

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE AISLADOS SILVESTRES CHILENOS DE *Rhizobium* A TRAVÉS DEL USO DE MARCADORES MOLECULARES BASADOS EN AMPLIFICACIÓN POR RFLP-PCR

MOLECULAR CHARACTERIZATION OF CHILEAN WILD ISOLATES OF *Rhizobium* THROUGH THE USE OF MOLECULAR MARKERS BASED ON RFLP-PCR AMPLIFICATION

ALEJANDRO IGNACIO CAÑETE MORALES

Santiago, Chile

2007

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Título

**CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE AISLADOS SILVESTRES CHILENOS DE
Rhizobium A TRAVÉS DEL USO DE MARCADORES MOLECULARES BASADOS
EN AMPLIFICACIÓN POR RFLP-PCR**

Memoria para optar al Título Profesional de
Ingeniero Agrónomo
Mención: Fitotecnia

ALEJANDRO IGNACIO CAÑETE MORALES

	Calificaciones
Profesores Guías	
Sra. Cecilia Baginsky G. Dr. Ingeniero Agrónomo	6,3
Sr. Cristián Araneda T. Dr. en Ciencias Biomédicas	6,1
Profesores Evaluadores	
Sr. Alejandro Riquelme E. Bioquímico	6,3
Sra. Ximena García F. Ingeniero Agrónomo, M. Sc.	7,0

Santiago, Chile

2007

Agradecimientos

*“Todo lo que la humanidad ayer soñó como imposible,
hará que mañana se despierte maravillada,
ante la belleza de saber que hoy, la certeza visitó mi ventana”*

A la vida y a quienes Dios puso en este camino para seguir aprendiendo y asegurar que un paso firme y seguro le diera cuerpo, fondo y sentido a esta memoria de título.

A los mejores padres que pude haber tenido: Carolina y Alberto, que han estado incondicionalmente a mi lado cada uno a su manera dando lo mejor de sí, que aún sin necesitar saber como, han ayudado a florecer en mí al hombre conciente de que: *“logramos de la vida lo que merecemos y buscamos”*, y por sobre todo, me han enseñado a curiosear en lo que mi alma realmente necesita para ser feliz; *inquietudes de niño interior con ansias de hombre pleno, dueño de este barco que viaja por horizontes sin fronteras con ferviente pasión, si de amar la vida se trata.*

A Cecilia Baginsky, quien con su compromiso y eficiencia ayudó no solo a mí, sino además a que nuestras bacterias *Rhizobium* digan presente en Chile y, más temprano que tarde, nos asombren con su eficiencia simbiótica y contribuyan a la sostenibilidad de nuestro agroecosistema.

A Cristián Araneda, por abrirnos las puertas del laboratorio de Acuicultura y por su disposición sin esperar nada a cambio, porque desde un principio sabíamos que *nada teníamos que ofrecer salvo este trabajo.*

Porque el verdadero conocimiento proviene del interior, doy gracias a mis verdaderos guías: canales de luz del verdadero conocimiento, misteriosas llaves maestras que tanto negamos su entrada a nuestra puerta y tememos contactar bloqueándolas, mirándolas como algo raro, como lo ajeno. Señales inspiradoras de respuestas, palabras sabias de la intuición que brotan en el momento preciso: el cómo, el cuándo y el dónde encontrar las respuestas adecuadas; porque para tener éxito en la vida debemos confiar en nosotros mismos, algo que no se aprende en ninguna universidad. Debemos ampliar la concepción de que el ser humano sólo piensa, porque la ciencia tendrá que aceptar algún día que existe una conexión espiritual entre todas las cosas y que sólo la razón sin la intuición no completa el propósito de nuestra auténtica misión aquí en la tierra.

A los amigos con quienes tuve la suerte de compartir y recorrer parte de este camino juntos, haciéndome comprender la importancia de sentirse apoyado incondicionalmente. *Porque no crecemos solos, todo lo que me enseñaste también es parte de lo que tú has venido a aprender, porque tú también me necesitas para crecer. Entre el tomar y el soltar a la vuelta de unos años aprendí a madurar un poco, porque es grande la cosecha de lo sembrado cuando se trabaja de a dos y de a más, cada uno desde su lugar, con amor, perseverancia, valor, fe...*

Además, agradezco a todos aquellos que me dijeron **NO**, gracias a ellos aprendí a que nadie sabe lo que vales y que nadie te aceptará realmente si no te abrazas a ti mismo.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN.....	1
Palabras clave.....	1
ABSTRACT.....	2
Key words.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
MATERIALES Y MÉTODO.....	7
Materiales.....	7
Aislados silvestres chilenos de <i>Rhizobium</i>.....	7
Cepas Control.....	7
Método.....	8
Activación del crecimiento de las bacterias.....	8
Marcador RFLP-PCR.....	8
Extracción de ADN.....	8
Amplificación por PCR.....	8
Electroforesis en geles de agarosa.....	8
Digestión del ADN amplificado.....	9
Análisis estadístico.....	9
RESULTADOS.....	10
Amplificación del ADN.....	10
Digestión del ADN.....	11
Grado de polimorfismo del ADN según localidad.....	12
Similitud genética entre los aislados y las cepas control.....	15

DISCUSIÓN.....	16
CONCLUSIONES.....	22
BIBLIOGRAFÍA.....	23
ANEXOS.....	30
Anexo 1.....	30
Anexo 2.....	30
Anexo 3.....	30
Anexo 4.....	31
Anexo 5.....	33

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluaron cinco sustratos como medio de propagación para paltos variedad Hass sobre portainjertos variedad Bacon.

Los objetivos fueron evaluar las características físicas y químicas de los sustratos durante el desarrollo de las plantas y también, el desarrollo de las mismas en las distintas mezclas de sustratos.

El diseño utilizado fue completamente al azar con 20 repeticiones, siendo la unidad experimental una planta en un contenedor de 7 litros. Mensualmente se controló la conductividad eléctrica y pH del lixiviado, largo y diámetro de las plantas, propiedades físicas y químicas de las mezclas de sustratos al inicio y término del ensayo, y parámetros morfológicos medidos en cada planta durante el desarrollo del ensayo, realizando un análisis de varianza, correlaciones y regresiones para cada y entre cada parámetro analizado.

Los resultados mostraron que el tratamiento 4 (formado por compost, arena y perlita) fue el que posee las mejores condiciones físicas para la propagación de paltos, siendo el tratamiento testigo (formado por arena y corteza de pino compostada) el que mayores limitaciones tuvo en este sentido.

En cuanto a las propiedades químicas todos los tratamientos presentaron buenas condiciones. Sin embargo, el tratamiento 2 presenta limitaciones de pH.

Los tratamientos 1 (formado por arena, turba y compost) y testigo presentaron un mayor rendimiento en materia seca y un mayor incremento en crecimiento. Siendo el tratamiento 1 el único que logró el 100% de plantas terminadas al final del ensayo

Esta memoria de título se encontró bajo el marco de la segunda etapa del proyecto FONDEF DO3I1063, “Elaboración de sustratos especializados de uso agrícola”, a partir de residuos orgánicos bioprocesados.

Palabras clave: Compost, *Persea americana*, Aguacate

ABSTRACT

In the present essay five substrates as a avocado media growth were assesed.

The objectives were assess the physical and chemical substrates properties during the plant growth and also their development in different substrates mixes.

Under a complete random design, considered 20 repetition each, several variables of the experimental unit drain solution were controlled every month such as the electric conductivity and pH, plant length and diameter, physical and chemical properties of the substrates mixes at the beginning and end of the essay, and morphologic parameters measured in every plant through the essay development, making a variance analysis, correlations and regretions for each and betwen every analized parameter.

The results showed that the treatment 4 possessed the best physical conditions for avocado propagation, being the control treatment who present higher limitations.

Although every study treatments presents appropriate chemical conditions. How ever, treatment 2 have pH limitations.

Treatment 1 and control presents higher dry matter and growth increment. Treatment 1 was the only one that reached a 100% of finished plants at the end of the essay.

This memory was under the second phase of DO3I1063 Fondef project, “Elaboration of specialize substrates of agricultural use”, through bioprocessed organic residues.

Key Words: Compost, *Persea Americana*, Aguacate

INTRODUCCION

Sustrato es definido como todo aquel material sólido distinto del suelo, natural o sintético, orgánico o mineral, en forma pura o mezclado, cuya función principal es servir como medio de crecimiento y desarrollo a las plantas, permitiendo su anclaje y soporte a través del sistema radical, favoreciendo el suministro de agua, nutrientes y oxígeno (Abad, 1993 y Bures, 1997). Sin embargo, la única función garantizada por el sustrato es el soporte; las demás deben ser controladas por el productor (Alvarado y Solano, 2002).

En la actualidad existe una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados para la elaboración de sustratos y su elección dependerá de la especie vegetal a propagar, tipo de propágulo, época, sistema de propagación, precio, disponibilidad y características propias del sustrato (Hartmann y Kester, 2002).

Para obtener buenos resultados en germinación, enraizamiento y crecimiento de las plantas, se requieren en el medio de cultivo propiedades físicas, tales como una elevada capacidad de retención de agua, suficiente suministro de aire, que se obtienen mediante una buena distribución del tamaño de los poros, baja densidad aparente, elevada porosidad total y estructura estable que impida la contracción del medio, además de propiedades químicas, tales como una baja salinidad, elevada capacidad tampón, mínima velocidad de descomposición del sustrato (que mantenga su estabilidad) y de otras propiedades como encontrarse libre de semillas de malezas, nemátodos y otros patógenos, ser de bajo costo, fácil de reproducir, estar fácilmente disponible (Morales, 1995) y estar en relación con los requerimientos edáficos y nutricionales de las plantas (Dickey *et al.*, 1978). Además, el sustrato debe permitir una buena circulación tridimensional de la solución nutritiva (Martínez y García, 1993).

Hartmann *et al.*, (1990) afirman que son aptos como sustrato todos aquellos materiales que por su granulometría y estabilidad estructural, permitan una aireación elevada. Por otro lado, el sustrato en contenedor, además de ser soporte para la planta, debe permanecer compacto y sin disgregarse al momento del transplante (Alvarado y Rojas, 1996).

En general, los sustratos a base de materiales orgánicos ofrecen mejores características para el crecimiento de plantas en contenedores, ya que son más livianos y fáciles de transportar que las mezclas minerales, las raíces de las plantas tienden a “amarrar” las mezclas orgánicas, aún después de un corto periodo de crecimiento y además retienen una mayor cantidad de agua, lo que le da a las plantas menores posibilidades de estresarse en el transplante (Alvarado y Solano, 2002).

Dickey *et al.*, (1978) afirman que en un sustrato elaborado, el componente orgánico es quien usualmente aporta una alta capacidad de retención de agua y nutrientes, pero a su vez, muy poca macro porosidad y aireación para 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.

Al cultivar plantas en contenedores, se debe tener en cuenta que el volumen de sustrato y de agua disponible para cada planta es menor que el disponible en un cultivo en suelo y que al fondo de la bolsa, después del drenaje de cada riego, se crea una lámina de agua como consecuencia de la ruptura de la continuidad del perfil (Tortosa, 1990). Por lo tanto, para cumplir correctamente sus funciones de regulación de suministro de agua y aire, los sustratos deben poseer una elevada porosidad y capacidad de retención de agua, unidos a un drenaje rápido y una buena aireación (Ansorena, 1994). Propiedades que se pueden lograr mediante la utilización de residuos compostados, debido a su estabilidad biológica y a las buenas condiciones físicas y químicas que presentan (Bures, 1997).

El palto (*Persea americana* Mill), es una de las especies más exitosas de los últimos años y ha tenido un gran incremento en superficie, aumentando de 10.000 ha hace 15 años a casi 28.000 ha actualmente en Chile (Comité de Paltas, 2006). Debido a lo anterior, ha aumentado la necesidad de disponer de una mayor cantidad de plantas en viveros y por consiguiente de sustratos para propagarlas.

Sin embargo, existen problemas de disponibilidad de materiales para elaborar los sustratos, lo que produce un aumento en los costos de producción, además de una variabilidad de las características físicas y químicas de éstos, debido a que al utilizar materiales de origen orgánico, comúnmente presentan orígenes muy diversos (Messerer, 1998).

Por todo lo anteriormente mencionado, se ha hecho necesaria la búsqueda de sustratos disponibles que contengan propiedades físicas y químicas adecuadas para el buen desarrollo de la planta, además de ser fácilmente reproducibles y amigables con el medio ambiente (Ansorena, 1994).

El sistema radical del palto requiere medios bien aireados, sin saturación de agua, bajos niveles de cloruros y bicarbonatos, pH neutro a ligeramente ácido y muy baja salinidad; esto es más estricto en propagación debido a los graves problemas que pueden generar deficiencias de nutrientes y fitotoxicidad por sales (Messerer, 1998). Por lo tanto, es importante mantenerlos en rangos aceptables durante todo el periodo de crecimiento.

La capacidad del palto para absorber y utilizar los nutrientes minerales es reflejada en la concentración de cada nutriente en el tejido. El análisis foliar entrega información valiosa del estado nutricional de la planta. Aunque el sustrato es generalmente la fuente de nutrientes minerales, el análisis de suelo entrega información sobre el contenido total de un nutriente disponible y no de la cantidad absorbida. El análisis de suelo, además no refleja la proporción de nutrientes para el palto. De este modo, el análisis foliar es mejor método para determinar su estado nutricional (Lahar, 1998).

En este ensayo se evaluaron cinco sustratos con el fin de determinar el mejor medio de propagación para paltos var. Hass sobre portainjertos var. Bacon, en términos de

crecimiento, propiedades físicas y químicas, bajo el manejo usado en vivero de. Se postula como hipótesis que es posible obtener una planta comercial (30 cm de altura de injerto) en un menor tiempo y de mejor calidad mediante el uso de mezclas de sustratos que contengan residuos vitivinícolas.

Objetivos

Evaluar el desarrollo de las plantas de palto en distintas mezclas de sustratos.

Evaluar características físicas y químicas de las mezclas de sustratos durante el desarrollo de las plantas.

MATERIALES Y METODOS

Lugar de estudio

El ensayo se realizó en el vivero Amancay, ubicado en la calle Freire N° 1080, La Palma, Provincia de Quillota, V Región. La parte analítica se realizó en el Laboratorio de Reciclaje Orgánico del Departamento de Ingeniería y Suelos y en el Laboratorio de Anatomía Vegetal del Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, ubicados en Avenida Santa Rosa 11315, La Pintana, Región Metropolitana.

