



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Silvicultura

EFFECTO DE LA GRANULOMETRÍA Y ALTURA DEL CONTENEDOR EN LAS
POROSIDADES DEL COMPOST DE CORTEZA DE

Pinus radiata D. Don.



JAVIER ANDRÉS CAMPANO AYRES

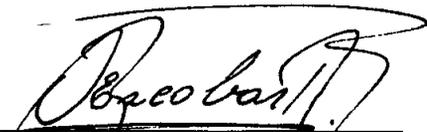
MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCIÓN PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL

CONCEPCIÓN - CHILE

1996

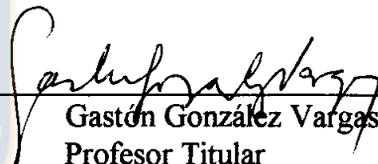
EFFECTO DE LA GRANULOMETRÍA Y ALTURA DEL CONTENEDOR EN LAS
POROSIDADES DEL COMPOST DE CORTEZA DE
Pinus radiata D. Don.

Profesor Asesor



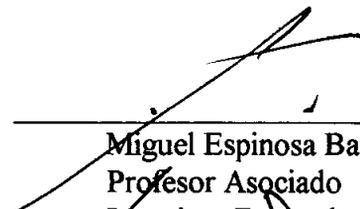
René Escobar Rodríguez
Profesor Asociado
Técnico Forestal

Profesor Asesor



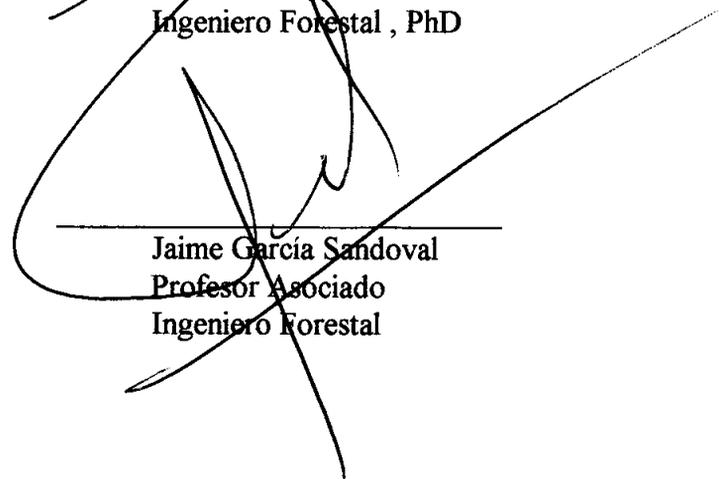
Gastón González Vargas
Profesor Titular
Ingeniero Agrónomo , MSc

Director Departamento Silvicultura



Miguel Espinosa Bancalari
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal , PhD

Decano Facultad de Ciencias Forestales



Jaime García Sandoval
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitir este logro y por otorgarme la fuerza y tranquilidad para ello.

A las siguientes personas, que me distinguieron con su amistad :

Don René Escobar, por su guía, apoyo y consejo.

Don Gastón Gonzalez, Jorge Cancino, Pedro Manzanares, Eduardo Peña y Manuel Jimenez, por sus consejos, discusiones, aportes y correcciones.

Don Miguel Espinosa y Jaime García, por su aliento, consejo y apoyo.

Fernando Contreras, por su invaluable ayuda en el trabajo.

Gonzalo Carrasco, Andrés Salas, Guillermo Toledo y Roberto Viel, por su apoyo y ayuda en las distintas etapas de este trabajo, que permitieron cumplir con la meta.

Las señoritas Mary y M^a Eugenia, por sus gestiones y deferencia.

Don Leopoldo Quezada, por su confianza y rectitud.

A mis Padres, por su constante apoyo.

A todos aquellos que de una u otra forma han contribuido a hacer de mi lo que soy.

DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado a :

Mis Abuelos Pilar Mangas y Arturo Ayres (Q.E.P.D.) : Principios, Tesón y Bondad.

Mi Esposa Mónica : Amor, Fe, Esfuerzo y Dedicación.

Mis Hijas M^a José y Javiera Pilar : Futuro, Esperanza y Amor.



