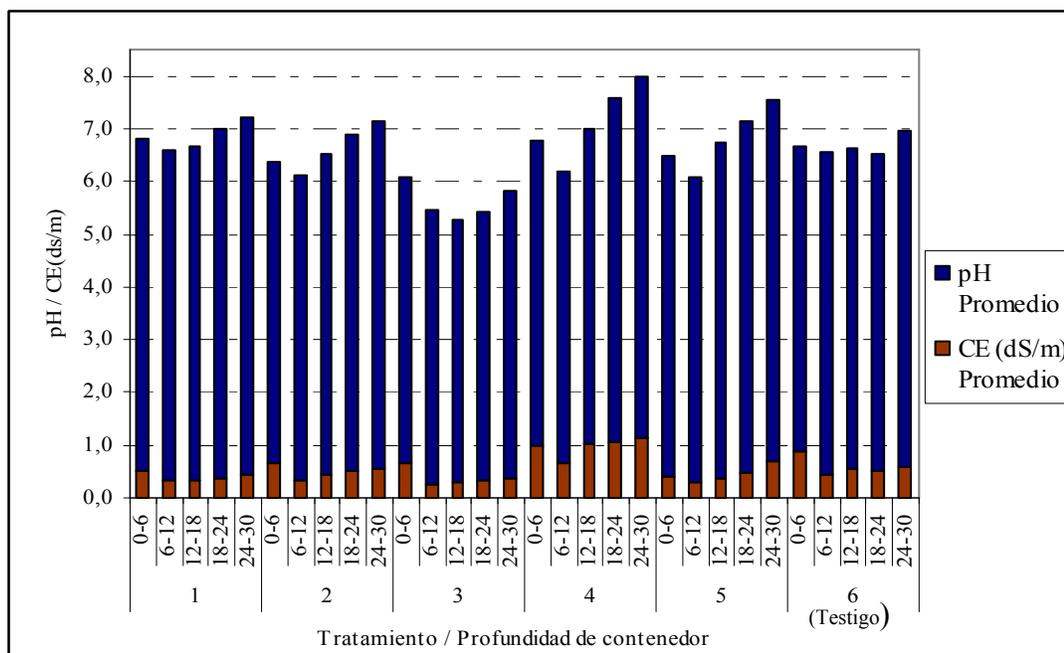


Figura 8. Conductividad Eléctrica (dS/m) y pH obtenidos de un extracto acuoso a distintas profundidades de contenedor.

Con respecto al pH (Figura 8), se puede observar que tienen la tendencia a aumentar en profundidad, resultando en algunos casos valores demasiados altos y quizá no recomendables para el palto, especialmente en el tratamiento 4, que presenta valores más altos de pH y de CE en comparación a los restantes de los tratamientos.

Sin embargo, pareciera que el aumento de pH en profundidad del tratamiento 4, no afectaría de manera importante el crecimiento de raíces, ya que estas exploran sin problemas esta zona.

La tendencia de los sustratos a aumentar su CE en profundidad se debería a un arrastre y acumulación de sales por efecto de los riegos.

Contenido de MO y relación C/N

En el Cuadro 4 se puede observar que la mayoría de los sustratos tienden a variar su contenido de materia orgánica entre el inicio y el final del ensayo, con excepción del tratamiento 4, el que mantiene su valor.

El único material presente en todas las mezclas propuestas, es el orujo de uva, éste presenta valores superiores a un 90% de materia orgánica (Burés, 1997 y Rojas, 2006). Por su parte la turba posee valores superiores a 90%, la fibra de coco sobre un 85% y la arena con ciertas impurezas menos de un 2%, ya que se trata de un material mineral (Burés, 1997). Lo anterior indicaría que los valores obtenidos se encuentran bajo lo teóricamente esperado. Lo

que se debería a que mezclas fueron hechas en base a volumen, por lo que la arena contenida en las mezclas haría disminuir la MO, que se obtiene de una relación en base al peso.

Cuadro 4. Resultados de análisis del contenido de MO, relación C/N y contenido de nitrógeno total, nitratos y amonio.

Tratamientos	Materia	Carbono	Nitrógeno	Relación	Amonio	Nitrato	$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$
	Orgánica	Orgánico	(N Total)		C/N	(NH_4^+)	
		%			mg/kg		
1-inicial	13,50	7,50	0,84	8,93	189	42	4,5
1-final	20,50	11,40	1,03	11,07	129	50	2,6
2-inicial	15,50	8,60	0,49	17,55	30	17	1,8
2-final	14,50	8,10	0,53	15,28	73	25	2,9
3-inicial	10,5	5,8	0,47	12,3	37	19	1,9
3-final	11,0	6,1	0,39	15,6	43	35	1,2
4-inicial	70,0	38,9	1,43	27,2	57	37	1,5
4-final	70,0	38,9	1,65	23,6	38	27	1,4
5-inicial	10,0	5,6	0,81	6,9	8	32	0,2
5-final	9,0	5,0	0,51	9,8	24	20	1,2
Testigo-inicial	8,0	4,4	0,17	25,9	52	38	1,4
Testigo-final	9,0	5,0	0,24	20,8	46	37	1,2

Todos los sustratos propuestos presentan una relación C/N menor a 40, pero solo los tratamientos 4 y testigo poseen una relación C/N mayor a 20, con lo que excederían el nivel óptimo recomendado para sustratos (Abad *et al.*, 1992 y Ansorena, 1994). Para Ansorena (1994) un sustrato con cualquier valor superior a 20 estará sujeto a cierta inmovilización por microorganismos del nitrógeno en solución.

En cuanto a la disponibilidad de amonio y nitrato en el sustrato, se puede observar que la mayoría de los sustratos inicialmente poseen un mayor contenido de nitrógeno en forma amoniacal, a excepción del tratamiento 5, el cual lo posee en una baja cantidad. Llama la atención el alto contenido de nitrógeno amoniacal existente en el tratamiento 1 el cual solo posee arena y compost, lo que indicaría que el compost estaría aportando nitrógeno principalmente en forma amoniacal.

La baja relación C/N obtenida en el tratamiento 5, en comparación con los restantes tratamientos, no tendría una explicación clara debido a que los materiales orgánicos que lo componen (fibra de coco y compost de orujo) poseen una alta relación (sobre 80), por esto se considera que los valores no sean correctos y posiblemente se deba a un problema en la toma de muestra en laboratorio.

Ensayo respirometría

Los resultados muestran que las mezclas evaluadas presentan una actividad microbiológica semejante entre ellos, pero claramente diferente al tratamiento testigo, el cual presenta un desprendimiento de CO_2 (expresado como $\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MO}^{-1} \text{ día}^{-1}$) mucho mayor.

Al inicio del ensayo, el desprendimiento de C-CO_2 , fue mayor que el obtenido al finalizar el ensayo (Figura 9) para cada una de las mezclas, lo cual se explicaría por una estabilización en la actividad microbiológica de los mismos en el tiempo. Según la norma Chilena de Compost 2880-2004 (INN. 2004) para calificar un material como estabilizado biológicamente, este debe tener una tasa de desprendimiento menor a $8 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MO}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Lo anterior indicaría que todas las mezclas cumplirían con dicha norma, ya que el valor más alto alcanzado tanto al inicio como al final del ensayo se encontraban cerca de los $5 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MO}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

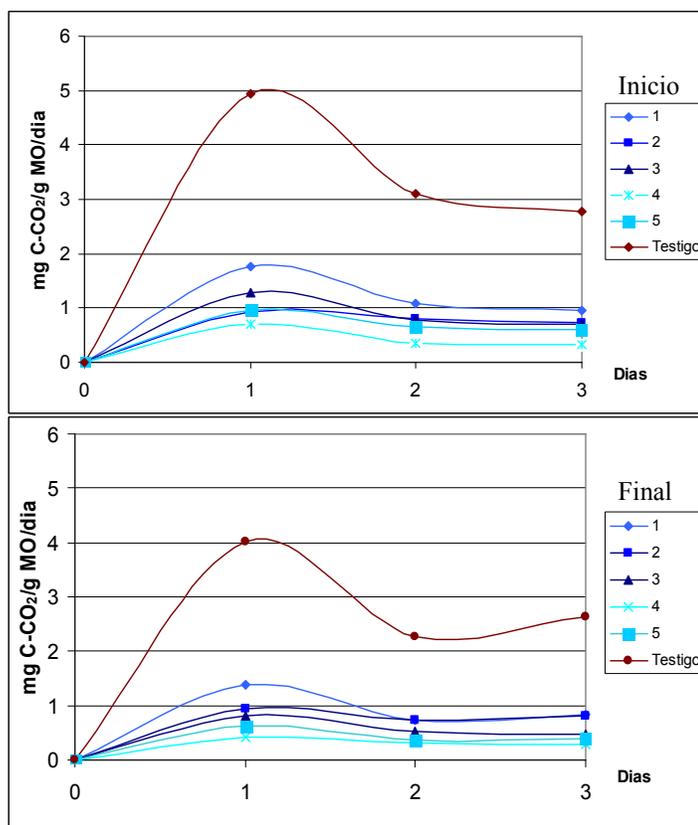


Figura 9. Resultados ensayo respirometría expresados en términos de $\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MO}^{-1} \text{ día}^{-1}$ previo al inicio del ensayo (arriba) y una vez finalizado el mismo (abajo).