Materiales unidad experimental

Para el establecimiento de las unidades experimentales, se utilizaron distintas mezclas de sustratos, tanto orgánicas como inorgánicas. Para generar las mezclas y montar el ensayo se utilizaron los siguientes materiales:

Trompo mezclador eléctrico modelo 130P de 0,37 KW. Origen nacional.

Sacos de polipropileno de 50 Kg.

Contenedores de polietileno negro de 7 Litros.

Compost de residuos vitivinícolas clase A según norma chilena 2880-2004 (INN, 2004).

Arena ANASAC de origen nacional.

Perlita Harbolite de origen nacional.

Turba rubia Sunshine de origen canadiense.

Fibra de coco (fibroso 80) Amafibra de origen brasilero.

Corteza de pino compostada de origen nacional.

Sustrato testigo (mezcla de arena con corteza de pino compostada, de segundo año de uso).

Semillas de *Persea americana* variedad Bacon.

Yemas de *Persea americana* variedad Hass.

Se utilizaron cuatro mezclas de sustratos más un testigo (mezcla comúnmente usada en el vivero), siendo cada mezcla un tratamiento (T), con distintas composiciones como se observa en el Cuadro 1. Sin embargo, no es posible exponer la composición porcentual de cada mezcla debido a que es propiedad intelectual del proyecto FONDEF DO3I1063.

Cuadro 1. Materiales componentes de cada mezcla de sustrato evaluada en propagación de palto variedad Hass sobre portainjerto variedad Bacon.

Tratamientos	Materiales					
	Arena	Compost	Turba	Fibra de coco	Corteza de pino	Perlita
1	x	x	x			
2	x	x		x		
3	x	x			x	
4	x	x				x
5 <u>1/</u>	x				x	

1/ Sustrato comúnmente utilizado en el vivero o testigo.

Materiales para evaluaciones

Para las evaluaciones, tanto en invernadero como en laboratorio, se utilizaron los siguientes materiales:

- Pie de metro digital Veto C/4012, precisión de 0,001 mm.
- Estufa de secado Memmert 11-30. Origen estadounidense.
- Sobres de papel.
- Bandejas de aluminio.
- pH-metro Hanna 991001, precisión de +/-0,01. Origen rumano.
- Conductivímetro Hanna 99301, +/- 0,01 dS*m⁻¹ de precisión. Origen rumano.
- Agua destilada.
- Pizeta.
- Platos plásticos.
- Frascos plásticos con tapa de 500 cm³.
- Embudos de vidrio.
- Papel filtro grado 2 Advantec, MFS, inc. Origen nacional.
- Vasos plásticos de 50 cm³.
- Balanza digital Ohaus EOB 120, precisión de 0,01g y capacidad para 2100g. Origen estadounidense.
- Frascos PVC de 110 mm de diámetro exterior, graduados a 1000 cm³ con cuatro agujeros de 3 mm en la parte basal.
- Embudo plástico de 15 cm de apertura superior y 2,5 cm. de diámetro inferior.
- Probetas de 1000, 500, 250 y 100 cm³.
- Cinta adhesiva para cañerías 3M.
- Tapones de goma.
- Bandejas plásticas.
- Lámina de poliestireno de 0,6 mm.
- Mufla 62730-26 Thermolyne. Origen estadounidense.
- Desecador.
- Crisoles de porcelana de 15 cm³.
- Balanza digital And HA-1204, precisión de 0,0001g y capacidad máxima de 120g. Origen japonés.

- Tamices de tamaños de malla 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 y 16 mm. Wilson Company Inc. Origen estadounidense.
- Equipo tamizador Podmores engineers. Origen inglés.

Método

Siembra

El 24 de noviembre del 2005 fueron pesadas 252 semillas de palto Bacon, seleccionando por peso las que se encontraban entre 60 y 90 gramos, con el fin de disminuir la variabilidad entre las plantas. Posteriormente fue removida la testa, en su zona apical y distal para ser sumergidas en fungicida (Captan® + Riomil®) y luego colocadas en cajas con aserrín de pino para pre germinarlas (Figura 1).



Figura 1. Pregerminación de semillas de palto variedad Bacon en cajas con aserrín.

Terminada la etapa de pre germinación, a los 35 días, se seleccionaron 100 semillas que presentaron radículas sanas y se sembraron en bolsas de polietileno negro de 7 litros con sus respectivos tratamientos (mezclas de sustrato) y repeticiones, siendo establecidas al azar en el invernadero (Figura 2).



Figura 2. Siembra de semillas en bolsas de polietileno establecidas en invernadero al azar.

Deshoje, injertación y despunte

El 18 de abril del 2006, cuando hubo disponibilidad de yemas para injertar, se realizó un injerto de empalme lateral con la variedad Hass (Figura 3). 12 días después se realizó el deshoje de los porta injertos (Figura 4), y luego de 10 días se realizó el rebaje o despunte del patrón. Finalmente, el 20 de noviembre del 2006, las plantas fueron trasladadas al laboratorio para ser analizadas (Figura 5).



Figura 3. Portainjertos variedad Bacon injertados mediante empalme lateral con yemas de la variedad Hass.



Figura 4. Plantas de palto ya injertadas y deshojadas.



Figura 5. Plantas “terminadas” y listas para ser transportadas para ser analizadas en laboratorio.

Manejo agronómico del ensayo

El riego utilizado al inicio del ensayo fue por manguera y el sistema de riego presurizado por cinta de exudación se inició el 12 de febrero 2006 (Figura 6), aplicándose inicialmente un caudal de $50 \text{ cm}^3 \text{ día}^{-1} \text{ bolsa}^{-1}$ y utilizando un tiempo de riego de 102 minutos por día, aumentado o disminuyendo según requerimiento.



Figura 6. Implementación del sistema de riego por cinta de exudación.

La fertilización comenzó durante la primera semana de instalada la cinta de exudación. Correspondió a una mezcla de ácido nítrico, Ultrasol® Crecimiento, urea, nitrato de potasio, fosfato monoamónico, quelato de hierro, quelato de zinc, sulfato de cobre y Solubor®. A partir de la segunda semana se fertilizó solo con Ultrasol® Crecimiento. Correspondiendo ésta a la fertilización habitual del vivero en base a los requerimientos de las plantas con su mezcla de sustrato.

Se tomaron lecturas de las temperaturas máximas y mínimas ambientales en el sector donde fue montado el ensayo desde el 9 de febrero del 2006 hasta el 20 de noviembre del 2006.

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar y constó con 5 tratamientos, cada uno con 20 repeticiones, siendo la unidad experimental la planta en un contenedor con mezcla de sustrato mantenida bajo invernadero.

En cada mezcla de sustrato se determinaron parámetros físicos y químicos evaluando tres repeticiones por tratamiento, según las metodologías posteriormente expuestas, mientras que en las 20 plantas por tratamiento se determinaron parámetros de crecimiento aéreo y radical. Para determinar densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y parámetros morfológicos, como área radical y materia seca radical, se dividió el contenedor en dos, obteniendo dos profundidades de evaluación, las cuales resultaron ser de 0 a 16 cm y desde 16,1 a 32 cm de altura desde la parte superior hacia la parte basal del contenedor, obteniendo por lo tanto, 6 muestras por tratamiento (3 repeticiones por altura de medición).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS 8.0, en donde se realizó una comparación de medias (ANDEVA) con un nivel de confianza del 95% y en caso de presentar datos no homogéneos se realizó el test de Kruskal Wallis. Se realizó además un análisis de comparación múltiple de Tuckey y en caso de ser datos no homogéneos, el análisis de comparación múltiple fue el de Dunn. Se realizó también análisis de correlación divariada de Pearsons y regresiones lineales para determinar el porcentaje explicativo de las variables dependientes.

Método Laboratorio

Parámetros de crecimiento

Incremento en largo del brote. El largo del brote del patrón se midió una vez por mes y sólo hasta el momento de la injertación, debido a que en esa etapa las plantas se despuntaron. El largo del injerto también se midió una vez por mes, desde injertación hasta el fin del ensayo y la planta completa desde el inicio al final del ensayo con la misma frecuencia que las anteriores mediciones.

Incremento en diámetro del tronco. El diámetro del patrón se midió a los 15 cm desde la base de la planta, esto se midió desde el inicio del ensayo hasta el momento de la injertación, luego se midió bajo la unión con el injerto debido a que la injertación se realizó a distintas alturas. El diámetro del injerto se midió 5 cm sobre la unión, desde injertación hasta el término del ensayo. Ambos diámetros se midieron mensualmente.

Estimación del área radical. Al término del ensayo se aplastaron las raíces sobre una grilla milimetrada en donde se agruparon las raíces cubriendo en forma pareja y en una sola capa (Apéndice I). Este método fue utilizado por Salas (2007) verificando su validez mediante un análisis de correlación entre los datos entregados por un medidor de área foliar (Portable Laser Area) y la grilla utilizada en este ensayo.

Determinación de masa aérea y radical. Las plantas se sacaron del contenedor al término del ensayo para separar las raíces del sustrato, para luego separar la parte aérea y radical. Luego fueron introducidos en bolsas de papel para eliminar el contenido de agua en estufa a $70 \pm 5^\circ \text{C}$ por 24-48 horas hasta peso constante y así determinar el peso seco de cada muestra.

Ramificaciones. Al final del ensayo se procedió a contar las ramificaciones desde el eje principal de cada planta.

Porcentaje de plantas terminadas por tratamiento. Se consideraron terminadas las plantas que alcanzaron la altura comercial determinada por el vivero, es decir, 30 cm de crecimiento del injerto. Se determinó el porcentaje de plantas “terminadas” por tratamiento, una vez por mes, considerando solo las plantas vivas como el total.

Parámetros físicos y químicos

Determinación de densidad aparente, espacio poroso, espacio de aire y capacidad de retención de agua. Se midió al inicio del ensayo en las mezclas de sustratos utilizando el método USCC (2001) modificado en el laboratorio de Anatomía Vegetal de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Para la determinación de estos parámetros se ocuparon cilindros de PVC de 110 mm de diámetro y 15 cm de largo con tapa y 4 agujeros en la base, los cuales se procedieron a tapar con huincha aisladora, previamente pesada (M_c), luego se pesaron los frascos con la huincha en una balanza de 0,01g de precisión (M_{vc}), se vertió sobre los mismos 300 cm^3 de mezcla de sustrato con un embudo a 20 cm de distancia, posteriormente 350 cm^3 y luego 350 cm^3 más hasta completar 1000 cm^3 (V_{1000}), en caso que faltara sustrato solo se enrazó suavemente para no compactar el sustrato, no repitiendo la operación.

Bajo el frasco de PVC existió una superficie blanda de poliestireno para evitar golpes bruscos que provocaran compactación de la mezcla en el contenedor. Al tener el volumen deseado se pesó (M_{1000}) y luego se restó el peso del frasco con las cintas (M_{vc}), para obtener el peso real de la muestra (A_{1000}). Posteriormente, se aplicó agua destilada hasta formar un espejo de agua sobre el sustrato, se esperó 5 minutos y se volvió a vertir agua

hasta que la muestra no absorbió más, anotando el volumen de agua necesario para saturar la muestra ($V_{ans\ 30}$), además del volumen alcanzado con el agua ($V_{nd\ 30}$) y su peso ($M_{nd\ 30}$). Luego se removieron las cintas de la base de los frascos y se dejó drenar el agua durante 30 minutos. Se determinó el volumen ($V_{dd\ 30}$) y el peso ($M_{dd\ 30}$) de la muestra después del drenaje, además del volumen de agua drenada ($V_{ad\ 30}$). Posteriormente se taparon los agujeros con huincha aisladora (pesadas) para luego adicionar el agua del drenaje lentamente hasta que se formó el espejo de agua, repitiendo el proceso hasta que la muestra no absorbiera más. En caso de faltara agua, se aplicó agua destilada, registrando el agua total necesaria para saturar la muestra ($V_{ans\ 4h}$). Luego se pesó la muestra del frasco con las huinchas y se restó el peso del frasco y las cintas para obtener el peso real de la muestra ($M_{nd\ 4\ h}$), también se registró el volumen de la mezcla en el frasco ($V_{nd\ 4\ h}$). Luego, se retiraron las huinchas para dejar drenar las muestras por cuatro horas, cubriendo el vaso para evitar pérdidas por evaporación.

Al término de este periodo, se registró el agua drenada ($V_{ad\ 4h}$) y el agua que se encontraba saturando la muestra ($V_{as\ 4h}$). Finalmente se volvieron a tapar los agujeros y se volvió a pesar; restando el peso del frasco con las huinchas, obteniendo el peso de la muestra después del drenaje ($M_{dd\ 4\ h}$) y registrando el volumen de la muestra en el frasco ($V_{dd\ 4\ h}$).

Por otro lado, para determinar el contenido de agua inicial de las muestras, se pesó un recipiente de aluminio (M_r), vertiendo 50 cm^3 de muestra y por diferencia del peso total (A_{50}) se obtiene el peso de la muestra (M_f). Luego se secaron las muestras por 18 – 24 horas a $70 \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ y terminado esto se pesaron las muestras (O_{50}) y restando el peso del recipiente se obtuvo el peso seco de la muestra (M_s).

Mediante fórmulas se obtuvo el:

Peso seco de la muestra

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

$$MS = (O_{50} / A_{50})$$

Contenido de agua

$$\rightarrow M_{1000} = A_{1000} * (1 - O_{50} / A_{50}) \quad \text{o}$$

$$M_{1000} = A_{1000} - O_{1000} \quad [\text{g}]$$

Densidad aparente

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

Volumen de espacio poroso

$$\rightarrow VEP = [M_{nd\ 4\ h} - O_{1000} - (1000 - V_{nd\ 4\ h})] * 100 \quad [\%]$$

Volumen de espacio con aire, método de masa equivalente (1mL = 1g)

$$\rightarrow \text{VEA} = [\text{Mnd 4 h} - \text{Mdd 4 h}] * 100 \quad [\%]$$

Capacidad de retención de agua, por correspondiente el:

Capacidad de almacenamiento de agua en base a volumen

$$\rightarrow \text{CRA}_v = \text{PEP} - \text{PEA} \quad [\%]$$

Al final del ensayo se procedió a separar el sustrato en 2 capas según profundidad, este fue pesado y cubicado con pie de metro para determinar la Da mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Da} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

Determinación de distribución del tamaño y diámetro medio de partículas. Según metodología descrita por Burés (1997) se determinó la distribución de tamaño de partículas de cada mezcla de sustrato confeccionando curvas granulométricas acumuladas (Apéndice II) que se obtuvieron sumando por orden creciente los porcentajes en peso del material que pasó a través de cada tamiz sucesivo, también en orden creciente. Para graficarlas se representaron en las ordenadas la frecuencia acumulada de los porcentajes en base a masa y en las abscisas las aberturas de los tamices en escala logarítmica (Burés, 1997). Esto con el objetivo de determinar el diámetro medio de partículas (dg). Esta variable se refiere a la incidencia de un diámetro determinado de partículas en un 50% de la muestra total, ponderando la fracción de un determinado tamaño de partículas con el tamaño medio de estas. Para determinarlo, al final del ensayo se pesaron 100 g de sustrato seco al aire para verterlos sobre tamices de malla 16; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25 y 0,125 mm ordenados por tamaños sobre un equipo tamizador durante seis minutos. Posteriormente se pesó el contenido de cada tamiz y se determinó su porcentaje en relación a la muestra total. La diferencia o pérdida del tamizado se incorporó a la fracción más fina, siendo siempre inferior al 2% del total, en caso contrario se repite el proceso (Ansorena, 1994).