ÍNDICE DE MATERIAS

CAPÍTULOS	PÁGINA
I	INTRODUCCIÓN 9
II	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 11
	2.1 Antecedentes generales 11
	2.2 Funciones de la porosidad 13
	2.2.1 Agua 13
	2.2.2 Aire 13
	2.3 Porosidad 14
	2.3.1 Porosidad total 15
	2.3.2 Porosidad de aireación 17
	2.3.3 Porosidad de retención de agua 22
	2.4 Factores que afectan la porosidad 26
	2.4.1 Tamaño de las partículas 26
	2.4.2 Características de las partículas 28
	2.4.3 Mezcla de distintos tamaños de partículas 30
	2.4.4 Cambios de porosidad a través del tiempo 30
III	MATERIALES Y MÉTODOS 32
	3.1 Lugar del estudio 32
	3.2 Descripción del estudio 32
	3.2.1 Sustrato y granulometría media 33

	3.2.2 Contenedores	34
	3.2.3 Método de medición y variables medidas	35
	3.3 Diseño experimental	36
	3.4 Análisis estadístico.....	36
	3.5 Estándares de comparación.....	37
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
	4.1 Resultados de las variables de porosidad del sustrato	38
	4.1.1 Porosidad total	38
	4.1.2 Porosidad de aireación.....	43
	4.1.3 Porosidad de retención de agua.....	46
	4.1.4 Análisis general.....	49
	4.2 Estándares de comparación.....	53
V	CONCLUSIONES	58
VI	RESUMEN	59
	SUMMARY	60
VII	BIBLIOGRAFÍA	61
VIII	ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°		PÁGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Comparación de las porosidades para componentes estándar de sustratos.....	29
2	Participación porcentual de cada rango de partículas en cada mezcla de sustrato, ordenadas de mayor a menor.....	34
3	Características de los contenedores, ordenados por altura.....	35
4	Valores promedio para cada variable evaluada de los factores y niveles en estudio, y su grado de interacción.....	39
5	Mezclas de sustrato y porosidades que cumplen el estándar para cada contenedor.....	54
	<u>En el Anexo</u>	
1 A	Valores medios de porosidad total para la interacción mezcla y altura del contenedor.....	64
2 A	Valores medios de porosidad de aireación para la interacción mezcla y altura del contenedor.....	65
3 A	Valores medios de porosidad de retención de agua para la interacción altura del contenedor y mezcla.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PÁGINA
1	Relación entre las partículas sólidas y los espacios (porosidad total) alrededor de ellas.....	15
2	Influencia de el tamaño promedio de los poros de un sustrato sobre el efecto capilar del agua en el sustrato.	19
3	Proporción del contenedor ocupada por la capa saturada del sustrato en el fondo del contenedor	20
4	Incremento de la porosidad de aireación de un sustrato al aumentar la altura del contenedor.	21
5	Diagrama conceptual de la relación entre el tamaño de las partículas de turba de musgo y las porosidades de aireación y de retención de agua.	27
6	Porosidad total promedio para la interacción mezcla y altura del contenedor.	42
7	Porosidad de aireación promedio para la interacción mezcla y altura del contenedor.	45
8	Porosidad de retención de agua promedio para la interacción mezcla y altura del contenedor.	49
9	Porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de agua promedio de los contenedores, para cada mezcla de sustrato	50
10	Porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de agua promedio de las mezclas de sustrato, para cada uno de los contenedores, ordenados de menor a mayor altura.....	52

I INTRODUCCIÓN

En la producción de plantas a raíz desnuda, la textura y estructura del suelo determinan la porosidad de éste. En producción a raíz cubierta, esta propiedad está definida por la granulometría del sustrato (tamaño de las partículas) y altura del contenedor (Landis et al., 1990).

La porosidad, entendida como los espacios que hay entre las partículas sólidas, permite contener aire y agua en el sustrato. La cantidad de cada uno de ellos puede determinar el crecimiento de la planta, en los contenedores (Van Schoor et al., 1990).

La importancia de esta propiedad física del sustrato está en la relación entre el balance de porosidad, entendido como la proporción de macroporos y microporos del medio de crecimiento, con la mayoría de los factores que afectan al crecimiento de la planta en el contenedor (aireación, drenaje, disponibilidad de agua, nutrición, etc.) y su posterior establecimiento en terreno (diámetro de tallo, masa radicular, etc.). Un sustrato con buena aireación y drenaje tiene como resultado plantas que son más sanas, vigorosas y resistentes a daños invernales, pestes y enfermedades (Wong, 1994).

Si el sustrato no tiene la porosidad adecuada, las mejores prácticas de manejo y ambiente no pueden producir la situación óptima (Swanson, 1989).