Resulta interesante que los sustratos mantienen el orden inicial de los valores de desprendimiento, así el tratamiento testigo, que fue el que presentó el mayor valor al inicio, mantiene dicha condición una vez finalizado el ensayo, pero con menor tasa.

Evaluaciones del material vegetal

Diámetro y altura de plantas.

Existe una fuerte correlación entre el tamaño de la semilla empleada y el vigor del patrón producido (Maganjo, 1975 y Álvarez, 1981). Un buen parámetro para determinar lo anterior es el peso de las semillas³.

Los resultados de peso de semilla, diámetro y altura del patrón, fueron correlacionados linealmente, encontrándose que las variables diámetro y altura se correlacionan positivamente (R-Pearson = 0,856, significativa al nivel 0,01), sin encontrar correlación significativa entre las anteriores variables y el peso de las semillas. Lo anterior indicaría que la preselección por peso de las semillas, resulta una buena forma de acotar la influencia de las semillas en los resultados de crecimiento aéreo obtenidos.

En el Cuadro 5, se puede observar que se presentó una disminución temporal en el tamaño de la muestra, una primera pérdida de plantas se produjo una vez montado el ensayo, donde algunas plantas no emergieron (2 unidades), posteriormente se perdieron otras al voltearse el contenedor (3 unidades). Los tratamientos afectados fueron el 1, 3; 5 siendo el 1 el que presentó mayor pérdida de plantas. Los contenedores volteados no tendrían relación con una menor densidad aparente, sino más bien con posibles errores en la manipulación de las plantas.

Cuadro 5: Pérdida de plantas durante el ensayo antes de injertación y posterior a ella.

Tratamiento	Plantas perdidas					
	Previo Injerto		Post Injerto		Total	
	Unidades	%	Unidades	%	Unidades	%
1	3	15	2	10	5	25
2	0	0	1	5	1	5
3	1	5	1	5	2	10
4	0	0	3	15	3	15
5	1	5	4	20	5	30
Testigo	0	0	2	10	2	10

Una segunda pérdida de plantas se produjo cuando, por criterio del injertador, se eliminaron las plantas que no poseían tamaño suficiente para ser injertados, esto ocurrió en todos los tratamientos, destacándose dentro de estos el tratamiento 5 fue el que presentó la mayor pérdida de unidades seguido por el 4, 1, testigo, 2 y 3 (Cuadro 5).

³ Razeto, B. Ing. Agrónomo M.Sc., especialista en fruticultura. Universidad de Chile. Departamento de Producción Agrícola. 2006 (Comunicación personal).

Finalmente, se produjo una última pérdida, pero en estos casos no se trató de la planta completa sino solo del injerto, lo cual posiblemente se deba a un mal manejo del procedimiento de injertación, ya que este último, es un factor determinante en el éxito del injerto⁴.

Debido a lo anterior, se consideraron de igual forma las plantas al inicio del ensayo, omitiendo los valores para los parámetros de crecimiento evaluados en el injerto para las plantas en las cuales no existiera.

El diámetro del patrón es de mucha importancia para determinar el momento de injertación (Castro, 1990; Gardiazabal y Rosenberg, 1991 y Bender y Whiley, 2002). Además, se ha determinado que existe una correlación significativa entre el diámetro del patrón y la altura del mismo, por lo que solo se cuantificó el diámetro a 15 cm de la semilla.

El diámetro del patrón, no presentó diferencias significativas durante los primeros meses, es así como recién en Noviembre se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El Cuadro 6 muestra los resultados obtenidos a partir del mes de Noviembre para la variable diámetro de patrón.

Cuadro 6. Diámetros promedios obtenidos a 15 cm de la semilla, en el patrón previo a la injertación.

Tratamiento	Noviembre	Diciembre
	Diámetro mm	
1	4,47 a ¹	5,36 a
2	6,98 b	7,78 b
3	6,87 b	7,63 b
4	6,74 b	7,58 b
5	4,43 a	5,33 a
Testigo (6)	5,40 a	6,62 a,b

¹ Letras diferentes en cada columna indican que existen diferencias significativas. SNK ($p \geq 0,05$)

En un estudio similar, donde se evaluó la altura y el diámetro, se encontraron diferencias significativas a partir del mes de Octubre (Messerer, 1998). El autor menciona que dichos resultados se deberían a que el palto posee una semilla bastante grande, capaz de proveer de nutrientes al embrión por 45 a 60 días. En otro estudio se encontró que el incremento de materia seca posee un comportamiento similar, no encontrándose diferencias significativas

⁴ D'Angelo M. Ingeniero Agrónomo, especialista en fruticultura. Universidad de Chile. Departamento de Producción Agrícola. 2006 (Comunicación personal).

en el crecimiento en distintos tamaños de contenedor entre los 90 y 120 días después de la emergencia (Ettisa *et al.*, 2003). Si bien lo anterior pudiera ser correcto, durante los primeros meses las raíces cumplen una de sus funciones primordiales, que es la absorción de agua, si este suministro es inadecuado o deficiente, se manifestaría en un menor crecimiento de la parte aérea, lo cual podría explicar las diferencias encontradas en los diámetros promedios durante los primeros meses de crecimiento.

Para el mes de Noviembre, los tratamientos 1,5 y 6 presentaron diámetros de injertación significativamente menores a los presentados por los tratamientos 2, 3 y 4. Un comportamiento similar se presentó en el mes de Diciembre, donde los tratamientos 1 y 5 presentaron valores de diámetro de patrón significativamente menores a los presentados por los tratamientos 2, 3 y 4, mientras el testigo produjo valores intermedios.

Una vez que los portainjertos alcanzan 6 mm de diámetro a 20 cm de la superficie del suelo (o semilla), están aptos para ser injertados, generalmente esto sucede en nuestro país entre fines de noviembre, hasta fines de diciembre (Castro, 1990). La medición del diámetro en el caso del presente ensayo muestra valores, en todos los tratamientos, muy por sobre lo establecido por el autor. Lo anterior se debería a que la medición se realizó muy tarde, debido a que el ensayo establecía mediciones mensuales, las cuales deberían haber sido más intensas en el mes de diciembre, para determinar de mejor manera el momento de injertación.

En el Cuadro 7 se muestran los valores obtenidos, para las variables cuantificadas, previo al proceso de injertación. Estos valores permiten establecer diferencias significativas entre los tratamientos. Dentro de estos destaca el tratamiento 3, el cual posee el mayor valor de diámetro y altura. Los menores valores fueron obtenidos por las plantas creciendo en el sustrato 1, 5 y testigo.

Cuadro 7. Valores obtenidos de altura del patrón y el porcentaje de plantas que lograron sobre 6mm de diámetro, para cada tratamiento antes de que las plantas fueran injertadas.

Tratamientos	Plantas injertables %	Altura cm	Diametro mm
1	94,1	61,9 a ¹	7,99 a
2	100,0	69,7 a,b	9,30 a,b
3	100,0	79,3 b	10,11 b
4	95,0	73,3 a,b	9,26 a,b
5	77,8	60,7 a	8,35 a
Testigo	95,0	64,2 a	8,25 a

¹ Letras diferentes en cada columna indican que existen diferencias significativas. SNK ($p \geq 0,05$)

En el Cuadro 7, se puede observar que el porcentaje de plantas con diámetro de injertación adecuado para el mes de enero. En el tratamiento 5 este valor es muy inferior con respecto al resto de los tratamientos, así también este tratamiento posee la menor altura, siendo esta significativamente menor a la obtenida por el tratamiento 3.

El Cuadro 8 muestra los resultados finales de las variables de crecimiento, en este se puede observar, que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para las variables largo de injerto y diámetro de patrón, no siendo significativa las diferencias en la variable diámetro de injerto. Esta diferencia además es observable a simple vista como se muestra en la Figura 10.

En la altura de planta (Cuadro 7) los tratamientos 1, 5 y testigo presentaron valores significativamente menores que los obtenidos por el tratamiento 3, el que en promedio supera casi en 20 cm de altura al testigo.

En cuanto a la largo de injerto (Cuadro 8) se pudo observar que el testigo obtiene un valor significativamente menor al obtenido en los restantes tratamientos. El tratamiento 4 consigue el mayor crecimiento en altura, siendo superior en casi 17 cm al testigo. Se considera que una altura adecuada para una planta terminada, debe estar entre los 30 y los 60 cm (Castro, 1990 y Gardiazabal, 1990), por lo que la totalidad de las plantas creciendo en las mezclas en estudio, estarían aptas para ser comercializadas.