El diámetro medio se calculó mediante:

$$\text{dg} = \exp \left(0,01 * \sum_{i=1}^n f_i * \ln M_i \right)$$

Donde:

dg es el diámetro medio de partículas

0,01 convierte el porcentaje de las frecuencias en fracciones

n es el número de tamices

ln es el logaritmo natural

M_i es la media aritmética del tamaño de dos tamices consecutivos

f_i es el porcentaje en peso de tamaño de partículas igual o menores que M_i

Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE) en disolución. Al inicio y término del ensayo se determinaron ambos parámetros según el método suspensión dilución. Las muestras secas al aire fueron mezcladas con agua destilada en relación 1:5, se mantuvieron

en frascos plásticos de 250 cm³ durante una hora agitando cada 15 minutos durante 30 segundos; posteriormente fueron filtradas, obteniendo el extracto necesario para medir en vasos plásticos de 50 cm³ con pH-metro y conductivímetro hasta lectura constante.

Determinación de pH y CE en el lixiviado. Con una frecuencia de una vez por mes se determinó el pH y la CE en el agua de riego y en las unidades experimentales. Para estas últimas se aplicó agua (sin nutrientes externos) a los contenedores para obtener un lixiviado sobre platos plásticos que permitiera medir el pH y la CE de cada unidad experimental mediante pH-metro y conductivímetro respectivamente.

Determinación de materia orgánica. Al inicio y término del ensayo se determinó el porcentaje de materia orgánica de cada mezcla de sustrato por el método de calcinación descrito por USCC (2001).

Se pesaron 5g de mezcla para ser secados hasta peso constante en estufa a 70 ± 5° C y luego fueron dispuestos en crisoles de 15 cm³. Se determinó el peso de cada crisol y el peso del crisol junto a la mezcla de sustrato seco en una balanza de 0,001g de precisión para luego ser introducidos a una mufla a 600° C por 2 horas. Terminado este periodo se determinó nuevamente el peso del crisol con la muestra. El porcentaje de materia orgánica se expresó como la diferencia entre el peso de la muestra antes de ser sometida a calcinación menos las cenizas que resultan al terminar el proceso descontando el peso del crisol. Este resultado se multiplica por 100 para obtener el porcentaje.

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

Estado nutricional. Al término del ensayo se realizó un muestreo de las segundas hojas desde la base del injerto para obtener una muestra compuesta de alrededor de 30 hojas por tratamiento¹ y realizarles un análisis foliar completo más cloruro y boro a las plantas mediante metodología descrita y estandarizada en CNA (Comisión de Normalización y Acreditación) por Sadzawka *et al.*, (2004). El Nitrógeno fue medido mediante el método de Kjeldhal, el fósforo y el boro mediante fotolorimetría, el potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y zinc mediante absorción atómica, el azufre se determinó por turbidimetría y el cloruro por titulación potenciométrica.

¹Bruno Razeto M. Ingeniero Agrónomo M.Sc. Profesor titular, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile (Comunicación personal).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades químicas

pH

Como se observa en el Cuadro 2, el análisis estadístico realizado muestra diferencias significativas entre los tratamientos en ambas profundidades de medición, siendo los tratamientos 5 y 3 en 0-16 cm de profundidad y solo el tratamiento 5 en 16-32 cm los que presentan un pH medio ponderado entre profundidades dentro del rango óptimo para un buen desarrollo de las plantas de palto, que a pesar de ser un cultivo poco exigente en elementos nutricionales, Whiley *et al.*, (2002) afirma que las plantas en general se comportan adecuadamente en sustratos con pH (en agua) ligeramente ácidos a neutros (entre 5,0 y 7,0), recomendando para esta especie valores entre 5,5 a 6,5 debido a la disponibilidad de nutrientes encontrada bajo este rango (Anexo I - Cuadro 11). Considerando el promedio entre ambas profundidades de medición, el tratamiento 5 es el único que entra en el rango recomendado, siendo el tratamiento 4 el que mayor valor posee y siendo distinto al resto de los tratamientos, los tratamientos 1 y 2 iguales estadísticamente, presentando pH neutros, diferenciándose también del resto de las mezclas. El tratamiento 3 a pesar de haber alcanzado un valor mayor a 6,5 (6,72) estaría incluido en el rango, considerando el método de medición, debido a que según Ansorena (1994), el pH medido en disolución entrega valores alrededor de 0,3 unidades mayor a que si fuera medido en extracto de saturación. La razón de no medir en extracto de saturación fue la dificultad de determinar el punto exacto de saturación, además de la lentitud de medición, que según el mismo autor, toma semanas.

No se observaron síntomas visuales de deficiencias nutricionales, provocados por la baja disponibilidad de ciertos nutrientes como Zinc, que bajo rangos de pH neutro a ligeramente alcalino disminuye su disponibilidad (Anexo I) en los tratamientos 2 y 4 a pesar de apreciar la existencia de esta deficiencia mediante análisis foliar (Cuadro 5 y Anexo I – Cuadro 11).

Cuadro 2. Promedio de pH al final del ensayo para cada mezcla de sustrato a ambas profundidades de medición y el promedio entre ambas.

Tratamiento	pH		
	0-16 cm	16-32 cm	promedio
1	6,96 c	7,06 bc	7,01 c
2	7,02 c	7,20 c	7,11 c
3	6,51 b	6,93 b	6,72 b
4	7,07 c	7,54 d	7,31 d
5	6,08 a	6,18 a	6,13 a

Las letras distintas en una misma columna representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 5\%$).

De acuerdo a lo observado en la segunda altura de medición, existe una tendencia a presentar pH mayores en la parte inferior del contenedor, encontrándose diferencias estadísticas para el pH entre ambas profundidades de medición según al análisis factorial realizado (Apéndice III). Probablemente se deba a una acumulación de sales por efecto del arrastre desde la parte superior del mismo, como se puede apreciar en el Cuadro 3. Según Whiley *et al.*, (2002), el pH por si no parece ser crítico, sino más bien las condiciones asociadas a la disponibilidad de nutrientes son las que requieren mayor atención.

Conductividad eléctrica (CE)

Se presentan diferencias estadísticas en la CE entre tratamientos en las evaluaciones de la profundidad 0-16 cm (Cuadro 3), siendo el tratamiento testigo (5) distinto al tratamiento 3, esta diferencia se puede explicar por un 200% más de iones cloruro (Cl^-) que presenta el tratamiento 5 sobre los demás tratamientos (Cuadro 5). Sin embargo, estos valores no afectaron a las plantas debido a que no sobrepasan el valor umbral tolerable para palto que según Gardiazabal (1990) este valor corresponde a $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ debido a que el palto ha sido considerado una especie sensible a la salinidad, especialmente las razas mexicanas y Guatemaltecas, siendo la variedad Bacon un híbrido entre ambas y la variedad Hass predominantemente guatemalteca (Whiley *et al.*, 2002). Provocando en caso de exceso una necrosis apical y manchas ubicadas intervenalmente, lo que disminuye la capacidad fotosintética, produciendo una defoliación de la planta en casos extremos, incidiendo en un menor crecimiento (Razeto, 1980)

Cuadro 3. Conductividad eléctrica de cada mezcla de sustrato al final del ensayo para cada tratamiento a ambas profundidades de medición y el promedio entre ambas.

Tratamiento	CE		
	0-16 cm	16-32 cm	promedio
	$\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$		
1	0,25 ab	0,33 a	0,29 a
2	0,27 ab	0,26 a	0,27 a
3	0,23 a	0,25 a	0,24 a
4	0,26 ab	0,25 a	0,26 a
5	0,36 b	0,29 a	0,32 a

Las letras distintas en una misma columna representan diferencias estadísticas para un mismo parámetro según análisis de Tuckey ($p \leq 5\%$).

En el Cuadro 3 se puede observar que todos los tratamientos presentan bajos contenidos de sales y por lo tanto, ningún sustrato presenta riesgos de toxicidad para las plantas ni los síntomas anteriormente expuestos. Esto es influenciado por la buena calidad del agua de riego aplicada, que se mantuvo en rangos de CE bajos (menor a $1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) la mayor parte del ensayo. Esto se considera ya que al comparar los datos de fin de ensayo con los medidos al inicio del mismo (Apéndice III – Cuadro 4) los valores de CE son considerablemente mayores al inicio en todos los tratamientos propuestos, siendo sólo el

tratamiento testigo el que aumenta levemente su conductividad hacia el final del ensayo, como se observa en la Figura 7.

No se encontraron diferencias entre ambas profundidades de medición para la conductividad eléctrica según el análisis factorial como se observa en el Apéndice IV – Cuadro 8 ni diferencias entre tratamientos considerando los promedios entre ambas profundidades de medición (Cuadro 3).

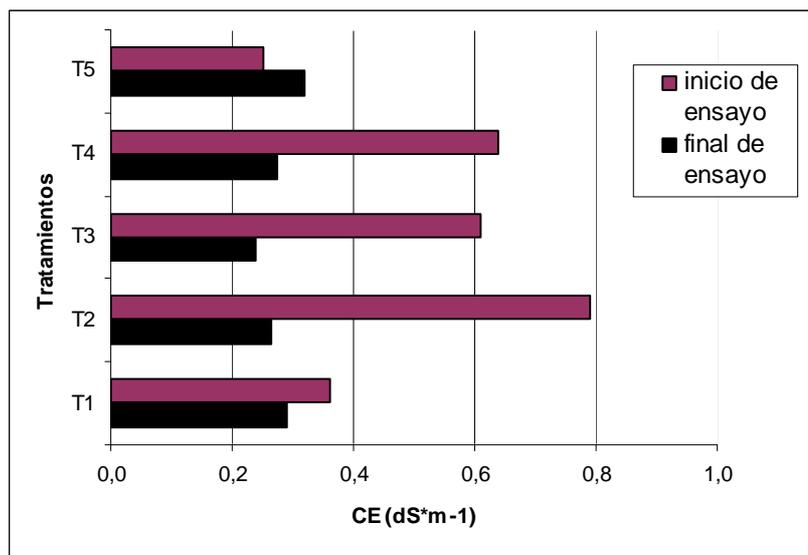


Figura 7. Conductividad eléctrica por disolución promedio entre alturas de medición para cada tratamiento.

Evolución del pH en el lixiviado.

Durante las mediciones realizadas al azar en los contenedores se observan algunos valores fuera del rango considerado óptimo al inicio del ensayo, destacando en este sentido el tratamiento 4 y 2, con pH 8,06 y 7,9 respectivamente (Figura 8). El tratamiento 5, desde abril hasta julio presenta valores más ácidos de lo recomendable (menor a 5,5), pudiendo afectar la disponibilidad de nutrientes como calcio y magnesio, ya que estos nutrientes disminuyen su disponibilidad con pH menores a 5,5 en mezclas orgánicas (Anexo I – Cuadro 11). Sin embargo, esto no se observa en el análisis foliar realizado, en donde se aprecia que los contenidos de ambos elementos se encuentran dentro de rangos normales (Cuadro 5). Probablemente se deba a que el análisis foliar no se realizó en la fecha en que se produjo la disminución del pH, logrando un pH de 6,13 al final del ensayo que fue cuando se realizó el análisis foliar.

Al final del ensayo, como se observa en la Figura 8, el pH de los tratamientos 2 y 4 continúa sobre el rango considerado óptimo, por lo que se esperaría una deficiencia de hierro, boro, cobre, zinc y manganeso ya que con pH alto disminuye su disponibilidad en materiales orgánicos (Anexo I – Cuadro 11). Sin embargo, solo en el caso del zinc se

presenta una deficiencia en ambos tratamientos. En el caso del manganeso, se encuentran valores normales pero más cercanos al límite inferior al compararlos con los demás tratamientos (Cuadro 5 y Anexo II – Cuadro 12).

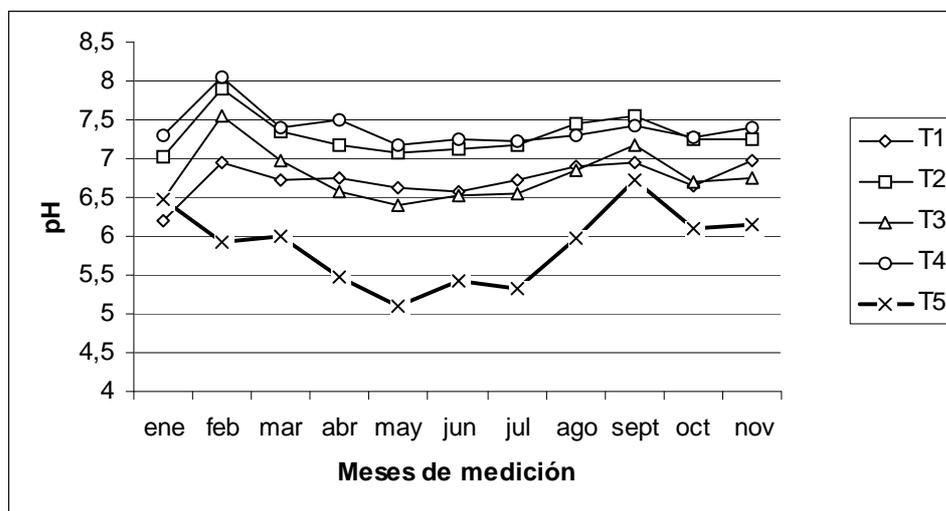


Figura 8. Evolución del pH durante los meses de medición del ensayo. La línea más gruesa representa al tratamiento testigo (T5).

Evolución de la CE en el lixiviado

Las mediciones mensuales realizadas en el lixiviado de las unidades experimentales muestran valores bajos, menores a $2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ durante casi todo el periodo de desarrollo del ensayo (Figura 9), lo que se considera como el valor umbral tolerable para paltos, como se expuso anteriormente. En caso de existir una mayor salinidad podría existir una disminución en el crecimiento de las plantas², lo que durante el primer periodo de desarrollo se esperaba hubiese ocurrido en el tratamiento 2. Sin embargo, esto no ocurre ya que no se encuentran diferencias entre los tratamientos (Cuadro 14).