El presente estudio, inserto en una línea de investigación desarrollada por el Departamento Silvicultura de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de

Concepción, evalúa el efecto de la granulometría del sustrato y altura del contenedor en la porosidad del compost de corteza de *Pinus radiata* D. Don. Se analiza el efecto de la granulometría, altura del contenedor y la interacción de ambos factores en las distintas porosidades del sustrato. Al mismo tiempo se determina, para cada contenedor utilizado, la mezcla de sustrato que cumple con el estándar de porosidad propuesto por Landis (1994).



II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes generales

La historia de los sustratos o medios de crecimiento se remonta a los años 30 en Inglaterra, donde el Instituto de Horticultura John Innes realizó la primera investigación sistemática, de búsqueda de un sustrato uniforme y estandarizado. Desarrollaron un compost en base a marga, mezcla no cohesiva de arena y arcilla que contiene sustancias orgánicas, que fue mejorado con musgo de pantano (turba de musgo), arena y fertilizantes (Buntt, 1988, citado por Landis et al., 1990). A principios de los 50, el primer sustrato verdaderamente artificial fue creado en la Universidad de California; donde se mezclaron varias proporciones de arena fina y turba de musgo con fertilizantes suplementarios (Matkin y Chandler, 1957, citados por Landis et al., 1990). En los años 60, se desarrolló el Cornell Peat-Lite Mixes que fue el predecesor de los sustratos modernos, en la Universidad Cornell (U.S.A.). Este sustrato estaba compuesto por varias combinaciones de turba de musgo, vermiculita y perlita (Mastalerz, 1977, citado por Landis et al., 1990)

En el sector forestal nacional, el uso de sustratos y su desarrollo se remonta a los últimos 15 años, concentrándose los mayores avances de investigación en los pasados 5 años. Uno de los de mayor aceptación ha sido el compost de corteza de pino radiata (*Pinus radiata*), el que reúne la mayoría de las características de un sustrato adecuado para la producción de plantas (Escobar y Sánchez, 1992).

Landis et al. (1990) establecieron que no hay ningún sustrato que pueda ser usado para todos los propósitos de producción en viveros forestales. Swanson (1989) entrega un listado de características que debe poseer un sustrato bien formulado, para estos viveros, que concuerda con Liegel y Venator (1987) y con James (1987), citado por Landis et al. (1990). Estos últimos, dividen las características del sustrato en dos grupos: características culturales, que influyen en el crecimiento de la planta y características operacionales, que afectan las operaciones del vivero.

Las características culturales de un sustrato son aquellas que afectan su capacidad para producir cultivos saludables de plantas bajo las prácticas culturales de un vivero a raíz cubierta: pH levemente ácido, alta capacidad de intercambio catiónico, baja fertilidad natural, adecuada porosidad y libre de pestes (Landis et al., 1990).

Las características que afectan las operaciones del vivero son aquellas relativas a aspectos operativos de la administración del mismo: costos y disponibilidad; uniformidad y reproducibilidad; densidad aparente (kg/m^3); estabilidad dimensional; durabilidad y facilidad para almacenar, mezclar y cargar; rehumectabilidad y capacidad para producir un firme " tapón " de raíces (Landis et al. 1990).

2.2 Funciones de la porosidad

La porosidad de un sustrato permite proveer a la planta dos elementos básicos para su crecimiento y desarrollo.

2.2.1 Agua

Las plantas requieren de un abundante y continuo abastecimiento de agua desde el sustrato, para el crecimiento y otros procesos fisiológicos, como por ejemplo, el enfriamiento por transpiración. Está contenida tanto externa como internamente en el sustrato hasta que es requerida por la planta. Externamente en los poros relativamente pequeños (microporos), que existen entre las partículas e internamente en los espacios internos de materiales porosos como la turba de musgo o la corteza. Debido al limitado volumen de los contenedores pequeños, el sustrato debe tener una gran capacidad de retención de agua, para suministrarla entre un riego y otro (Landis et al. 1990).

2.2.2 Aire

Las raíces de las plantas están constituidas por tejidos vivos y gastan energía, entre otros, para crecer y absorber nutrientes minerales desde el medio de crecimiento. La energía para estas actividades fisiológicas es generada por la respiración aeróbica, que requiere un suministro fijo de oxígeno. El subproducto de esta respiración, es dióxido de carbono que puede acumularse hasta niveles tóxicos si no es disipado a la atmósfera. Por lo tanto, el sustrato debe ser lo suficientemente poroso para proporcionar un intercambio eficiente de oxígeno y dióxido de carbono. Debido a que el oxígeno difunde a través del agua a sólo 1 / 10.000 de la velocidad a la que difunde a través del aire, este intercambio gaseoso se produce en los grandes poros del sustrato, llenos de aire.