Cuadro 8. Muestra los valores obtenidos de largo y diámetro para cada tratamiento una vez terminado el ensayo

Tratamiento	Largo Injerto	Diámetro Patrón	Diámetro Injerto
	cm	mm	mm
1	33,79 a,b ¹	9,72 a	6,96 a
2	41,11 b,c	11,25 b	7,91 a
3	44,54 b,c	12,34 b	7,85 a
4	45,86 c	12,02 b	7,59 a
5	42,44 b,c	11,80 b	7,70 a
Testigo	28,95 a	11,46 b	7,18 a

¹ Letras diferentes en cada columna indican que existen diferencias significativas. SNK ($p \geq 0,05$)

En el diámetro de patrón se encontró que existen diferencias significativas entre el tratamiento 1 y los restantes tratamientos. El mayor valor de diámetro fue obtenido por el tratamiento 3.

En la Figura 10 se pueden observar las diferencias de crecimiento del injerto entre los distintos tratamientos, destacándose los tratamientos 4, 2, 3 y 5, los que obtienen mejores resultados visuales de crecimiento.

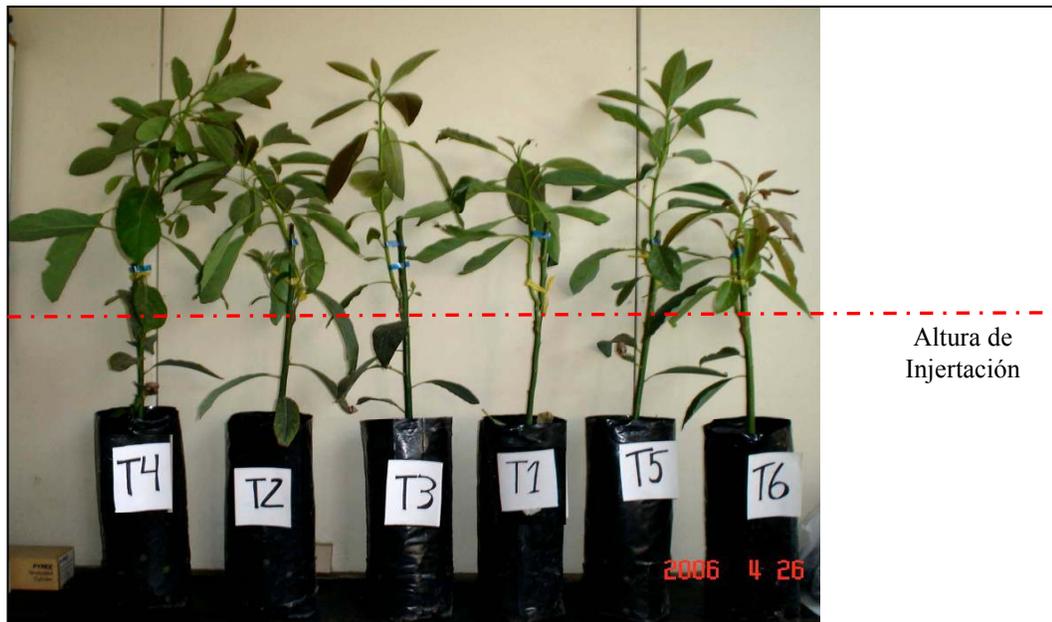


Figura 10. Comparación final del crecimiento de las plantas en los distintos tratamientos.

Materia seca.

El Cuadro 9 muestra que solo existen diferencias significativas entre los tratamientos para las variables $MS_{raíz}$, $MS_{patrón}$, $MS_{injerto}$ y para la relación $MS_{aérea} / MS_{radical}$, sin encontrarse diferencias para la variable MS_{planta} .

Se puede observar en el Cuadro 9, que para la materia seca de raíces, se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento 4 y el testigo, donde es el testigo el que presenta los mayores valores. Los restantes tratamientos ocupan valores intermedios, no existiendo diferencias significativas entre estos.

En el Cuadro 9, se puede observar, que existe un desequilibrio importante entre $MS_{aérea}$ y $MS_{radical}$ en los tratamientos 3 y 4, manifestado por su alto índice $MS_{aérea}/MS_{radical}$, en comparación con los restantes tratamientos. Lo anterior, posiblemente se debería, a que cuando existe un aumento en el suministro de nutrientes en árboles que han evolucionado bajo altos regímenes de nitrógeno, como el palto, se genera una mayor cantidad de materia seca en hojas y tallos en desmedro del crecimiento radical (Keyes y Grier, 1981, Citado por Whiley, 1990). Este comportamiento sería normal y se produciría cuando las raíces son capaces de proveer de agua y nutrientes a la planta sin necesidad de aumentar su exploración, con lo cual los fotoasimilados serían destinados en mayor grado al crecimiento de la parte aérea⁵.

⁵ Saavedra, E. Dr. Ing. Agrónomo, especialista en fruticultura. Universidad de Chile. Departamento de Producción Agrícola. 2006 (Comunicación personal).

Cuadro 9. Valores de materia seca obtenidos al finalizar el ensayo, para cada tratamiento.

Tratamiento	MS _{raiz}	MS _{patrón}	MS _{injerto}	MS _{planta}	MS _{aerea/}
	g				MS _{radical}
1	15,65 a,b ¹	12,68 a	10,01 a,b	40,08 a	1,42 a
2	15,64 a,b	15,51 a,b	11,68 a,b	43,06 a	1,71 a
3	15,03 a,b	21,83 b	13,94 b	48,75 a	2,36 b
4	11,69 a	17,09 a,b	12,00 a,b	40,78 a	2,43 b
5	16,16 a,b	18,03 a,b	10,54 a,b	42,75 a	1,72 a
Testigo	16,81 b	17,21 a,b	7,38 a	40,90 a	1,49 a

¹ Letras diferentes en cada columna indican que existen diferencias significativas. SNK ($p \geq 0,05$)

Yusof, Buchanan y Gerber (1969), estudiando el efecto de distintas temperaturas en el crecimiento de palto de raza mexicana, presentan en sus resultados (Anexo II) relaciones de materia seca aérea y radical también desequilibradas, con una tendencia a ser mayor el peso seco de la parte aérea en todos sus tratamientos. Un comportamiento similar se presenta en los resultados entregados por Ploetz y Schaffer (1992) quienes estudiaron el efecto del anegamiento y del ataque de *Phytophthora* Root Rot en palto (Anexo III).

Dentro de los principales factores que afectan el desarrollo y distribución de las raíces tanto vertical como horizontalmente, se encuentran: la textura del suelo, compactación, espacio de aire, humedad del suelo y las características genéticas de la planta (Salazar y Cortés, 1986). Considerando lo anterior, se podría suponer un mayor desarrollo radical en los tratamientos 3 y 4, que son los que presentarían comparativamente las mejores condiciones físicas, sin embargo la materia seca de raíces para estos tratamientos se presenta baja, esto podría ser causa de un mejor aporte nutricional que provoca una descompensación en los crecimientos (Keyes y Grier, 1981, Citado por Whiley, 1990). También sería posible que el uso de la materia seca, como índice de crecimiento de raíces, no sea una forma eficaz de evaluarlo, ya que no discrimina entre raíces activas y raíces estructurales.

En el palto, la absorción de agua y minerales se supone a menudo que ocurre exclusivamente por la parte más joven del sistema radicular; es decir, ápices y pelos radiculares (Roncagliolo, 2001). Sin embargo, Silva y Rodríguez (1995) comentan que la absorción por las raíces blancas y leñosas es similar considerando la superficie, pero más alta si solo se considera el volumen en raíces blancas. Tomando en cuenta lo anterior, resulta difícil discriminar en base a masa seca, ya que las raíces activas son muy finas y no lignificadas, por lo que su aporte en masa es mucho menor al aporte que estas podrían tener en base a volumen. En la observación de los sistemas radicales se pudo establecer diferencias morfológicas donde las raíces que crecían en ciertos sustratos se mostraban mucho más ramificadas que en otros (Figura 11).

Durand y Claassens (1987) encontraron que palto creciendo en un suelo con limitantes físicas importantes para el desarrollo de raíces poseía un mayor peso seco total de raíces en

comparación con plantas creciendo en suelos sin aparentes limitantes. Las que además mostraban un menor porcentaje de raíces absorbentes (<1 mm). Este comportamiento se asemeja bastante al encontrado en el presente ensayo, ya que el tratamiento 4, que posee las mejores características físicas, posee el menor valor de materia seca total de raíces (Cuadro 9), sin embargo, se pudo observar que el desarrollo de raíces finas fue mucho mayor que en el testigo (Figura 11).