En la Figura 9 se observan las variaciones de CE durante todo el periodo de medición, manteniendo la tendencia de aumento y disminución de pH en todos los tratamientos. Se destaca el tratamiento 2 al inicio del ensayo, alcanzando valores de 2,79 en enero, esto debido a la presencia de fibra de coco en la mezcla de sustrato, la que sin un lavado adecuado previo a su utilización no disminuye su alto contenido de sales que presenta originalmente, especialmente de sodio y cloro (Petit, 2004).

²Bruno Razeto M. Ingeniero Agrónomo M.Sc. Profesor titular, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile (Comunicación personal).

La mayor CE de todos los sustratos al inicio del ensayo no se atribuye al agua de riego, ya que ésta fue de $0,8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, pero sí puede atribuirse a las altas temperaturas de verano que logran una mayor evaporación del agua del sustrato, logrando una acumulación de las sales.

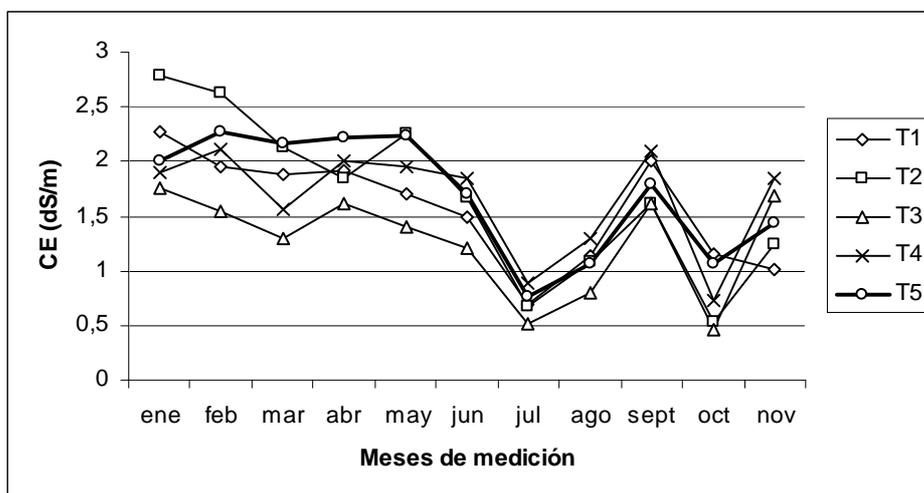


Figura 9. Evolución de la conductividad eléctrica durante los meses de medición del ensayo. La línea más gruesa representa al tratamiento testigo (T5).

En julio se observa la mayor baja en la CE para todos los tratamientos, esto se debe al lavado que produjeron las lluvias de invierno en los sustratos. Luego se muestra un alza en septiembre producto del alza en las temperaturas (Anexo I) lo que provoca una concentración de las sales en el sustrato, disminuyendo nuevamente en octubre por efecto del agua de riego, la que disminuye a $0,3 \text{ dS/m}$, para luego volver a aumentar debido a las temperaturas que logran una acumulación de sales en el sustrato y al aumento de la conductividad del agua de riego, la que llega a $1,39 \text{ dS/m}$. Terminando el ensayo con todos los tratamientos con conductividades dentro de un rango adecuado ($1 \text{ a } 2 \text{ dS/m}$) para el desarrollo de las plantas.

Ansorena (1994), Prat (1999) y Alvarado y Solano (2002) afirman que como consecuencia del reducido volumen del medio de cultivo de que disponen las raíces de las plantas cultivadas en contenedor, la concentración de nutrientes en la solución acuosa suele ser elevada, debido a que se requiere de la aplicación frecuente de fertilizantes para mantener los diferentes elementos en cantidades óptimas, y por lo tanto es muy superior a la que es habitual en cultivos de campo en suelos minerales. Con ello aumenta el riesgo de acumulación de niveles excesivos de sales disueltas producto de un aporte excesivo de nutrientes minerales con la fertilización o con el agua de riego. Sin embargo, esto no ocurre debido a que el agua de riego presenta niveles de sales bajos durante todo el periodo de desarrollo de las plantas.

El pH y la CE parecieran tener un comportamiento similar a lo largo del ensayo, ya que tienen altos y bajos en los mismos meses de medición, por lo que las razones de su

comportamiento podrían tener el mismo origen en ambos parámetros. Sin embargo, es importante dejar claro que no se encontró una correlación significativa entre ambos (Apéndice III).

Materia orgánica (MO).

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en ambas profundidades de medición a pesar de presentar valores considerablemente variables en 16-32 cm de profundidad como se muestra en el Cuadro 4, probablemente debido a la variabilidad porcentual de materiales presentes en la muestra, ya que su bajo volumen (5 g) no permite una homogeneidad ideal de la misma, generando variaciones entre repeticiones (alta desviación estándar) y por lo tanto un coeficiente de variación de 45,63%, lo que es considerado como un valor alto (sobre 10%) que puede generar igualdad estadística³. Además no se encuentran diferencias estadísticas entre ambas profundidades de medición según el análisis factorial realizado (Apéndice III).

Los valores presentados son en base a volumen debido a que las mezclas fueron hechas de esta forma, por lo que se podría estimar de manera errónea la materia orgánica en base a masa.

Cuadro 4. Materia orgánica promedio al final del ensayo para cada mezcla de sustrato a ambas profundidades de medición además del promedio entre ambas, expresado en porcentaje en base a volumen.

Tratamiento	MO		
	0-16 cm	16-32 cm	promedio
	%		
1	17,95 a	20,17 a	19,06 a
2	17,36 a	17,24 a	17,30 a
3	21,93 a	28,43 a	25,18 a
4	16,56 a	9,78 a	13,17 a
5	14,73 a	22,11 a	18,21 a

Las letras distintas en una misma columna representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 5\%$).

Como se observa en el Cuadro 4, a pesar de no existir diferencias estadísticas, el tratamiento 4 es el que presenta el menor contenido de materia orgánica en promedio, que puede atribuirse a que este tratamiento está compuesto por dos partes de material mineral, a diferencia de los demás tratamientos que están constituidos por dos partes de material orgánico.

³Cristián Araneda T. Biólogo, Magíster en Ciencias Médicas, Mención Genética, Dr. En Ciencias Biomédicas. Profesor asistente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile (Comunicación personal).

Por otro lado, si se comparan los valores de MO al final del ensayo con los determinados al inicio del ensayo (Apéndice II) se observa que la tendencia es el aumento del contenido de MO al final del ensayo, a excepción del tratamiento 2 que no aumenta, estas diferencias se deben principalmente a las raíces que quedaron luego de retirarlas para su análisis, probablemente en el caso del tratamiento 2 la cantidad de raíces que quedaron en el sustrato fue menor y por eso no aumenta el contenido de materia orgánica al final del ensayo.

Este parámetro no sería crítico por si solo, debido a que los paltos están adaptados a medios de crecimiento tanto con muy baja como muy alta materia orgánica. Sin embargo, bajo esta última condición se provee no solo un reciclaje de nutrientes, sino que una buena aireación y una alta capacidad de retención de agua, además de una rica flora microbiana, que favorece la sanidad de las raíces, además de disminuir posibles estreses (Wolstenholme *et al.*, 1998)

Estado nutricional

Los macro y micro nutrientes a pesar de constituir una pequeña parte del total de la planta, juegan un papel fundamental en la nutrición y por lo tanto en el crecimiento de las mismas. En el Cuadro 5 se presentan los resultados del análisis foliar realizado a las plantas de cada tratamiento.

Según la tabla interpretativa de análisis foliar de palto de la PUCV (2006) (Anexo II – Cuadro 12), para huertos productivos ya que no existe una tabla para plantas de vivero, el hierro, cobre y cloro se encuentran dentro del rango normal en todos los tratamientos, no así para el resto de los elementos analizados, en donde el nitrógeno se encuentra bajo y el fósforo alto en todos los tratamientos. El potasio solo es normal en el tratamiento 5 y excesivo en los restantes al igual que el boro y contrario al calcio que presenta valores bajos para todos los tratamientos menos el testigo (T5). El Magnesio es deficiente en el tratamiento 1 y bajo en los tratamientos 2 y 4, encontrándose en rango normal los tratamientos 3 y 5. El manganeso se presenta alto solo en el tratamiento 5 y el zinc se presenta deficiente en los tratamientos 2 y 4 (Cuadro 5 y Anexo II – Cuadro 12).

En el caso del boro, los valores presentados por las mezclas propuestas son cerca del doble más altos en el caso del tratamiento testigo. El exceso de manganeso en el tratamiento testigo es cerca del doble del límite superior considerado normal, esto puede deberse a que este tratamiento presenta el menor pH y el menor espacio de aire, lo que según Puustjärvi (1994) genera una mayor solubilidad de este elemento. La mayor deficiencia de nitrógeno se presenta en el tratamiento 2 y puede deberse a una inmovilización de nitrógeno producto de la actividad de microorganismos presentes, ya que el material que diferencia a este sustrato del resto, la fibra de coco, fue utilizado como material no compostado.

Cuadro 5. Concentración foliar de elementos nutricionales en plantas de palto al final del ensayo para cada tratamiento.

Elemento	Unidad	T1	T2	T3	T4	T5	Rango adecuado
N	%	2,02	1,7	2	1,95	1,96	2,2 – 2,4
P	%	0,3	0,24	0,23	0,22	0,2	0,08 – 0,15
K	%	4,92	4,01	4,21	3,92	1,6	0,75 – 1,25
Ca	%	0,58	0,75	0,45	0,99	1,46	1 - 2
Mg	%	0,25	0,39	0,4	0,32	0,62	0,4 – 0,8
Zn	ppm	27	18	23	17	59	25 – 100
Mn	ppm	148	99	147	73	468	50 – 250
Fe	ppm	113	96	100	115	133	50 – 150
Cu	ppm	9	10	7	8	10	5 -15
B	ppm	98	110	66	92	48	50 – 80
Cl	%	0,07	0,06	0,05	0,05	0,16	0,07 – 0,23

Probablemente el exceso de potasio, el alto contenido de boro y los bajos valores de calcio se deben a la presencia de compost en las mezclas, debido a que estos elementos se presentan de esta forma en todos los tratamientos excepto en el testigo.

En ningún tratamiento se presentan síntomas visuales en las plantas debido a contenidos excesivos de los elementos, ya que fitotoxicidades no se evidencian con valores altos, sino que con valores excesivos, pero no en el caso del fósforo y potasio ya que no se conocen síntomas visuales provocados por toxicidad (Razeto, 1993).

La inexistencia de síntomas debido a exceso de manganeso en el tratamiento 5 y de potasio en todos los tratamientos puede deberse a que los sustratos contienen un componente orgánico importante y como afirma Burés (1997), la presencia de materia orgánica en un sustrato actúa como un reservorio dosificador de nutrientes, disminuyendo los riesgos de fitotoxicidad.

Las deficiencias existentes tampoco generaron síntomas visuales. Para el caso del calcio, esto se debe a que la sintomatología mayormente se presenta en el fruto⁴.

Hay que considerar que la fertilización del cultivo se realizó según los requerimientos de las plantas en el sustrato testigo, por lo que se esperaba una mejor nutrición en el tratamiento 5. Sin embargo, los restantes tratamientos no se vieron afectados mayormente por este motivo.

⁴Bruno Razeto M. Ingeniero Agrónomo M.Sc. Profesor titular, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile (Comunicación personal).

Propiedades físicas

En el Cuadro 6 se observa que los tratamientos 3, 4 y 5 quedan fuera del rango considerado óptimo para la densidad aparente en ambas alturas de medición, que según Sale (1997) es de 0,7 a 0,8 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, siendo esta lo suficientemente alta para que las plantas se sostengan, pero no excesiva para que el peso del material dificulte el manejo y transporte (Ansorena, 1994). En base a esto, se esperaría una menor estabilidad mecánica en el tratamiento 4 ya que presenta un valor menor al óptimo recomendado, lo que se pudo corroborar al evaluar la parte radical de las plantas de este tratamiento, en donde al abrir la bolsa, el “pan de sustrato” comienza a desmoronarse, exponiendo las raíces al medio provocando un estrés en la planta debido a la oxidación que produce el mayor contenido de oxígeno del ambiente.

Se presentan diferencias significativas entre los tratamientos 3 y 5 con el tratamiento 4 en 16-32 cm de profundidad. Sin embargo, en la parte superficial del contenedor no se encontraron diferencias. Considerando el promedio entre ambas profundidades se observan diferencias entre los tratamientos, siendo los tratamientos 1 y 2 los únicos que presentan una D_a dentro del rango óptimo sugerido por Sale (1997).

El tratamiento 5 (testigo) es el que presenta una mayor D_a , esto se debe al mayor contenido de arena que posee la mezcla en comparación con los demás tratamientos (llegando este material a tener alrededor de 1,6 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ según Mendoza (1993)) y también a la ausencia de compost en dicha mezcla, lo que coincidiendo con lo observado por Cuevas *et al.* (2006), que afirma que una menor densidad aparente, por efecto del material orgánico resulta en una mayor macro porosidad, por lo que la presencia de compost en las mezclas genera menores densidades y aumentos en los valores de porosidad total (cuadros 6 y 7).

Cuadro 6. Densidad aparente al final del ensayo para cada mezcla de sustrato a ambas profundidades de medición y densidad aparente promedio entre profundidades.

Tratamiento	D_a		
	0-16 cm	16-32 cm	promedio
$\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$			
1	0,71 a	0,75 ab	0,73 b
2	0,75 a	0,75 ab	0,75 bc
3	0,82 a	0,82 b	0,82 cd
4	0,65 a	0,64 a	0,65 a
5	0,82 a	0,87 b	0,85 d

Las letras distintas en una misma columna representan diferencias estadísticas según análisis de Dunn en 0-16 cm y Tuckey en 16-32 cm y promedio ($p \leq 5\%$).

No se encuentran diferencias entre ambas profundidades de medición según el análisis factorial realizado (Apéndice III). Sin embargo, se observa en el Cuadro 6 mayores densidades en la parte basal del contenedor, esto se puede deber a la presión sobre las

partículas inferiores, que hace que éstas estén empaquetadas más juntas, afectando también la humedad, puesto que se forman capas de líquido en la superficie de las partículas que favorecen la adhesión (Burés, 1997). Además de existir un cambio en el empaquetamiento de las partículas debido al movimiento provocado por el agua (Burés, 1997) y una compresión de los materiales componentes, apreciándose también el aumento de la densidad hacia el final del ensayo en comparación con los datos entregados al inicio del mismo (Apéndice II).

Para el volumen de espacio poroso (VEP) los valores medios por tratamiento se encuentran entre el 70% y 90% del volumen del sustrato, considerado óptimo según Alvarado y Solano (2002) y aceptable según Cabrera (2002) al encontrarse sobre el 70%, siendo el tratamiento 5 el que posee las condiciones de porosidad menos óptimas debido a que su valor promedio se encuentra más cerca del valor umbral inferior recomendado (Cuadro 7). Sin embargo todos los tratamientos se consideran iguales estadísticamente.

Cuadro 7. Volumen de espacio poroso al inicio del ensayo expresado en porcentaje para cada mezcla de sustrato y cada profundidad de medición.

Tratamiento	VEP
	%
1	81,47 a
2	85,00 a
3	83,20 a
4	83,96 a
5	75,87 a

Las letras distintas representan diferencias estadísticas según análisis de Dunn ($p \leq 5\%$).

La elevada porosidad de los tratamientos le confiere un potencial de buena aireación y retención de agua (Alvarado y Solano, 2002). Sin embargo, además de esto, es importante también la distribución del tamaño de partículas (Ansorena, 1994).

El tratamiento 5 a pesar de ser estadísticamente igual al resto de los tratamientos, posee un volumen de espacio poroso menor, que probablemente se deba al mayor contenido de arena que posee en relación a los demás tratamientos, la que al ser bastante fina, ocupa los espacios entre la corteza de pino, y ya que no posee porosidad interna no contribuye al VEP sino que las partículas solo se encuentran más juntas, disminuyendo el espacio poroso total (Burés 1997).

Los materiales utilizados para formular las mezclas (turba, fibra de coco, corteza de pino compostada y perlita) para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 respectivamente, poseen una porosidad total bastante alta al ser evaluados individualmente, sobre el 85% para el caso de la fibra de coco (Barkley, 2002), pudiendo llegar hasta el 95% en caso de la turba, sobre el 80% para la corteza de pino compostada, hasta 70% en la perlita y alrededor de un 88% para el compost de orujo de uva, por lo que ayudado de una buena distribución de tamaño de partículas tienen una ventaja potencial que se expresa en los resultados que se presentan.

Como se observa en la Figura 10, existe una relación inversa entre ambos parámetros, es decir, mientras mayor es la Da menor es el VEP y viceversa, esto se debe a que muchos sustratos tienen partículas que pueden comprimirse bajo el efecto de una fuerza, provocando la disminución del volumen del sustrato y, por lo tanto, la disminución del volumen de poros internos, siendo esto muy frecuente en materiales como la turba; otros se disgregan como es el caso de la perlita, ocurriendo también por efecto mecánico de las raíces al “abrazar” el sustrato (Burés, 1997).

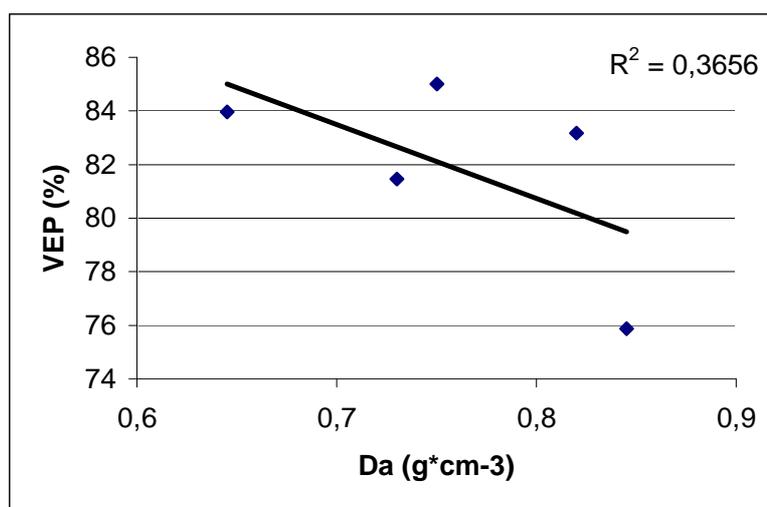


Figura 10. Relación entre la densidad aparente (Da) y el volumen de espacio poroso (VEP).

La influencia de la compactación sobre la densidad aparente también es mencionado por Ansorena (1994), en donde explica que al disminuir el volumen total del sustrato, manteniéndose la masa del mismo, aumenta la densidad aparente, debido a que ocurre una reducción del tamaño de los poros, aumentando consigo la capacidad de retención de agua.

El diámetro medio de partículas difiere entre tratamientos como se observa en el Cuadro 8, en donde los mayores diámetros se encuentran en la parte superficial del contenedor, siendo los valores entre las dos profundidades diferentes estadísticamente según el análisis factorial realizado (Apéndice III). El tratamiento 5 es el que presenta los menores diámetros, diferenciándose estadísticamente de todos los tratamientos en la parte superficial del contenedor y diferenciándose del tratamiento 3 y 4 en profundidad.

Observando el promedio entre ambas profundidades, el tratamiento 3 es el que mayor diámetro medio de partículas presenta, siendo similar al tratamiento 4 y distinto de todos los demás (Cuadro 8).

Cuadro 8. Diámetro medio de partículas (DMP) expresado en centímetros para cada mezcla de sustrato en cada profundidad de medición y el promedio entre ambas profundidades.

Tratamiento	DMP		
	0-16 cm	16-32 cm	promedio
	cm		
1	0,73 bc	0,64 ab	0,69 b
2	0,69 b	0,63 ab	0,66 b
3	0,90 c	0,83 b	0,87 c
4	0,76 bc	0,68 b	0,72 bc
5	0,44 a	0,38 a	0,41 a

Las letras distintas en una misma columna representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 5\%$)

El tratamiento testigo (5) presenta una dominancia entre 0,5 - 0,125 mm a diferencia de los demás tratamientos que presentan una dominancia de partículas entre 1 - 0,25 mm (Apéndice II – Figura 2). Para todos los tratamientos, las partículas sobre 1mm de diámetro representan un bajo porcentaje; tomando en cuenta lo que afirma Burés (1997), que las partículas con diámetro mayor a 1 mm no cumplen un rol importante en la capacidad de retención de agua, se esperaría una alta capacidad de almacenamiento de agua en todos los casos.

Según Ansorena (1994), al no existir consenso respecto al valor óptimo de volumen de espacio de aire (VEA), debido a la distinta tolerancia de las distintas especies de plantas, la influencia ambiental, el manejo y el método de determinación, se acepta en general valores comprendidos entre 10 y 20%. El Cuadro 9 muestra que hay diferencias estadísticas entre los tratamientos, siendo sólo el tratamiento testigo (5) el que se encuentra fuera del rango recomendado, a pesar de poseer un buen porcentaje de espacio poroso (pero el menor en comparación con el resto de los tratamientos) y de ser igual estadísticamente a los tratamientos 1 y 2. Esto puede deberse a la relación entre el VEA y la distribución del tamaño de partículas, ya que como afirma Cabrera (2002), para componentes de sustratos orgánicos e inorgánicos lo adecuado para un buen desarrollo de las plantas es que sobre un 60% se encuentren entre 0,5 y 4 mm y menos del 20% de las partículas sean más finas que 0,5 mm (Apéndice II – cuadros 1 y 2).

Landis *et al.* (1990) señalan que una estructura de poros apropiadamente equilibrada significa un buen intercambio gaseoso para el sistema radicular, el cual afecta directamente todas las funciones de la raíz, tales como absorber agua y nutrientes. Sólo el tratamiento testigo presenta condiciones que podrían generar problemas de hipoxia radicular; por el contrario, en el tratamiento 4 se esperaría el mejor desarrollo radical.

Cuadro 9. Volumen de espacio de aire (VEA) al inicio del ensayo expresado en porcentaje para cada tratamiento y profundidad de medición.

Tratamiento	VEA
	%
1	12,76 ab
2	13,82 ab
3	17,00 b
4	18,74 b
5	6,45 a

Las letras distintas representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 5\%$).

Los tratamientos 4 y 3 son los que presentan un mayor diámetro medio de partículas (DMP), por lo que se espera que estos dos tratamientos presenten el mayor VEA, debido a que se generan poros de mayor tamaño que son los que almacenan aire y por el contrario, el tratamiento 5 es el que posee el menor DMP y un menor espacio poroso ocupado por aire (Cuadro 9), esto se evidencia en el análisis estadístico, en donde se encuentra una correlación positiva entre el DMP y el VEA (Apéndice IV – Cuadro 7) que se puede observar en la Figura 11, siendo explicativa esta correlación en un 77,96% según el análisis de regresión lineal.

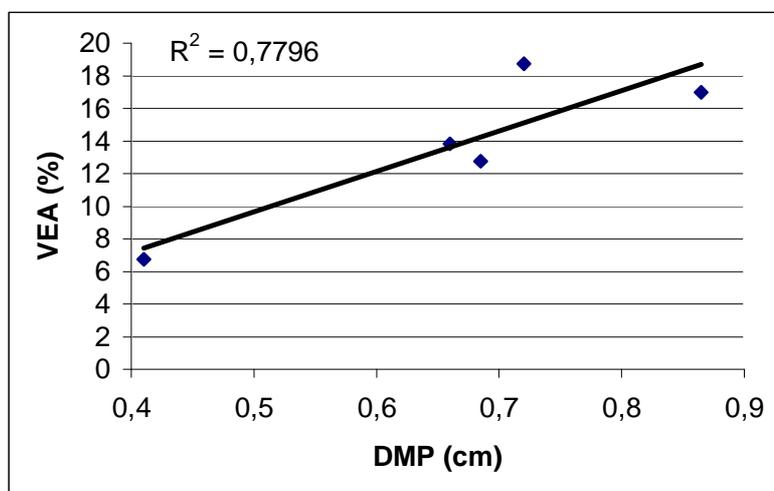


Figura 11. Relación entre el diámetro medio de partículas (DMP) y el volumen de espacio de aire (VEA).

Como afirman Ansorena (1994) y Burés (1997), las propiedades físicas varían según sea la distribución del tamaño de partículas; al tener partículas de diferentes tamaños, las más pequeñas se ubicarán entre los poros de las de mayor tamaño, reduciendo el volumen de espacio de aire y aumentando la capacidad de retención de agua debido al aumento en el número de microporos. Esta redistribución ocurre en todos los sustratos formulados, pero en el caso de el tratamiento 5 esto se generaría en mayor medida debido al gran porcentaje

de material fino que posee, entrando fácilmente en los poros formados por los materiales de mayor tamaño, logrando que el VEA disminuya.

El volumen de espacio poroso es independiente del tamaño de las partículas según el análisis de correlación realizado, el cual no entrega una correlación significativa y coincidiendo con Burés (1997) que indica que la mayoría de los materiales utilizados como sustrato tienen porosidad interna que contribuye a la retención de agua, independientemente de la granulometría, recalcando que materiales más gruesos no generan mayor porosidad, pero sí poros más gruesos.

Resumiendo el análisis de las propiedades anteriores, el tratamiento 5 es el que posee el menor espacio poroso, menor espacio de aire, mayor densidad aparente y menor diámetro medio de partículas en comparación con el resto de los tratamientos. Contrariamente, el tratamiento 4 es el que posee la menor densidad aparente y a la vez el mayor espacio de aire y un alto volumen de espacio poroso.

La metodología utilizada para determinar la capacidad de retención de agua, también conocida como “capacidad de contenedor” y que se aplica en sustratos luego del drenaje libre, posterior a la saturación con agua, es análogo a lo que en un suelo natural se conoce como “capacidad de campo” (Ansorena, 1994).

Analizando la capacidad de retención de agua en base a volumen (CRAv), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Capacidad de retención de agua en base a volumen (CRAv) al inicio del ensayo para cada tratamiento y profundidad de medición, expresado en porcentaje.

Tratamiento	CRAv
	%
1	68,71 a
2	71,19 a
3	72,48 a
4	65,21 a
5	69,10 a

Las letras distintas en una misma columna representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 5\%$).

De Boodt y Verdonck (1972) consideran para un sustrato ideal en contenedores de 1,7 L (15 cm de altura), una capacidad de retención de agua del 60% y como se puede observar en la Figura 7, todos los sustratos superan este porcentaje. Sin embargo, hay que considerar que el contenedor utilizado en este ensayo fue de 7 L (alrededor de 30 cm de altura) y según Ansorena (1994), un mismo volumen de sustrato retendrá porcentualmente más agua cuanto menor sea la altura del contenedor. En base a esto, el porcentaje de retención de agua estaría sobre el ideal en todos los tratamientos. La diferencia se amplía al considerar lo descrito por Abad *et al.* (1992) en donde afirman que el óptimo CRAv a capacidad de

contenedor corresponde a un rango entre 24 – 40%. Sin embargo, en los tratamientos 3 y 4 se compensa por su alto VEA⁵.

Que el tratamiento 4 presente la menor capacidad de retención de agua a pesar de ser igual al resto estadísticamente puede deberse a que presenta en su composición las partículas de mayor tamaño, debido a que está compuesto por perlita, que posee una granulometría media de 3 -5 mm (Burés, 1997), mayor que la fibra de coco y turba de los tratamientos 2 y 1 respectivamente, ya que al ser materiales fibrosos muy angostos estarán más cerca unas de otros, logrando una mayor cantidad de poros pequeños que retienen más agua (Ansorena, 1994 y Alvarado y Solano, 2002), y también menor que la corteza de pino compostada, que según Burés (1997) también posee una alta capacidad de retención de agua debido a su alto porcentaje de microporos.

La menor CRA del tratamiento 4 puede deberse también a que los materiales porosos pueden absorber agua en las mismas partículas y no solo entre ellas (Alvarado y Solano, 2002). Condición que se cumple en menor medida en este tratamiento debido a la presencia de arena que no tiene porosidad interna y perlita que posee porosidad interna cerrada, que no se conecta con la porosidad inter partículas.

Parámetros de crecimiento

Masa seca radical (MSR)

Como se observa en el Cuadro 11, se encontraron diferencias entre tratamientos, siendo el tratamiento 4 distinto al 5 y el 1 para 0-16 cm y entre el tratamiento 2 con los tratamientos 3 y 5 para 16-32 cm de profundidad de medición. Encontrándose además diferencias estadísticas entre ambas profundidades de medición según el análisis factorial realizado (Apéndice IV – Cuadro 8), observándose en el Cuadro 11 que el mayor desarrollo radical se genera en la parte basal del contenedor. Esto probablemente se deba a la fisiología de las plantas de palto, ya que no se encontraron correlaciones con los parámetros físicos y químicos evaluados (Apéndice IV – Cuadro 10). Además, considerando los promedios entre ambas profundidades de medición, no se aprecian diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a masa (Cuadro 11).