En la Figura 11 se puede apreciar la gran diferencia de color entre las raíces, así el tratamiento 4 y 3 muestran una mayor cantidad de raíces con coloraciones más claras o blancas correspondientes a raíces activas. Por el contrario los tratamientos 1 y testigo poseen una preponderancia de raíces de coloraciones pardas y negras a violáceas, donde las primeras corresponderían a raíces lignificadas y las segundas raíces con distinto nivel de pudrición. También resulta interesante considerar la distribución de las raíces del tratamiento 1, que muestra raíces bastante ramificadas pero que no ocupan completamente el volumen del contenedor, esto podría deberse a la baja capacidad de almacenamiento de agua del sustrato (Cuadro 2), que generaría una zona de mojado de forma alargada, siendo la única zona en donde sería factible el crecimiento de raíces. El tratamiento 2 logró un mayor nivel de exploración horizontal pudiendo desarrollar raíces más cercano a la superficie. El tratamiento 3 produjo una menor ramificación de raíces pero estas parecieran distribuirse de mejor forma en el contenedor. El tratamiento 4 muestra claramente un mayor desarrollo de ramificaciones con una gran capacidad de exploración del medio y con una muy pequeña cantidad de raíces estructurales de mayor diámetro. Por su parte, el tratamiento 5 posee un crecimiento ramificado pero con una preponderancia a desarrollar mayor cantidad de raíces absorbentes en los niveles más profundos. Finalmente, el tratamiento 6 posee un crecimiento pobre con una gran cantidad de raíces lignificadas de mayor diámetro y con una preponderancia a generar raíces absorbentes en los niveles superiores.

Los árboles de paltos poseen raíces absorbentes suberizadas relativamente ineficientes y con alto requerimiento de oxígeno (Wolstenholme y Whiley, 1999). Lo anterior unido a una baja frecuencia de pelos radicales y una baja conductividad hidráulica (Wolstenholme, 1987) provocaría una variación diurna excesiva en el contenido de agua del árbol (Sterne *et al.*, 1977; Whiley *et al.*, 1986), lo anterior afectaría el crecimiento del árbol en las etapas de mayor demanda evapotranspirativa, esto podría explicar el menor crecimiento de las plantas alcanzado en el tratamiento 1, ya que estas se desarrollaron en un medio con una baja capacidad de retención de humedad y con una baja capacidad de aire (Cuadro 2) lo que produjo un sistema radicular poco desarrollado, que a su vez provocaron que el agua y el oxígeno estuvieran disponible para las planta que en los restantes tratamientos.

El palto es una especie muy sensible tanto al déficit como al exceso de agua (Carrasco, 1996) además el patrón utilizado es muy susceptible a pudrición de la raíz (Newett *et al.*, 2002). Por lo que resultan deseables para un sustrato una adecuada capacidad de almacenamiento de agua (CAA), junto a una cantidad aceptable de oxígeno. Esto no se presentaría en el sustrato testigo lo que explicaría su bajo crecimiento. Por su parte el tratamiento 1, posee una baja capacidad de aire y alta CAA, por lo que se podría haber

generado una condición de anoxia durante ciertos periodos, que afectaría el desarrollo radicular y el de la planta, esto unido a la gran cantidad de raíces podridas, habrían generado una reducción en el crecimiento de este tratamiento, ya que se ha encontrado que estos factores se potenciarían en la reducción de la producción de biomasa en el palto (Schaffer y Whiley 2002).



Figura 11. Diferencias en morfología y crecimiento de las raíces en los distintos sustratos.

La variable materia seca de patrón presenta diferencias significativas entre el tratamiento 3 y el testigo, presentando este último el menor valor entre los tratamientos. Para la variable materia seca del injerto se pueden distinguir diferencias significativas entre los tratamientos 3 y el testigo, siendo el tratamiento testigo el que presentó los menores valores entre los tratamientos.

No se evidenciaron diferencias significativas en el peso seco de plantas completas lo cual indicaría que las plantas de todos los tratamientos generaron un nivel semejante de materia seca, solo que los tratamientos 3 y 4 destinaron sus asimilados en la generación de mayor biomasa aérea desfavoreciendo el crecimiento radicular (expresado como materia seca) y los restantes parecieran haber distribuido estos asimilados de manera más equitativa entre la

parte aérea y las raíces. El comportamiento encontrado se debería posiblemente a que la planta, al poseer un aporte suficiente de agua y nutrientes por las raíces tiende a no aumentar el crecimiento de estas últimas y así destinar los asimilados a un mayor desarrollo de la parte aérea.

El análisis de correlación entre las variables de materia seca, arrojó que existía una correlación moderada positiva, entre MS patrón y MS injerto donde se obtuvo un R (Pearson) igual a 0,417, mientras que para la MS patrón y MS raíz el coeficiente de correlación fue de 0,408, ambos coeficientes significativos a un nivel de 0,01.

Análisis Nutricional

La fecha óptima recomendada para la toma de muestras de hojas en paltos es durante los meses de marzo a abril ya que entre los meses de otoño e invierno la concentración de N, P, K, S, Cu, B, Zn tienden a mantenerse constante; mientras que las de Mn, Fe, Ca, Mg, Cl y Na sufren un aumento relativamente menor (Lahav y Whiley, 2002). La edad de las hojas puede ser generalmente de 3 a 4 meses (Lahav y Whiley, 2002). En el presente estudio la toma de muestras se efectuó el día 17 de Mayo del año 2005 y los resultados de este análisis se encuentran en el Cuadro 11.

Es importante considerar que todos estos rangos de valores óptimos están referidos para plantas en huertos productivos de 3 o más años y no para plantas de vivero, ya que no se encontraron referencias para esta especie en plantas de vivero.

Cuadro 11 Resultados del análisis foliar efectuado a hojas del injerto de aproximadamente 4 meses de edad.

Tratamiento	N total	P	K	Ca	Mg	Cl	Na	Zn	Mn	Fe	Cu
	-----%-----							-----ppm-----			
1	2,07 ¹	0,27	3,34	0,93	0,38	0,05	0,04	26	587	141	6
2	2,18	0,27	3,33	0,94	0,35	0,13	0,04	28	583	91	5
3	2,25	0,29	2,41	0,88	0,34	0,11	0,04	25	611	78	4
4	2,04	0,26	3,49	0,89	0,3	0,11	0,04	35	555	85	4
5	1,9	0,31	3,11	0,88	0,35	0,14	0,03	18	487	81	4
Testigo (6)	2,32	0,29	2,6	0,98	0,42	0,19	0,04	32	505	78	6
Adecuado	2,0-2,5	0,10-0,25	0,75-0,20	1,0-3,0	0,25-0,80	< 0,25	<0,25	30-150	30-500	50-200	5-15

¹Los valores considerados como adecuados son entregados por laboratorios de análisis Agrolab Ltda.

El nitrógeno es el elemento con mayor porcentaje dentro de las hojas de palto. Para la var. Hass se recomienda como valor óptimo un porcentaje dentro de 2,0 al 2,4% (Rosenberg, 1990). En el estudio, la mayoría de los tratamientos se encuentran dentro del rango recomendado (Cuadro 11), siendo los tratamientos 1 y 4 los que más se acercarían al nivel óptimo. El tratamiento 5 es el que presenta los valores de N(%) más bajos, los cuales se encontrarían por sobre el nivel crítico de 1,8% para la variedad (Lahav y Whiley, 2002).

Los niveles de fósforo en las muestras de todos los tratamientos se presentan mayores a los niveles considerados como óptimos (Embleton, 1984; Rosenberg, 1990 y Lahav y Whiley, 2002). Lo anterior se podría deber a que en los viveros es común la aplicación de gran cantidad de nitratos como forma de favorecer un rápido crecimiento⁶ y un aumento en las aplicaciones de nitrógeno en paltos, provoca un aumento en la concentración foliar de fósforo (Hass, 1947; Lynch *et al.*, 1954 y Embleton *et al.*, 1958). Un aumento en la concentración de Mn contribuiría también a aumento de la concentración de fósforo (Trazy, 1991).

La concentración de potasio en las hojas supera ampliamente lo recomendado como óptimo (Embleton, T. 1984; Rosenberg, 1990 y Lahav y Whiley, 2002). Embleton (1958) informó que un aumento en los niveles de nitrógeno no provocaría efecto en la concentración de K, mientras que Lahav, Bar y Kalmar (1990) registraron una disminución de la concentración de potasio. Sin embargo, SQM (2006) señala que una entrega de nitrógeno en forma de nitratos, como se realizó en el presente ensayo, favorecería un aumento de la concentración de potasio a nivel foliar. Para Rosenberg (1990) un nivel de 3% sería excesivo, mientras que para Lahav y Whiley (2002), este valor sería de 4%. Resulta interesante notar que los tratamientos testigo y 3 presentan los mayores valores de N y los menores de K, lo que coincidiría con lo encontrado por Lahav, Bar y Kalmar (1990), los restantes tratamientos presentan niveles de K mayores que 3% y menores a 4%. Es importante considerar que en huertos productivos un gran consumidor del K^+ sería el fruto (Fichet, 2006), en el caso de plantas de viveros este consumidor primario no existe, lo que podría explicar un aumento en la concentración foliar de este elemento. Otra causa posible es descrita por Trazy (1991) menciona que un aumento en la concentración de Mn derivaría en un aumento en la concentración de K^+ .