Considerando el promedio, se aprecia en el Cuadro 11 que no existen diferencias entre los tratamientos.

⁵Oscar Seguél. Ingeniero Agrónomo Ph. D. Instructor Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile (Comunicación personal).

Cuadro 11. Materia seca radical expresada en gramos para cada mezcla de sustrato y profundidad de medición, además del promedio entre ambas profundidades.

Tratamiento	MSR		
	0-16 cm	16-32 cm	Total
gramos			
1	1,43 a	3,30 ab	4,73 a
2	2,03 ab	2,55 a	4,58 a
3	2,09 ab	4,39 b	6,48 a
4	2,99 b	3,08 ab	6,07 a
5	1,54 a	4,13 b	5,67 a

Las letras distintas en una misma columna representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 5\%$).

El tratamiento 4 presenta la mayor similitud entre ambas profundidades, lo que probablemente se deba a las buenas condiciones físicas que se presentan en todo el sustrato.

Es importante mencionar que en la parte basal de los contenedores todos los tratamientos presentan raíces creciendo en el borde del contenedor, es posible que debido a que la porosidad en las paredes de los contenedores sea mayor que en el centro, puesto que las partículas del sustrato se empaquetan de manera distinta cuando están en contacto con una pared lisa, aumentando a su vez el tamaño de los poros, estableciéndose canales preferenciales de drenaje, y con ello la aireación en el sector (Burés, 1997).

Por otro lado, se observó un crecimiento sectorizado de raíces en la parte superficial del contenedor y a modo de ejemplo se presenta en la Figura 13 el efecto que tuvo el sistema de riego (cinta de exudación) sobre una unidad experimental del tratamiento 5 en el desarrollo de raíces. Esto también es lo que se espera en cultivos de campo con sistemas de riego por goteo, ya que al ser localizado en un sector de los árboles, se moja sólo un sector del sustrato y estas crecen hacia donde se encuentra el recurso (Aiziczon, 2006).



Figura 13. Efecto del sistema de riego en el desarrollo superficial de las raíces. La flecha indica el lugar en donde se encontraba la cinta de riego por exudación.

Área radical (AR)

Existen diferencias entre tratamientos en ambas profundidades, siendo para 0-16 cm. el tratamiento 4 distinto a los tratamientos 1 y 5, y para 16-32 cm de altura el tratamiento 3 difiere significativamente del tratamiento 2. Sin embargo, al considerar los promedios entre las profundidades no se presentan diferencias significativas (Cuadro 12) al igual que en la materia seca radical (MSR).

El mayor desarrollo de raíces del tratamiento 4 en la parte superficial del contenedor se puede deber a las mejores condiciones físicas que presenta. En los restantes tratamientos, existe un mayor desarrollo en la parte basal del contenedor, existiendo diferencias estadísticas entre profundidades según el análisis factorial realizado (Apéndice IV – Cuadro 8).

El tratamiento 5 presenta una alta área y masa radical (similar al resto de los tratamientos) la que no se condice con las condiciones de aireación que presenta que son menores al porcentaje recomendado (< 10%), por lo que se esperaría un menor peso y área que en los demás tratamientos debido a las restricciones de oxígeno.

La investigación en viveros ha demostrado que el desarrollo de un sistema radical fibroso, es esencial para una buena calidad de las plantas y la eficiencia absorbente de la raíz está directamente relacionada al área de raíces fibrosas y el desarrollo de estas está relacionado con la porosidad del sustrato (Alvarado y Solano, 2002), siendo todos los tratamientos iguales estadísticamente, presentando raíces sanas y abundantes.

Cuadro 12. Área radical expresada en cm^2 para cada tratamiento a cada profundidad de medición y promedio entre ambas profundidades.

Tratamiento	AR		Total
	0-16 cm.	16-32 cm.	
cm^2			
1	233,93 a	360,45 ab	594,38 a
2	282,77 ab	285,73 a	568,50 a
3	301,05 ab	449,26 b	750,31 a
4	414,76 b	360,45 ab	775,21 a
5	216,59 a	439,06 ab	655,65 a

Las letras distintas en una misma columna representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 5\%$).

Masa fresca y seca aérea (MFA y MSA)

En el Cuadro 13 se puede observar que para este parámetro, el análisis estadístico muestra diferencias sólo en materia seca y entre los tratamientos 5 y 2. Sin embargo, en materia fresca no se presentan diferencias estadísticas, lo que podría explicarse por su alto coeficiente de variación (28,0%).

Cuadro 13. Masa fresca y seca aérea promedio (MFA y MSA respectivamente) para cada tratamiento, expresada en gramos.

Tratamiento	MSA	MFA
	gramos	
1	10,17 ab	44,89 a
2	8,22 a	34,66 a
3	10,45 ab	39,25 a
4	10,88 ab	43,93 a
5	13,20 b	44,95 a

Las letras distintas en una misma columna representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 5\%$).

Las condiciones físicas que presenta el tratamiento 5 no hacen predecir su buen comportamiento en crecimiento. Sin embargo, obtuvo junto con los tratamientos 1, 3 y 4 un rendimiento en materia seca similar estadísticamente hablando. El tratamiento 2, a pesar de presentar condiciones físicas deseables, presenta el menor desarrollo de la parte aérea, al igual que desarrollo radicular y área radical.

Sin embargo, el pH puede ser el causante de estos resultados, debido a que se encontró una correlación negativa entre éste y la MSA (Apéndice IV – Cuadro 10) y al realizar la regresión lineal, se pudo verificar que la MSA puede ser explicada en un 54,8% por el pH, explicando parcialmente el menor desarrollo del tratamiento 2 debido al mayor pH de su mezcla de sustrato. En base a esto, se puede verificar con la Figura 13, que a menor pH mayor es la MSA, a excepción del tratamiento 4 que se aleja de la tendencia, debido

probablemente a que al tener condiciones físicas favorables, éstas pueden estar influyendo en el desarrollo radical de las plantas, logrando por lo tanto un mayor crecimiento aéreo.

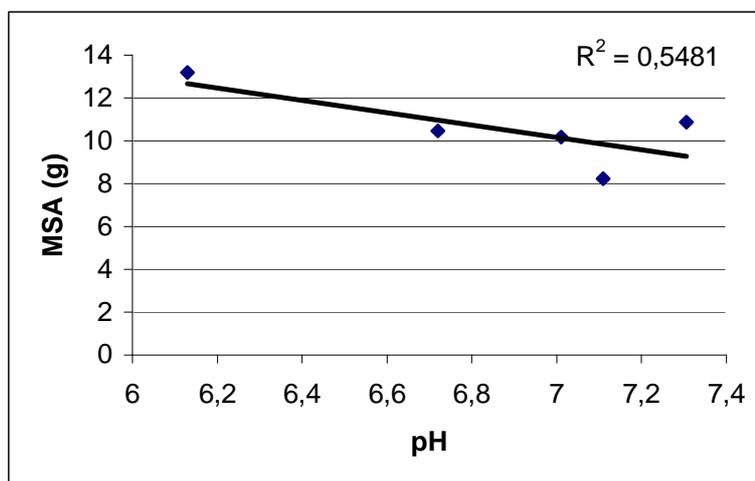


Figura 13. Relación entre pH y materia seca aérea (MSA).

Analizando la parte aérea y radical, no se encontró la correlación que normalmente se observa en cultivos de campo entre la parte aérea y radical de las plantas (Apéndice IV – Cuadro 9), esto puede deberse a que las raíces, al estar confinadas a un espacio reducido, crecen a una menor tasa debido al menor espacio que poseen y por encontrar el agua y los elementos requeridos para su nutrición sin necesidad de explorar más allá, privilegiando el crecimiento aéreo, lo que también es observado por Aburto (2007).

Incremento en largo y diámetro de patrón

En todos los periodos analizados, no se encuentran diferencias entre tratamientos (Cuadro 14), sin embargo, se evidencia el menor incremento en diámetro durante el periodo p1 con respecto al periodo p0, esto debido a que la fecha de brotación del injerto está dentro del periodo p1, en donde los asimilados son utilizados en el crecimiento del injerto y no en el crecimiento en diámetro del patrón (Figura 14).

Como se observa en el Cuadro 14, en el primer periodo de crecimiento no se evidencian diferencias estadísticas entre tratamientos, probablemente debido a que tampoco existen diferencias entre los pesos de las semillas y por lo tanto no se observa la influencia de las reservas de la semilla sobre el crecimiento de la planta. Cautín (1988) afirma que la semilla puede influir durante los primeros 45 a 60 días, por lo que el desarrollo inicial está influenciado por las reservas de la semilla además del sustrato (Apéndice II).

Cuadro 14. Incremento en diámetro y largo del patrón para cada tratamiento expresado en centímetros.

Tratamiento	Largo patrón p0	Diámetro de patrón		
		p0	p1	p2
		cm		
1	42,18 a	7,10 a	3,39 a	10,43 a
2	34,35 a	6,24 a	3,66 a	10,13 a
3	40,84 a	7,42 a	2,93 a	10,02 a
4	37,60 a	7,21 a	2,90 a	9,95 a
5	44,63 a	7,74 a	2,80 a	10,30 a

Las letras distintas en una misma columna representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 5\%$); p0 representa el periodo desde inicio de ensayo a injertación, p1 el periodo desde injertación a fin de ensayo y p2 el periodo desde inicio a fin de ensayo.

Contrariamente al tratamiento 5, el tratamiento 2 presenta el menor incremento en largo durante el primer periodo, esto puede deberse a la alta conductividad eléctrica que presenta durante este periodo, la cual alcanza los 2,79 dS/m en enero, manteniendo los valores por sobre los 2 dS/m recomendados como máximo tolerable en especies sensibles a las sales como lo es el palto.

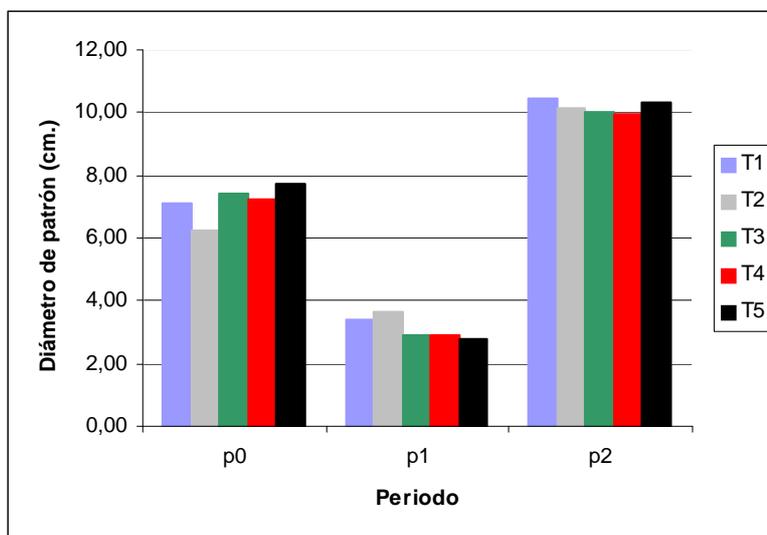


Figura 14. Incremento de crecimiento en diámetro promedio para cada tratamiento en cada periodo analizado.

Incremento en largo y diámetro de injerto

El análisis estadístico muestra diferencias entre los tratamientos en ambos parámetros (Cuadro 16). En el caso del largo de injerto, se encontraron diferencias entre el tratamiento 5 y 1 con el 2 y 4, siendo el tratamiento 2 el que menor largo de injerto alcanza. En el caso

del diámetro de injerto, el tratamiento 1 difiere con el tratamiento 3, siendo este último el con menor incremento en diámetro. El tratamiento 1 el que logra en ambos casos un mayor desarrollo.

Cuadro 16. Incremento en el largo y del diámetro del injerto durante todo el periodo de crecimiento, expresados en centímetros.

Tratamiento	Largo injerto	Diámetro injerto
	cm	
1	50,13 b	4,87 b
2	35,04 a	4,09 ab
3	43,43 ab	3,21 a
4	40,89 a	4,36 ab
5	45,63 b	3,59 ab

Letras diferentes en una misma columna representan diferencias estadísticas según análisis de Dunn para el largo del injerto y análisis de Tuckey para diámetro de injerto ($p \leq 5\%$).

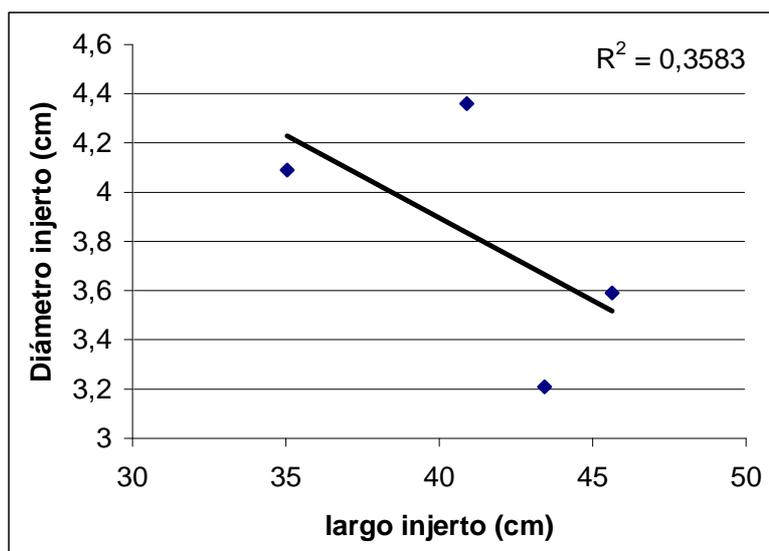


Figura 15. Relación entre largo y diámetro del injerto para cada tratamiento.

A pesar de no existir una correlación estadística significativa entre ambos parámetros, al analizar los datos de los tratamientos 2, 3, 4 y 5, como se observa en la Figura 15, con mayor incremento en largo de injerto menor es el incremento en diámetro y viceversa. Esto puede deberse a la utilización selectiva de los asimilados por la planta, privilegiando el desarrollo en largo en desmedro del diámetro y viceversa (selectividad similar a la encontrada anteriormente en el patrón y brote del injerto). Sin embargo, al considerar al tratamiento 1, la tendencia se disipa debido a los mayores valores que presentan en ambos parámetros evaluados.

Incremento en largo de planta.

Como se observa en el Cuadro 15, el tratamiento 1 es el que logra el mayor largo total de planta, esto se debe a un mayor incremento en largo del injerto (Cuadro 14) que logra superar las ventajas que tuvo el tratamiento testigo durante el primer periodo de desarrollo de las plantas. Por el contrario, los tratamientos 2 y 4 son los de menor tamaño total, siendo significativamente diferentes de los tratamientos 1 y 5 que logran los mayores valores.

Cuadro 15. Incremento en crecimiento en altura de las plantas de palto, expresado como incremento del crecimiento en centímetros.

Tratamiento	Altura planta	
	cm	
1	46,8	a
2	33,1	b
3	36,1	ab
4	32,1	b
5	42,4	a

Letras diferentes representan diferencias estadísticas según análisis de Dunn ($p \leq 5\%$).

Ramificaciones

No se encontraron diferencias entre los tratamientos, ni correlación con ninguna de las variables analizadas en el ensayo, por lo que la emisión de éstas se debe a un factor fisiológico y no depende de las condiciones de sustrato en las que se desarrolla la planta.

Porcentaje de plantas terminadas

Se observa en el Cuadro 17 que el tratamiento 1 es el que logra el porcentaje ideal a término de ensayo, superando al tratamiento 5 que es el que tenía ventajas en septiembre. Sin embargo, el porcentaje de plantas terminadas se puede explicar por el incremento en el largo del injerto, siendo el tratamiento 1 el que logra que el 100% de las plantas estuviesen listas para su comercialización al final del ensayo.

Cuadro 17. Plantas terminadas (más de 30 cm de largo de injerto) por tratamiento expresado en porcentaje.

Tratamiento	Sep-06	Oct-06	Nov-06
	%		
1	0	83,33	100
2	0	36,36	71,42
3	0	73,33	92,3
4	0	43,75	72,72
5	5	89,47	94,44

Consideraciones finales

El manejo utilizado en el vivero se realizó según las demandas de las plantas con el sustrato que utilizan normalmente en el vivero (T5). Un ejemplo de esto es la fertilización realizada que puede ser verificada con el análisis foliar (Cuadro 5 y Anexo II), en donde se evidencian desequilibrios nutricionales en los tratamientos 1, 2, 3 y 4. El tratamiento testigo sólo posee valores altos de manganeso lo que probablemente se deban al mal compostaje de la corteza de pino y su bajo pH que logra una mayor solubilidad de este elemento, como se explico anteriormente.

Según Pastor (2000) la propia experiencia dentro de los viveros que utilizan los sustratos como medio de cultivo, demuestra que el propio manejo del sustrato es una de las claves del éxito en la explotación. Es el correcto manejo del sustrato, sobre todo respecto a la gestión del agua, la que abre la puerta de una producción adecuada. Un buen sustrato (desde el punto de vista físico y químico) puede comportarse de manera muy deficiente si no se maneja adecuadamente; mientras que un sustrato inadecuado (lógicamente mantendrá limitaciones respecto de sus propiedades físicas y químicas) puede obtener producciones elevadas si su manejo es el adecuado.

Debido a lo anterior, lo más probable es que las ventajas potenciales que tienen los sustratos desde el punto de vista físico y químico, no se expresan correctamente en el desarrollo de las plantas, ya que como se vio anteriormente, el tratamiento 1, 2, 3 y 4 presentan mejores condiciones de sustrato que el tratamiento testigo, debido a una menor densidad aparente, mayor espacio poroso, mayor espacio de aire y una mejor distribución del tamaño de partículas, además de una conductividad eléctrica baja y un pH deseable (a excepción del tratamiento 2 y 4). Lo contrario se observa en el tratamiento testigo, que posee condiciones físicas menos deseables que el resto de los tratamientos, y sin embargo, las plantas no se ven afectadas en su desarrollo, logrando un crecimiento y rendimiento de materia seca similar a los tratamientos 1 y 3 para el primer caso y similar a los tratamientos 1, 3 y 4 para el segundo parámetro analizado.

El hecho que las plantas responden a un conjunto de características físicas, biológicas y químicas hace que sea muy difícil clasificar un sustrato en función de un parámetro únicamente (Burés, 1997). Por lo que coincidiendo con Pastor (2000), el manejo debe ser específico para cada medio de propagación para lograr el potencial que posee cada uno.

CONCLUSIONES

El tratamiento 4 (formado por compost, arena y perlita) es el que posee las mejores condiciones físicas para la propagación de paltos, siendo el tratamiento testigo (formado por arena y corteza de pino compostada) el que mayores limitaciones tiene en este sentido pero que no se reflejaron en el crecimiento de la planta.

En cuanto a las propiedades químicas todos los tratamientos presenten buenas condiciones. Sin embargo, el tratamiento 2 y 4 presentan limitaciones de pH.

El crecimiento radical no se vio afectado en ninguno de los tratamientos.

Los tratamientos 1 (formado por arena, turba y compost) y testigo presentan un mayor rendimiento en materia seca e incremento en crecimiento aéreo, siendo el tratamiento 2 el con menor desarrollo y rendimiento.

El tratamiento 1 logra un menor tiempo de propagación que el resto de los tratamientos, ya que es el único que logra el 100% de plantas terminadas al final del ensayo, lo que correspondió a 9 meses y 20 días.

Se encuentran diferencias entre ambas profundidades de medición para el pH, el diámetro medio de partículas, la materia seca radical y el área radical.

No es posible determinar si un sustrato es mejor que otro considerando todas las variables en conjunto. Sin embargo, en general, las mezclas propuestas poseen mejores condiciones para la propagación de paltos que la mezcla testigo. Siendo interesante realizar un estudio sobre el manejo necesario para que cada medio de propagación exprese su potencial y así obtener resultados más significativos, pudiendo ser éstos utilizados con mayor éxito en la propagación de paltos variedad Hass sobre portainjertos variedad Bacon, logrando un menor tiempo de propagación y plantas de mejor calidad del que se presenta en este ensayo.

BIBLIOGRAFIA

- Abad, M., M. Martínez, P. Martínez, y J. Martinez. 1992. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. pp 141-154. *In: I jornadas de sustratos. Actas de Horticultura*, 11. SECH.
- Abad, M. 1993. Sustratos. Características y propiedades. pp. 47-62. *In: Cultivo sin suelo. F. Canovas y J. Díaz. (Eds). Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA.*
- Aburto, F. 2007. Evaluación de sustratos obtenidos a partir de la mezcla de un residuo orgánico bioprocesado con materias comunes para la propagación de palto. Memoria ingeniero agrónomo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile. 56 p.
- Aiziczon, A. 2006. Métodos de riego presurizados. 5 p. *In: Tercer seminario internacional de fertirrigación. Santiago, Chile. 10 y 11 de agosto de 2006.*
- Alvarado, P. y R. Rojas. 1996. Producción comercial de plantines libres de estrés. *Agroeconómico, Chile, N° 34: 6-13.*
- Alvarado, M. y J. Solano. 2002. Medios o sustratos en la producción de viveros y plantas. *In: Producción de sustratos para viveros, proyecto VIFINEX, Republica de China-OIRSA. Costa Rica, noviembre, 2002. Disponible en: www.ns1.oirsa.org.sv_publicaciones_VIFINEX_manuales.pdf Leído el: 27 de abril del 2006.*
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Grupo Mundi Prensa, España. 172 p.
- Barkley, S. 2002. Evaluation of coco coir as compared to sawdust for tomato crop production. Disponible en: [http://www1.agric.gov.ca/\\$department/deptdocs.asf/all/opp4542?opendocument](http://www1.agric.gov.ca/$department/deptdocs.asf/all/opp4542?opendocument) Leído el: 28 de diciembre del 2005.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Aerotécnicas S.L. Madrid, España. 342 p.
- Cabrera, R. I. 2002. Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en macetas. Department of Horticultural Science. A&M University, Dallas, Texas, U.S.A. Disponible en: <http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort02/Potencia06.pdf> Leído el: 29 de mayo del 2006.
- Cautín, R. 1988. Evaluación técnica y económica del comportamiento del palto (*Persea americana Mill*) cv. Fuerte asociado con los del cv. Bacon, Edranol y Negra de la cruz.

Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía, Quillota. 82 p.

Comité de Paltas, Chile. 2006. La arremetida de los palteros chilenos. 16 de marzo del 2006 – 18:25 hrs. Disponible en: http://www.paltahass.cl/html/consumidores/noticias_c.php?.not=170 Leído el: 16 de mayo del 2006.

Cuevas, J., O. Seguel, A. Ellies, y J. Dörner. 2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. R. C. Suelo Nutrición Vegetal, 2006, Vol. 6, no. 2, p. 1-12. ISSN 0718-2791. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s071827912006000200001&ing=es&nrm=150 Leído el 27 de marzo del 2007.

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

Dickey, R.D., E.W. Mc Elwee, C.A. Conover and J.N. Joiner. 1978. Container growing of woody ornamental nursery plant in florida. Florida. University of Florida agricultural experimental station, Gainesville, Florida, Bulletin 793. 122 p.

Gardiazabal, F. 1990. Requerimientos de clima, suelo y agua para la implantación de paltos. Curso internacional de producción, cosecha y comercialización de paltas. Universidad católica de Valparaíso – FAO, Viña del Mar, Chile.

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: 19 de Octubre del 2006.

Handreck, K. and N. Black. 2002. Growing Media for Ornamental Plants and Turf. UNSW Press. Tercera edición. ISBN: 0868407968. 550p.

Hartmann, H., D. Kester and F. Davies. 1990. Plant propagation, principles and practices. New Jersey, Prentice may. 647 p.

Hartmann, H. and D. Kester. 2002. Plant propagation. Principles and practices. Prentice may. New Yersey. 880 p.

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

- Lahar, E. 1998. Nutrición en Paltos. pp 43-49. *In:* Seminario Internacional del palto. Viña del Mar, Chile. 4, 5, 6 de noviembre de 1998. Gardiazabal y Magdahl Ltda. Asesorías y proyectos agrícolas.
- Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. Mc Domauld and J.P. Barnett. 1990. Containers and growing media. The Container tree nursery manual. Agric. Handbook 674 (2). Washington, D.C.: U.S.D.A. Forest Service. 88 p.
- Martinez, E. y M. García. 1993. Hortalizas: Cultivo sin suelo. Madrid, España. Mundi Prensa. 189 p.
- Mendoza, H. 1993. Cultivo de tomate sobre sustrato inerte. pp. 13-16. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Nuevas tendencias en el uso de fitoreguladores y fertirrigación en cultivo de tomate forzado. Quillota, 9-16-23-30 de agosto 1993.
- Messerer, D. 1998. Sustratos alternativos en la propagación de palto (*Persea americana*). Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía, Quillota, Chile. 61 p.
- Morales, H. 1995. Elaboración de sustratos para su utilización en propagación de plantas frutales, a partir de materiales no tradicionales. Memoria Ingeniero Agrónomo, Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía, Quillota, Chile. 89 p.
- Pastor, J. 2000. Utilización de Sustratos en Viveros. Universidad de Lleida, Departamento de Hortofruticultura, Botánica y Jardinería. Revista Chapingo. Junio, 2000. pp 231:235. Disponible en: <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art231-235.pdf> Leído el: 29 de mayo del 2006.
- Petit, F. 2004. Cultivo en fibra de coco. 914 p. *In:* URRESTARAZU, M. (Ed.). Tratado de cultivo sin suelo. 3^{ra} ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Prat, L. 1999. Sustratos para propagación, recipientes y sustancias enraizantes. pp 43-58. *In:* Manejo Tecnificado de invernaderos y propagación de plantas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Producción Agrícola.
- PUCV (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso). 2006. Tabla interpretativa de análisis foliar de palto. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Disponible en: http://ucv.altavoz.net/prontus_unidacad/site/artic/20061122/pags/20061122121726.html Leído el: 13 de marzo del 2007.
- Puustjärvi, V. 1994. La turba y su manejo en la horticultura. Ediciones Horticultura, S. L. Traducción Abad, M; Noguera, V; Faus, A. y Noguera, P. 1996. 123 p.

- Razeto, B. 1980. Estudio de toxicidad de los cloruros y sodio en palto en la provincia de Quillota. pp 17-21. Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile.
- Razeto, B. 1993. La nutrición mineral de los frutales, deficiencias y excesos. SOQUIMICH Comercial, Santiago, Chile. 224 p.
- Sadzawka, A., R. Gres, M.A. Carrasco, y M. Mora. 2004. Métodos de análisis de tejidos vegetales. CNA (Comisión de normalización y acreditación). Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 53 p.
- Salas, A. 2007. Evaluación de mezclas de residuos orgánicos bioprocesados y otros materiales para la propagación de vid (*Vitis spp.*). Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile. 38p.
- Sale, P. (ed). 1997. New Zeland Avocado Growers Manual. New Zeland Avocado Growers Association, Tauranga, New Zeland.
- SQM (Soquimich Comercial S.A.) (Ed). 2006. Fundamentos básicos de la nutrición vegetal aplicados a la producción de paltos. 22p.
- USCC (United States Composting Council) 2001. Test methods for the examination of composting and compost, TMECC. Chapter 3: Physical parameter. 03.01-B Quick test for bulk density, porosity/ pore space, free airspace and water holding capacity of compost. pp 4-6. USCC, August 12, 2001.
- Tortosa, J. 1990. La Turba: su caracterización. 1. Propiedades físicas y químicas, evaluación para cultivos en contenedor. Agrícola Vergel 9 (106): 777-783.
- Whiley, A.W., B. Schaffer and B.N. Wolstenholme. 2002. The avocado: botany production and uses. CABI Publishing, Oxon, UK. 416 p.
- Wolstenholme, B.N., C.S. Moore-Gordon, and A.K. Cowan. 1998. Mulching of avocado orchards – quo vadis?. South African Avocado Growers Association Yearbook. (21): 26-28.