Los niveles de Ca^+ se muestran bajo el rango óptimo, destacando los tratamientos 3 y 5 con los menores valores relativos. SQM (2006) menciona que existe cierto antagonismo entre el K^+ , que en el ensayo se muestra como excesivo, y el Ca^+ . El Ca^+ es poco móvil dentro de la planta y las plantas solo fueron fertilizadas con Nitrato de Calcio en las primeras etapas del ensayo, por lo que una parte importante del Ca^+ absorbido en esta primera etapa, se habría perdido con el despunte del patrón, lo que explicaría en parte el bajo nivel de este catión encontrado en las hojas del injerto. Conjuntamente, a niveles demasiado bajos de pH o con altos niveles de K^+ , este catión puede encontrarse a niveles deficiente (Handreck y Black, 2002).

Para el Mg^+ se consideran adecuados valores entre 0,25 y 0,8% (Lahav y Whiley, 2002), por lo que todos los tratamientos presentarían dentro de estos niveles.

El portainjerto mexícolá es muy susceptible a la quemazón de hojas bajo condiciones de salinidad y alta acumulación de sodio en las hojas (Newett *et al.*, 2002). Las mediciones del

⁶ Razeto, B. MSc. Ing. Agrónomo. Profesor titular Universidad de Chile. Cátedra de Frutales de Hoja persistente. 2006 (Comunicación personal).

nivel de sodio y cloruros en las hojas se realizaron para descartar posibles toxicidades causadas por estos iones, lo que se corroboró, debido a que todos los tratamientos presentaron menos de 0,25% de estos elementos.

En cuanto a los niveles foliares de Zinc, se obtuvo que sólo los tratamientos 4 y testigo obtuvieron valores dentro del rango considerado como óptimo, todos los restantes obtuvieron valores deficientes. Para Lahav y Whiley (2002), la concentración de éste elemento en las hojas se mantendría constante entre primavera e invierno, por lo cual sería posible descartar una influencia causada por la fecha de colecta. Para el mismo autor el tratamiento 5 poseería un nivel deficiente. Por su parte, Crowley *et al.* (1994) reportan que pueden existir deficiencias temporales de Zn cuando hay aplicaciones de fertilizantes nitrogenados y fosfatados.

La concentración foliar de Mn considerada como adecuada se encuentra entre 30 y 500 ppm (Lahav y Whiley, 2002), teniendo como valores excesivos los que superen las 1000 ppm (Trazy, 1991). Es así como la mayoría de los tratamientos presentan valores mayores a lo óptimo pero menores al valor considerado como excesivo. Una condición de bajo pH junto a una condición reductiva provocarían un aumento en la solubilidad del Mn (Puustjärvi, 1996 y Trazy, 1991), conjuntamente a lo anterior el Mn desplazaría de los sitios de intercambio a otros cationes en el siguiente orden Mg, Ca, NH₄, Na y K (Trazy, 1991). Lo anterior sería coincidente a los resultados obtenidos, ya que el tratamiento 3 es el que presentó los menores valores de pH y es el que presentó la mayor concentración foliar de este elemento. Siguiendo el mismo comportamiento, el tratamiento 5 es el que posee la menor concentración de Mn foliar y a su vez posee valores de pH comparativamente altos y una mayor capacidad de aire (%VEA) que los restantes tratamientos (Cuadro 2 y Figura 5). El nivel de Mn, es considerado como una buena alternativa para determinar posibles problemas de mal drenaje (Lobato, 2006).

Todos los tratamientos presentaron concentraciones de Fe foliar dentro del rango considerado como óptimo. Sin embargo se destaca el tratamiento 1, con 144 ppm, en relación a los tratamientos 3 y testigo con solo 78 ppm. Finalmente el cobre muestra concentraciones con niveles bajos a deficientes. Siendo esta una característica de los tratamientos 3,4 y 5. Puustjärvi (1996) señala que la turba retiene fuertemente el Cu formando complejos de baja solubilidad. Lo anterior podría explicar el comportamiento de los tratamientos 2,3 y 4; no siendo explicable por lo anterior el valor del tratamiento 5, el cual no posee turba.

CONCLUSIONES

Es posible caracterizar física, química y biológicamente mezclas de materiales utilizadas como sustrato y determinar cambios en estas características una vez finalizado el periodo de propagación.

En base a los resultados, no es posible establecer un sustrato que posea mejores índices de crecimiento en todas las variables. Sin embargo es posible distinguir que la mayoría de los sustratos propuestos (a excepción del tratamiento 1) logran mejores resultados de crecimiento que el testigo, por lo que es posible aumentar el crecimiento de las plantas o adelantar el término de la propagación con la utilización de las mezclas propuestas.

Todos los sustratos presentan una estabilidad biológica adecuada para el uso en propagación de plantas, dentro de los cuales el testigo presenta los menores índices de estabilidad.

Se encontró que todos los sustratos modifican sus características físicas y químicas durante el periodo de propagación, pudiendo estos cambios afectar el crecimiento de las plantas. Conjuntamente, en todos los tratamientos, se presentó una modificación de la densidad aparente, pH y CE a diferentes profundidades del contenedor.

La mayoría de los sustratos presentes son factibles de utilizar en propagación de palto, para lo cual es necesario adaptar el manejo en el vivero, para cada tipo de sustrato. Sin embargo, los tratamientos 3 y 4 poseen características físicas recomendables para su uso.

El tratamiento 3 logra el mayor valor, en cinco de las ocho variables de crecimiento (altura de planta, diámetro de patrón, materia seca de planta, materia seca de patrón y materia seca de injerto). Por su parte el tratamiento 2 posee el mayor diámetro de injerto, el tratamiento 4 la mayor altura de injerto y el testigo logra el mayor valor de materia seca radical.

Las plantas de palto var. Hass injertadas sobre patrón Mexícola de semilla, presentaron un desequilibrio entre la materia seca aérea y radical, acentuándose este desequilibrio cuando las plantas logran un mayor crecimiento aéreo.

No se encontraron diferencias importantes en los niveles foliares de nutrientes entre los tratamientos, sin embargo los niveles de algunos elementos son muy elevados en relación a los niveles de estos elementos en hojas de palto provenientes de huertos productivos, por lo cual es imperioso profundizar la investigación en esta área.

Debido a los mejores resultados obtenidos con los sustratos propuestos, resulta necesario realizar un estudio técnico-económico comparativo, que permita establecer la conveniencia del uso de cada uno de estos sustratos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M; Martínez, M; Martínez, P. y Martínez, J. 1992. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. I Jornada de sustratos. Actas de Horticultura 11: 141-154.
- Abad, M; Noguera, P y Carrión, C. 2004. Los sustratos en os cultivos sin suelos. pp. 113-158. In: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona, España. 911p.
- Aguilera-Montañez, J. and Salazar-García, S. 1991. The avocado industry in Michoacán, Mexico. South African Avocado Grower's Association Yearbook 14: 94-97.
- Álvarez de la Peña, F. 1981. El Aguacate. Tercera edición. Publicaciones de extensión agraria. Madrid. 225 p.
- Alves de Oliveira, A., Carlos-Koller, O. y Villegas-Monter, A. 1999. Propagación vegetativa de aguacate selección 153 (*Persea sp.*) por acodo en contenedor. Revista Chapingo. Serie Horticultura 5: 221-225.
- Ansorena, J. 1994. Sustratos: Propiedades y caracterización. Grupo Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Argo, W. 1998a. Root medium chemical properties. HortTechnology, 8(4): 486-494.
- Argo, W. 1998b. Root medium physical properties. HortTechnology, 8(4): 481-485.
- Baixauli, C. y Aguilar, J. 2002. Cultivo de hortalizas sin suelo. Aspectos prácticos y experiencias. Generalitat Valenciana. Conselleria D'Agricultura, Peixca i Alimentacio. 110 p.
- Bender, G. and Whiley, A. 2002. Propagation. pp.189-211. In: Whiley, A. Schaffer, B. and Wolstenholme, B. (Eds.). Avocado: Botany, production and uses. CAB International. 416 p.
- Biernbaum, J. 1992. Root zone management of greenhouse container-grown crops to control water and fertilizer use. Hort Technology 2(1):127-132.
- Biran, Y. and Eliassaf, A. 1980. The effects on container size and aeration on growth of roots and canopy of woody plants. Sci. Hort. 12: 385-394
- Brown, F. and Pokorny, F. 1975. Physical and Chemical properties of media composed of milled pine bark and sand. Journal American Society Horticultural Science. 106: 742-746

Bunt, A. 1960. Some physical properties pot-plant compost and effect on plant growth. *Plant and Soil* 12 (4): 322-332

Burés, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotecnicas S.L. Madrid, España. 342p.

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 Martínez, X. Seminario internacional sobre sustratos para uso en agricultura. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 3 de Noviembre del 2005.

Buckman, H. and Brady, N. 1969. *The nature and properties of soils*. Seventh edition. The Macmillan Company. United States of America. 653p.

Carrasco, O. 1996. Optimización del riego y manejo del agua. pp. 53-60. *In*: Razeto, B. y Fichet, T. (Ed). 1997. *Cultivo del palto y perspectivas de mercado*. Publicaciones misceláneas agrícolas N° 45. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 123 p.

Castro, M. 1990. Propagación, portainjertos y reinjertación de palto. pp. F1-F14. *In*: Undurraga, P., De Kartzow, A., Soto, H., y Feito, X. Curso internacional, Producción, postcosecha y comercialización de paltas. 2 al 5 de Octubre de 1990. Viña del mar, Chile. Universidad Católica de Valparaíso y FAO. 262p.

Crowley, D., Woody, S. and Faber, B. 1994. Zinc nutrition of avocado. *California Avocado Society Yearbook* 78:155-165

De Boodt, M. and Verdonck, O. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *ISHS, Acta Horticulturae* 26:37-44.

Dickey, R; Mc Elwee, E; Conover, C. and Joiner, J. 1978. Container growing of woody ornamental nursery plant in Florida. University of Florida. Agricultural experimental Station, Gainesville. *Bulletin* 793: 24-35.

Durand, B. and Claassens, N. 1987. Root distribution of avocado trees in different soil types. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 1987. 10:15-19.

Embleton, T., Garber, M., Jones, W. and Richards, S. 1958. Effects of irrigation treatments and rates of nitrogen fertilization on young Hass avocado trees. IV. Macronutrient content leaves. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science* 71: 310-314.

Embleton, T. 1984. Nutrición y fertilización en paltos. *ACONEX* 8: 47-48

Ettisa, E., Seifu, M. and Ravishanker, H. 2003. Influence of potting media types and weights on emergence and shoot growth of avocado (*Persea americana* Mill.) seedlings. *In: Fruits* 58: 345-356. Disponible en: <http://www.edpsciences.org/articles/fruits/abs/2003/06/I3603/I3603.html>. Leído el: 27 de Marzo de 2006

Fassbender, H. 1975 Química de Suelos, con énfasis en los suelos de América latina. Editorial IICA. Costa Rica. 398p.

Fichet, T. 2006. Establecimiento del fruto como polo de atracción de elementos nutritivos. *In: Tercer seminario internacional de fertirrigación*. Santiago, Chile. 10 y 11 de agosto del 2006.

Gardiazabal, F. 1990. Variedades e implantación. pp. C1-C25. *In: Undurraga, P., De Kartzow, A., Soto, H., y Feito, X.* Curso internacional, Producción, postcosecha y comercialización de paltas. 2 al 5 de Octubre de 1990. Viña del mar, Chile. Universidad Católica de Valparaíso y FAO. 262p.

Gardiazabal, F. y Rosenberg, G. 1991. El cultivo del palto. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. 202p. Disponible en: http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/G-H-I/GardiazabalFrancisco1991.pdf. Leído el: 10 de Octubre del 2006.

Gras, R. 1987. Propriétés physiques des substrats. pp. 81-126. *In: Les Cultures Hors Sol*. 2nd Ed. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, Francia. 203 p.

Greer, L. 2005. Plug and transplant production for organic system. ATTRA, National sustainable agriculture information center. 16p. Disponible en: <http://www.attra.org/attra-pub/PDF/plugs.pdf>. Leído el: 07 de Octubre del 2006.

Hanan, J., Olympios, C. and Pittas, C.. 1981. Bulk density, porosity, percolation and salinity control in shallow, freely draining, potting soils. *Journal of American Society of Horticultural Science* 106: 742-746.

Handreck, K. and Black, N. 2002. Growing Media for Ornamental Plants and Turf. UNSW Press. Tercera edición. 550p. Disponible en: <http://books.google.cl/>. Leído el: 27 de Septiembre del 2006.

Hartmann, H. y Kester, D. 1999. Propagación de plantas: principios y practicas, Traducción Marino, A. Séptima edición. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. 759p.

Hass, A. 1947. Nitrogen Effects on Avocado Seedlings in Soil Cultures. California Avocado Society. Yearbook 31: 51-54

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

Iskander, R. 2002. Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta. *In*: Segundo simposio nacional de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México, Buenavista, Saltillo, Coahuila, 8 de octubre del 2002.

Jeangille, P. 1991. Sustratos para la horticultura en regiones tropicales y subtropicales. Traducido por Figueroa, J. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 76p.

Knight, R. 2002. History, Distribution and Uses. pp. 1-14. *In*: Wiley, A. Schaffer, B. and Wolstenholme, B. (Ed). 2002. Avocado: Botany, production and uses. CAB International. 416 p.

Lahav, E. and Wiley, A. 2002. Irrigation and mineral nutrition. pp.259-297. *In*: Wiley, A. Schaffer, B. and Wolstenholme, B. (Ed). 2002. Avocado: Botany, production and uses. CAB International. 416 p.

Lahav, E., Bar, Y. and Kalmar, D. 1990. Effect of nitrogenous fertilization on the annual variations in nutrients in avocado leaves. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 21: 1353-1365.

Lemus, G., Ferreira, R., Gil, P., Maldonado, P., Toledo, C y Barrera, C. 2005. El cultivo del Palto. Instituto de investigaciones agropecuarias. Boletín INIA N° 129. 75p.

Lobato, A. 2006. Causas de la baja sustentabilidad productiva en el cultivo del palto. Paltas, Ciclo de seminarios frutícolas de actualización técnico-comercial. 3 y 4 de Mayo del 2006.

Lynch, J., Goldweber, S. and Rich, C. 1954. Some effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield, tree growth, and leaf analysis of avocados. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 67:220-224.

Magán, J. 2005. La agricultura sin suelo en la región mediterránea. 18 p. *In*: CANAGUA. X Salón internacional de agua, energía y medio ambiente. 16 al 19 de Noviembre del 2005. Institución ferial de canarias. Las Palmas de Gran Canaria. España. Disponible en: <http://www.canagua.com/es/pdf/agricultura.pdf> Leído el: 23 de Septiembre del 2006.

Maganjo, M. 1975. Observations on vegetative propagation of avocados (*Persea Americana*) at Thika. *Acta Horticulturae (ISHS)* 49: 91-94. Disponible en: http://www.actahort.org/books/49/49_11.htm Leído el: 10 de Octubre del 2006.

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 Martínez, X. Seminario internacional sobre sustratos para uso en agricultura. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 3 de Noviembre del 2005.

- Merino, D. y Ansorena, J. 1990. Nitratos en hortalizas. *Revista Sustrai* 20: 39-41.
- Messerer, D. 1998. Sustratos alternativos en la propagación de palto (*Persea americana*). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. 85 p.
- Morales, C. 1995. Elaboración de sustratos para su utilización en propagación de plantas frutales, a partir de materiales no tradicionales. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. 150 p.
- Nelson, P. 1991. *Greenhouse Operation and Management*. 4th Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA. 611p.
- Newett, S., Crane, J. and Balerdi, C. 2002. Cultivars and rootstocks. pp.161-187. *In*: Wiley, A. Schaffer, B. and Wolstenholme, B. (Ed). *Avocado: Botany, production and uses*. CAB International. 416 p.
- Ortúzar, J. 1996. Situación y perspectivas del palto en el mundo. pp.1-7. *In*: Razeto, B. y Fichet, T. (Ed). 1997. *Cultivo del palto y perspectivas de mercado*. Publicaciones misceláneas agrícolas N° 45. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 123 p.
- Ploetz, R. and Schaffer, B. 1992. Effects of Flooding and Phytophthora Root Rot on Net Gas Exchange of Avocado in Dade County, Florida. pp.111-117. *In*: *Second World Avocado Congress 1992*
- Pochon, J. et Tardieux, P. (1962). *Techniques d'analyse en microbiologie du sol*. Francia Paris. Tourrelle St-Mande (Ed). 111 p.
- Puustjärvi, V. 1996. *La turba y su manejo en la horticultura*. Ediciones Horticultura, S. L. 123 p.
- Richard, M. 2006. Effect of nursery media particle size distribution on container-grown woody ornamental production. Thesis Master of Science. Faculty Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. 86p.
- Rojas, C. 2006. Caracterización de residuos silvoagropecuarios y agroindustriales con mayor aptitud y potencial para ser usados como materias primas en la elaboración de sustratos de uso agrícola en Chile. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 43p.
- Roncagliolo, M. 2001. Efecto de dos sistemas de riego presurizado, goteo y Microchorro, sobre el lavado de sales, crecimiento Vegetativo y reproductivo del palto (*Persea*

americana Mill) cv. Hass, en la zona de Mallarauco. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. 122p.

Rosenberg, G. 1990. Fertilización del palto en Chile. pp.G1-G10. *In*: Undurraga, P., De Kartzow, A., Soto, H., y Feito, X. Curso internacional, Producción, postcosecha y comercialización de paltas. 2 al 5 de Octubre de 1990. Viña del mar, Chile. Universidad Católica de Valparaíso y FAO. 262p.