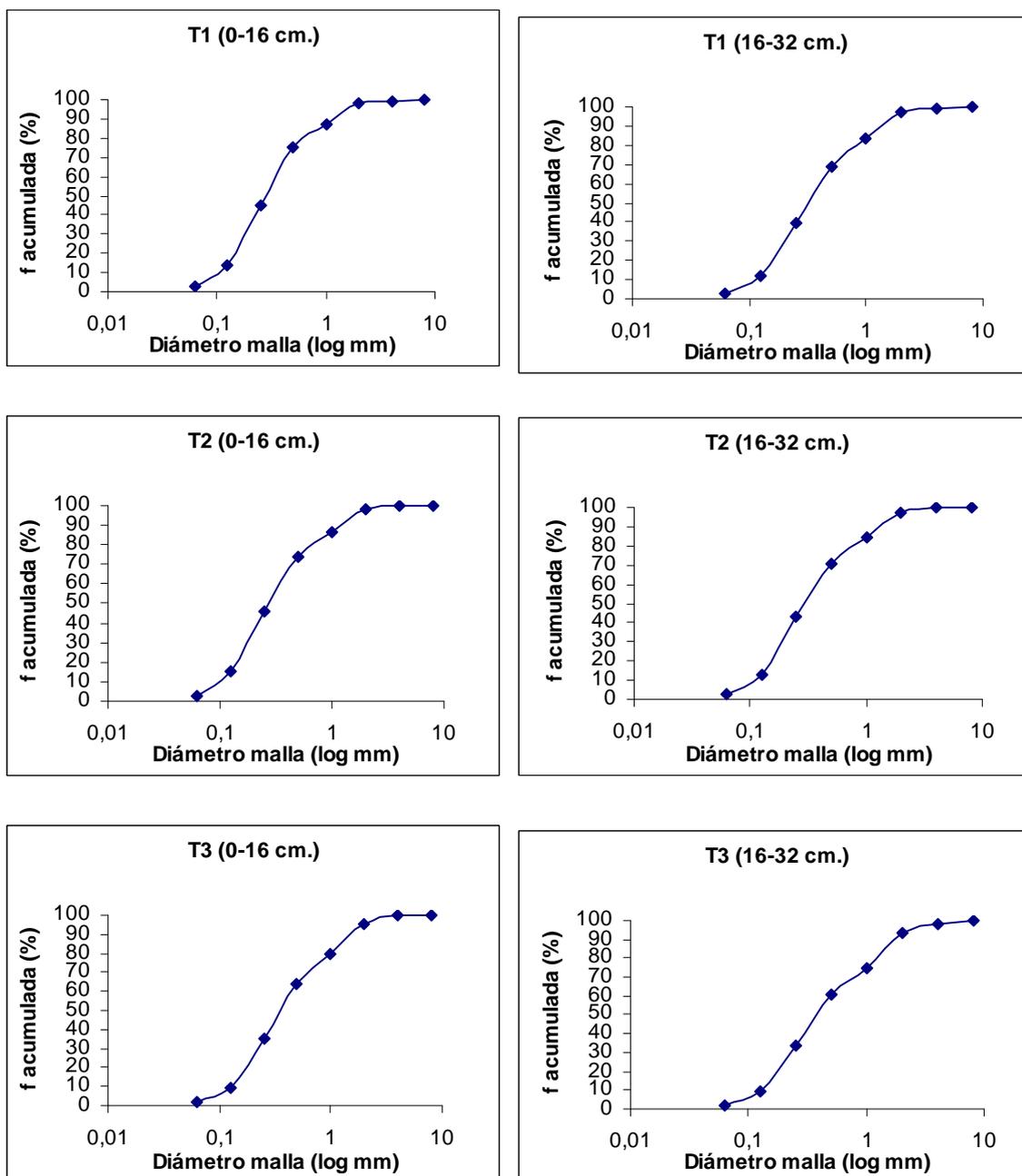
APÉNDICE I

Figura 1. Método utilizado para estimar el área radical en las plantas de palto.

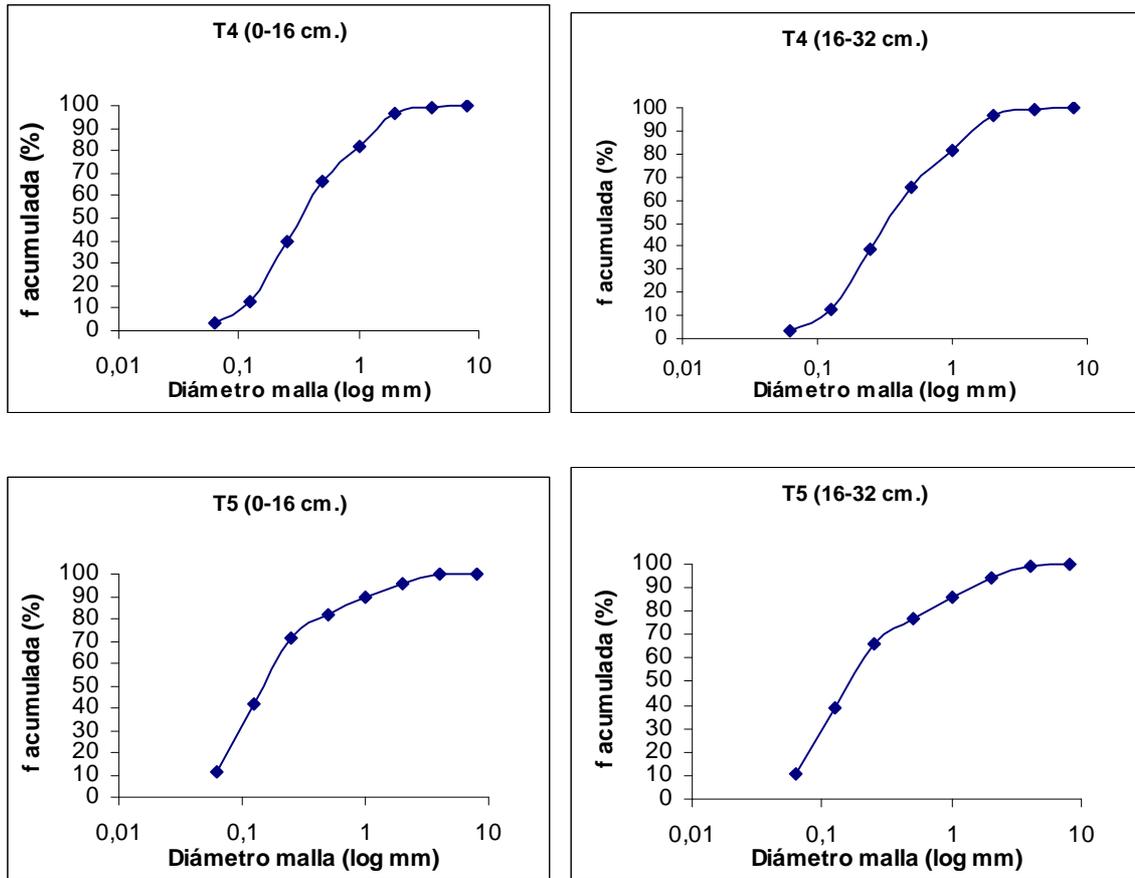


APENDICE II

Figura 2. Resultados de análisis granulométrico, expresado en curvas de frecuencia acumulada en escala logarítmica para determinación de diámetro medio de partículas en ambas profundidades de medición.



Continúa...



Cuadro 1. Distribución de tamaño de partículas expresado en % para cada tratamiento y malla de tamiz.

Tratamiento	Malla tamiz (mm)								
	>16,0	16,0 - 8,0	8,0 - 4,0	4,0 - 2,0	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,125	< 0,125
T1	0,00	0,55	1,80	12,35	13,37	29,37	29,77	10,12	2,69
T2	0,00	0,25	2,02	12,50	12,65	28,03	30,45	11,17	2,92
T3	0,00	0,95	4,95	16,78	15,12	27,58	25,17	7,55	1,90
T4	0,00	1,12	2,22	14,68	15,78	27,17	26,45	9,43	3,15
T5	0,00	0,63	4,37	7,43	8,00	10,57	28,97	29,17	10,87

Cuadro 2. Distribución de tamaño de partículas expresado en % para cada tratamiento y dos rangos de malla de tamiz.

Tratamiento	Malla Tamiz	
	< 0,5 mm	4,0 - 0,5 mm
T1	12,8	55,08
T2	14,08	53,18
T3	9,45	59,48
T4	12,58	57,63
T5	40,03	26,00

APÉNDICE III

Cuadro 3. Peso promedio de semillas utilizadas para cada tratamiento, expresado en gramos.

Tratamiento	Peso promedio
T1	68,4 a
T2	67,2 a
T3	68,8 a
T4	66,8 a
T5	70,0 a

Letras distintas en la columna representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 0,05$).

Cuadro 4. Conductividad eléctrica (CE) y pH promedio para cada tratamiento al inicio del ensayo.

Tratamiento	pH	CE
		$\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$
T1	7,23 a	0,36 ab
T2	7,68 a	0,79 c
T3	7,42 a	0,61 bc
T4	7,92 a	0,64 bc
T5	5,21 b	0,25 a

Letras distintas en cada columna representan diferencias estadísticas según análisis de Dunn y Tuckey para pH y CE respectivamente ($p \leq 0,05$).

Cuadro 5. Materia orgánica (MO) promedio por tratamiento al inicio y fin del ensayo, expresada en porcentaje.

Tratamiento	MO inicio	MO fin
T1	15,78 abc	19,06 a
T2	18,14 bc	17,30 a
T3	21,85 c	25,18 a
T4	8,46 a	13,17 a
T5	12,06 ab	18,42 a

Letras distintas en cada columna representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 0,05$).

Cuadro 6. Densidad aparente (Da) promedio al inicio del ensayo para cada tratamiento, expresada en $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tratamiento	Da
1	0,73 a
2	0,70 a
3	0,76 a
4	0,78 a
5	0,82 a

Letras distintas en cada columna representan diferencias estadísticas según análisis de Tuckey ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IV

Cuadro 7. Análisis de correlación divariada de Pearsons entre los parámetros físicos y químicos evaluados.

		PH	CE	MO	DA	VEP	VEA	CRAV	DMP
PH	Pearson Correlation	1							
	Sig. (2-tailed)	,							
	N	30							
CE	Pearson Correlation	-0,327	1						
	Sig. (2-tailed)	0,078	,						
	N	30	30						
MO	Pearson Correlation	-0,215	-0,085	1					
	Sig. (2-tailed)	0,253	0,656	,					
	N	30	30	30					
DA	Pearson Correlation	-0,677	0,213	0,285	1				
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,258	0,127	,				
	N	30	30	30	30				
VEP	Pearson Correlation	0,205	-0,185	0,132	-0,097	1			
	Sig. (2-tailed)	0,276	0,328	0,488	0,612	,			
	N	30	30	30	30	30			
VEA	Pearson Correlation	0,581	-0,391	0,047	-0,486	0,607	1		
	Sig. (2-tailed)	0,001	0,033	0,804	0,007	0,000	,		
	N	30	30	30	30	30	30		
CRAV	Pearson Correlation	-0,245	0,013	0,253	0,472	0,732	0,198	1	
	Sig. (2-tailed)	0,193	0,946	0,178	0,008	0,000	0,294	,	
	N	30	30	30	30	30	30	30	
DMP	Pearson Correlation	0,441	-0,304	0,143	-0,253	0,488	0,711	0,192	1
	Sig. (2-tailed)	0,015	0,102	0,452	0,178	0,006	0,000	0,310	,
	N	30	30	30	30	30	30	30	30

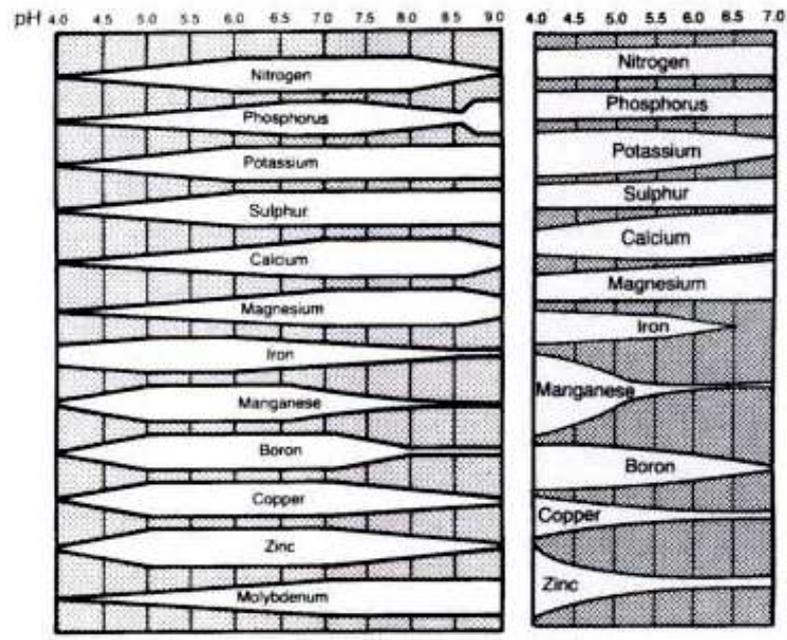
Cuadro 8. Análisis factorial realizado con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre 2 profundidades de contenedor.

Profundidad	MSR	AR	pH	CE	MO	Da	VEP	VEA	CRAV	DMP
0-16 cm	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
16-32 cm	b	b	b	a	a	a	a	a	a	b
significancia	0,001	0,002	0,017	0,156	0,499	0,910	0,544	0,949	0,582	0,028

Continúa...

ANEXO I

Cuadro 11. Disponibilidad de nutrientes a distinto pH. A la izquierda se muestra la disponibilidad de elementos nutritivos para suelos minerales y a la derecha la disponibilidad en sustratos orgánicos (Handreck y Black, 2002).



ANEXO II

Cuadro 12.Tabla interpretativa para análisis foliar de palto PUCV (2006).

Elemento	Unidad	Deficiente	Bajo	Normal	Alto	Exceso
N (Hass)	%	1,4	1,41 – 2,19	2,2 – 2,4	2,41 – 2,69	2,7
P	%	0,05	0,06 – 0,07	0,08 – 0,15	0,16 – 0,24	0,25
K	%	0,35	0,36 – 0,74	0,75 – 1,25	1,26 – 2,24	2,25
Ca	%	0,5	0,51 – 0,99	1 - 2	2,01 – 2,99	3
Mg	%	0,25	0,26 – 0,39	0,4 – 0,8	0,81 – 0,99	1
Na	%	-	-	0,01 – 0,06	0,06 – 0,24	0,25
S	%	0,05	0,06 – 0,19	0,2 – 0,6	0,61 – 0,99	1
Cl	%	-	-	0,07 – 0,23	-	0,25
Cu	%	3	4	5 - 15	16 – 24	25
Fe	ppm	40	41 – 49	50 – 150	151 – 249	250
Mn	ppm	19	20 – 49	50 – 250	251 – 749	750
Mo	ppm	0,01	0,02 – 0,04	0,05 – 1	-	-
Zn	ppm	20	21 – 21	25 – 100	101 – 299	300
B	ppm	14	15 – 49	50 – 80	81 – 149	150

ANEXO III**Cuadro 13.** Temperaturas promedio mensuales medidas en invernadero Amancay.

Mes	Mínima	Máxima	Media
Febrero	11,3	27,9	19,6
Marzo	7,0	27,4	17,2
Abril	6,9	23,1	15,0
Mayo	7,6	19,0	13,3
Junio	7,6	19,0	13,3
Julio	6,2	18,1	12,15
Agosto	6,5	19,4	12,95
Septiembre	6,9	23,3	15,1
Octubre	8,1	24,7	16,4
Noviembre	8,4	25,8	17,1