Santibáñez, C. 2002. Diseño y evaluación de una planta de compostaje para tratamientos de residuos de origen vegetal. Químico Ambiental, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias. Santiago, Chile. 93 p.

Salazar, S. and Cortés, J. 1986. Root Distribution of Mature Avocado Trees Growing in Soils of Different Texture. California Avocado Society. Yearbook 70: 165-174

Schaffer, B. and Whiley, A. 2002. Environmental Physiology. pp.135-160. *In*: Whiley, A., Schaffer, B. and Wolstenholme, B. (Ed). 2002. Avocado: Botany, production and uses. CAB International. 416 p.

Siegel, S. 1956. Non parametric statistics the for behavioral sciences. McGraw-Hill. NX. 312 p.

Silva, H y Rodríguez, J. 1995. Fertilización de plantaciones frutales. Alfabeta Impresores. 519p.

SQM (Soquimich Comercial S.A.). 2006. Fundamentos básicos de la nutrición vegetal aplicados a la producción de paltos. 22p.

Spomer, L. 1974. Optimizing container soil amendment the threshold proportion and prediction of porosity. HortScience 9: 532-533

Sterne, R., Kaufmann, M. and Zentmyer, G. 1977. Environmental effects on transpiration and leaf water potential in avocado. Physiologia Plantarum 41: 1-6.

Styer, R. and Koranski, D. 1997. Plug and transplant production. A grower's guide. Ball Publishing, Batavia, IL. 400p.

Terés V. 2001. Relación aire agua en sustratos de cultivos como base para el control de riego. Metodología de laboratorio y modelización. Tesis Doctor Ingeniero Agrónomo, Escuela técnica superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, España. 531p

Trazy, J. 1991. Manganese Toxicity in Avocado (*Persea americana* Mill.). California avocado society. Yearbook 75:147-158.

USCC (The composting council research and education foundation) 2001. Test methods for the examination of composting and compost. TMCC Method: 03.09; 04.02; 05.07 USCC.

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.

Verdonck, O., Penninck, R., and De Boodt, M. . 1984. The physical properties of different horticultural substrates. ISHS, Acta Horticulturae 150: 155-160.

Whiley, A; Peeg, K; Saranah, J. and Forsberg, L. 1986. The control of *Phytophthora* root rot of avocado with fungicides and the effect of this diseases on water relations, yields and ring neck. Australian Journal of Experimental Agriculture, 26: 249-253.

Whiley, A. 1990. Nutrición-Una herramienta estratégica para lograr una alta productividad y calidad en el cultivo del palto. pp.H1-H14. In: Undurraga, P., De Kartzow, A., Soto, H., y Feito, X. Curso internacional, Producción, postcosecha y comercialización de paltas. 2 al 5 de Octubre de 1990. Viña del mar, Chile. Universidad Católica de Valparaíso y FAO. 262p.

White, R. 1997. Principles and Practice of Soil Science: the soil as a natural resource. Third edition. Blackwell Publishing. 348 p. Disponible en: <http://books.google.com>. Leído el: 10 de Julio de 2007

Wolstenholme, B. 1987. Theoretical and applied aspects of avocado yield as affected by energy budgets and carbon partitioning. South African Avocado Growers' Association Yearbook 10, 58-61.

Wolstenholme, B. and Whiley W. 1999. Ecophysiology of the avocado (*Persea americana* Mill.) tree as a basis for pre-harvest management. Revista Chapingo. Serie horticultura. Número Especial V: 77-88.

Wolstenholme, B. 2002. Ecology: Climate and the edaphic environment. pp.71-99. In: Whiley, A. Schaffer, B. and Wolstenholme, B. (Ed). 2002. Avocado: Botany, production and uses. CAB International. 416 p.

Yusof, I.; Buchanan, D. and Gerber, J. 1969. The Response of Avocado and Mango to Soil Temperature. Journal of American Society of Horticultural Science 94(6):619-621.

Zar, J. 1974. Biostatistical analysis. Prentice Hall, Inc. NJ. 620 p.

APENDICES

Apéndice I: Proceso de injertación. Izquierda: Procedimiento de corte para un injerto de aproximación por empalme lateral. Derecha: Injerto de aproximación por empalme lateral.



Apéndice II. Forma de entrega de fertilizantes mediante fertiriego durante el ensayo. La mayoría de las fechas exactas de aplicación de cada fertilizante son coincidentes con las fechas de riegos. Se efectuaron riegos intercalados sin fertilizantes los cuales no se señalan.

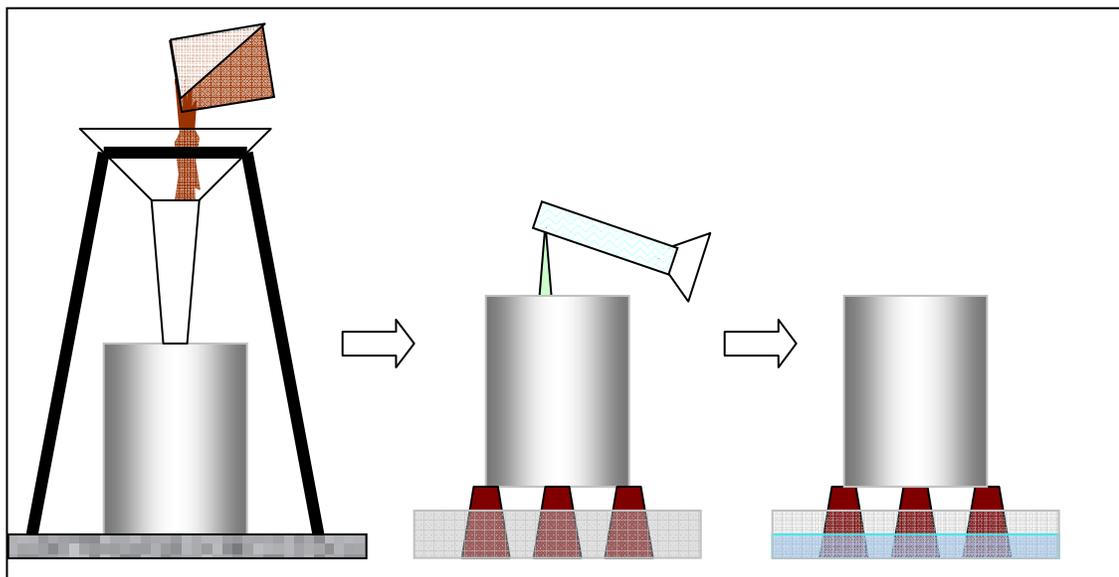
Mes	Semana	Fertilizantes	Enmienda	N-P-K
Septiembre	01 al 15	Cl/NO ₃ (K, Ca, Mg)	-	? *
Septiembre	15 al 30	Cl/NO ₃ (K, Ca, Mg)	-	?
Octubre	01 al 15	Cl/NO ₃ (K, Ca, Mg)	-	?
Octubre	15 al 31	Cl/NO ₃ (K, Ca, Mg)	-	?
Noviembre	01 al 15	Cl/NO ₃ (K, Ca, Mg)	-	?
Noviembre	Una aplicación	-	Acido fosfórico	-
Noviembre	15 al 30	Ultrasol Crecimiento	-	25-10-10
Diciembre	01 al 15	Ultrasol Crecimiento	-	25-10-10
Diciembre	15 al 31	Ultrasol Crecimiento	-	25-10-10
Enero	01 al 15	Ultrasol Crecimiento	-	25-10-10
Enero	15 al 31	Ultrasol Crecimiento	-	25-10-10
Febrero	01 al 15	Ultrasol Crecimiento	-	25-10-10
Febrero	15 al 28	Ultrasol Crecimiento	-	25-10-10
Marzo	Dos Aplicaciones	Ultrasol Postcosecha	-	13-13-36

Grado no se indica ya que el viverista no entregó la composición porcentual exacta de la mezcla.

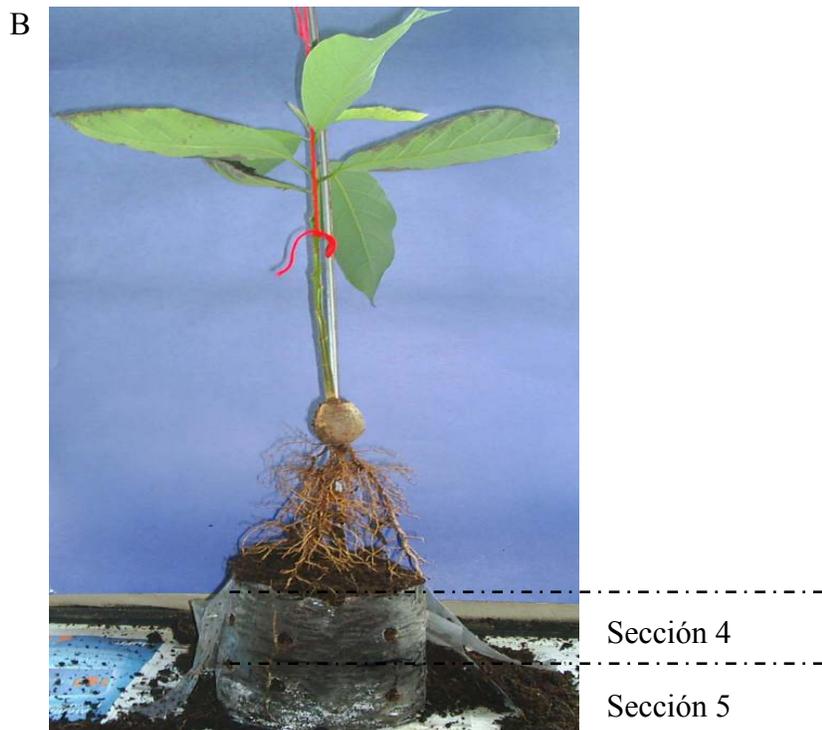
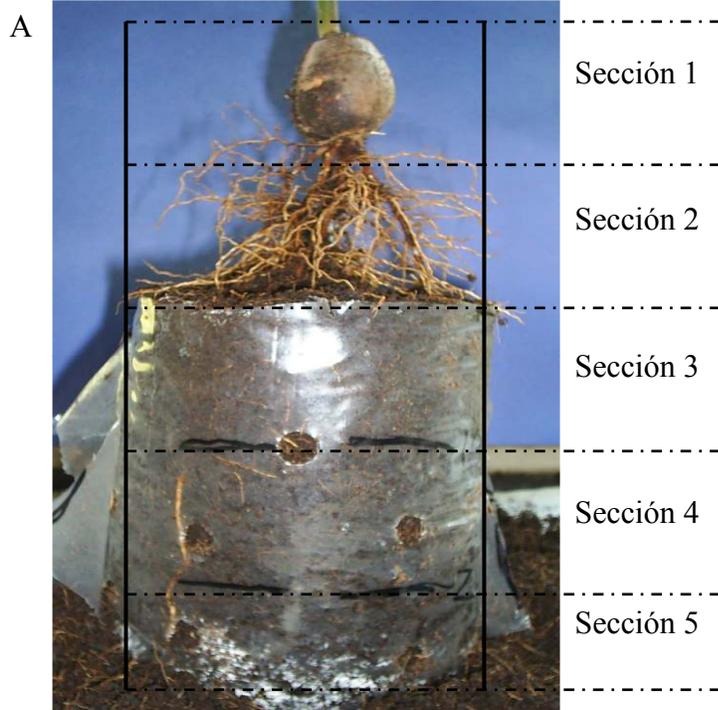
Apéndice III: Fechas de aplicación de distintos fitosanitarios para control de plagas presentes durante el ensayo.

Fecha de aplicación	Producto y dosis en 100L	Plagas a controlar
02-09-2005	80 cc Lorsban 4E 25 cc Aceite miscible 10 cc Ac.sulfurico	Pulgones
24-02-2006	160 g Lan late cc Unifilln Acido sulfúrico	100 40 cc Chancho Blanco y Pulgones
07-03-2006	280 g Lan Late cc Unifilln Acido Sulfúrico	175 70 cc Chancho Blanco y Pulgones
13-03-2006	600 g Suprasid L Aceite Miscible 60 cc Acido Sulfúrico	1,5 Conchuela

Apéndice IV: La figura muestra un esquema simplificado del método rápido para determinación de D_a , porosidad, espacio poroso, espacio libre con aire y capacidad de almacenamiento de agua. La primera figura corresponde a la etapa de llenado del recipiente con 1L de la mezcla. La segunda figura muestra la etapa de saturación de la mezcla con agua destilada y la tercera etapa el momento del drenaje.

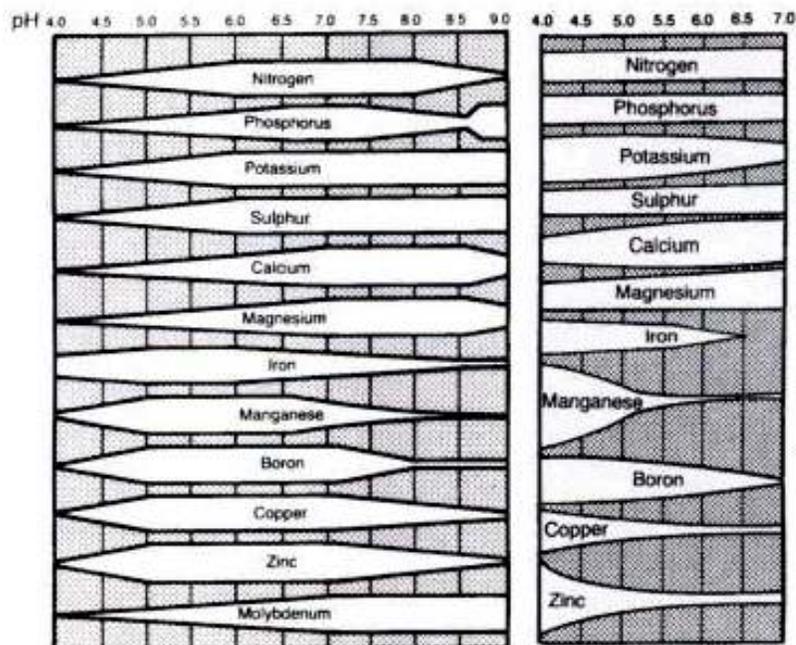


Apéndice V Proceso de descubrimiento por capas. Se puede observar la forma en que son liberadas las raíces del sustrato, antes (A) y después de retirar la sección 3 (B), para luego ponerlas a secar. El sustrato a su vez una vez retirado fue recolectado y puesto en bolsas de papel.



ANEXOS

Anexo I: Disponibilidad de elementos nutritivos para las plantas a distintos rangos de pH. Una barra más ancha indicaría una mayor disponibilidad mientras una más angosta señalaría lo contrario. A la izquierda se puede observar el comportamiento para un suelo mineral (Triaog, E. Yearbook, 1941-1947. 556-576 pp.) y a la derecha el comportamiento de dichos elementos en una mezcla orgánica para contenedores (Datos experimentales para mezclas de contenedores australianas). Figuras extraídas de: Handreck y Black, 2002.



Anexo II. Efecto de la temperatura en el crecimiento de paltos de raza mexicana y mango Irwin. . En: Yusof *et al.*, 1969. The Response of Avocado and Mango to Soil Temperature. Journal of American Society of Horticultural Science. 94(6):619-621.

Table 2. The effect of soil temperature on the growth of Mexican avocado and Irwin mango.*

Soil temp	Total fresh weight	Fresh weight shoot	Fresh weight root	Total dry weight	Dry weight shoot	Dry weight root	Shoot root ratio	Height	Total length shoot	Stem circum
C	g	g	g	g	g	g		cm	cm	cm
32°	363.6a	201.6a	160.3a	95.3a	53.9a	41.4a	1.6a	79.6a	80.5a	2.0a
27°	457.0a	219.0a	240.0a	107.4b	70.2b	37.2a	2.1a	85.3a	99.1a	2.8b
21°	453.1a	203.4a	241.3b	113.0b	71.1b	42.0a	2.0a	94.4b	102.2a	2.9b

*Means in the same column not followed by like letters differ statistically from each other at the 5% level (Tukey's Test).

Anexo III: Efecto de *Phytophthora* root rot y anegamiento en el crecimiento de plantas de palto injertadas. En: Ploetz, R. y Schaffer, B.1992. Effects of Flooding and Phytophthora Root Rot on Net Gas Exchange of Avocado in Dade County, Florida. Proc. of Second World Avocado Congress 1992 pp. 111-117

Table 1: Effect of *Phytophthora* root rot and flooding on the growth of grafted avocado plants ^x

Experiment ^y	Treatment ^z	Root Necrosis (%)	Dry weight (g)		
			Root	Shoot	Plant
1	-P, -F	4.5c	19.3c	32.6a	51.9a
	-P, +F	12.2c	8.5b	28.2ab	36.8b
	+P, -F	37.5b	18.6a	26.0b	44.6ab
	+P, +F	62.5a	7.7b	17.0c	24.7c
2	-P, -F	10.6c	19.4a	45.4a	64.8a
	-P, +F	20.0c	11.8b	35.3ab	47.1ab
	+P, -F	53.0b	11.4b	25.9ab	37.2b
	+P, +F	72.0a	9.0b	22.8b	31.7b

^x Grafted plants were 'Simmonds' scions on Waldin rootstocks. For an experiment, mean values within a column are not significantly different from each other if followed by the same letter according to Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$).

^y In experiments 1 and 2, *Phytophthora* root rot was allowed to develop for 6 and 10 wks and plants were flooded for 28 and 9 days, respectively.

^z -P and +P = noninfested and infested with *P. cinnamomi* and -F and +F = nonflooded and flooded.