Estos poros grandes están en función directa del tamaño y disposición de las partículas del sustrato, así como del grado de compactación de éste (Landis et al., 1990).

2.3 Porosidad

Landis et al. (1990) señalan que probablemente, no hay ninguna otra propiedad física del sustrato que haya sido tan discutida e investigada como la porosidad. Esta atención está bien merecida, porque el espacio relativo de poros de un sustrato afecta todos los aspectos del crecimiento de las plantas en contenedores. 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 tomar agua y nutrientes minerales.

Milks et al. (1989b) establecen que las plantas que crecen en contenedores pequeños, a menudo, tienen problemas de crecimiento debido a una pobre aireación o a una baja capacidad de retención de agua del sustrato.

Un sustrato está compuesto por partículas sólidas y por los espacios que existen entre ellas; estos espacios porosos son tan importantes horticulturalmente como las partículas mismas. La cantidad de espacio poroso se expresa en términos de porcentaje de porosidad y es función del tamaño, forma y arreglo espacial de las partículas individuales de un sustrato dentro del contenedor (Landis et al. 1990).

La porosidad se divide, funcionalmente, en tres partes: porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de agua (Bethke, 1986; Handreck y Black, 1984,

citados por Landis et al., 1990).

2.3.1 Porosidad total

Landis et al. (1990) la definen como la cantidad total de espacios porosos de un sustrato, expresada como un porcentaje de su volumen, que no está lleno con partículas sólidas. Milks et al. (1989a) y Van Schoor et al. (1990) establecen que es el volumen total de un sustrato no ocupado por partículas minerales u orgánicas. Un ejemplo ilustrativo se presenta en la Figura 1.

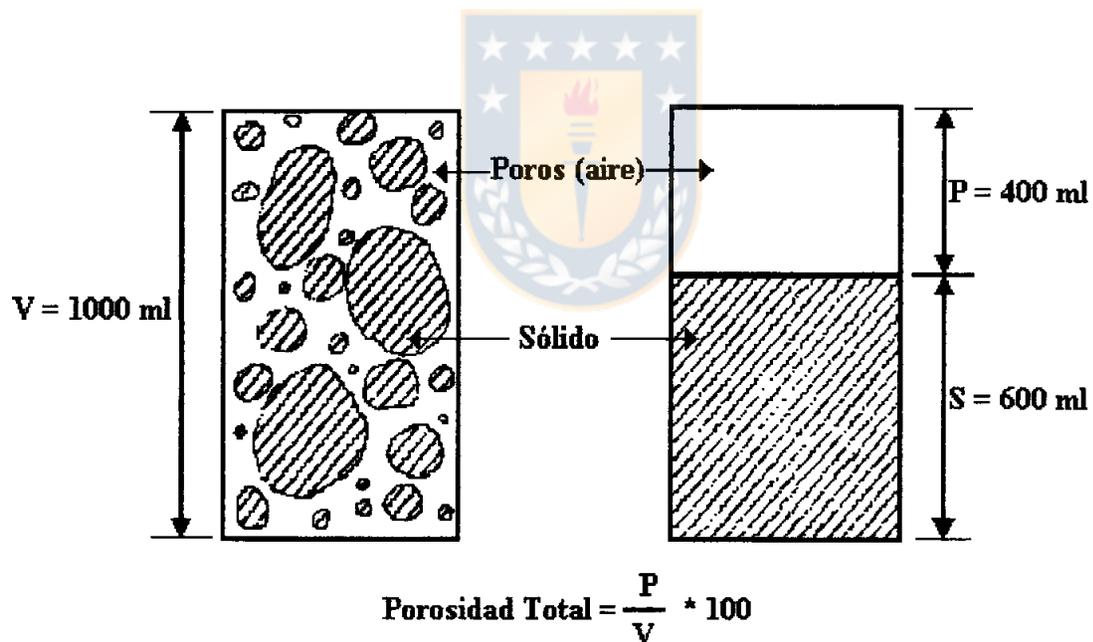


Figura 1. Relación entre partículas sólidas y los espacios alrededor de ellas (porosidad total), (tomado de Landis et al., 1990, de una adaptación de Handreck y Black, 1984).

Gessert (1976) y Whitcomb (1988), citados por Landis et al. (1990), al igual que Spomer (1977), citado por Landis (1994), coinciden en señalar que la porosidad total (%) es igual al volumen total de poros, entendido como el volumen de agua que se agrega a un sustrato seco para lograr su completa saturación y se expresa como un porcentaje del volumen del contenedor.

Los espacios porosos que conforman la porosidad total pueden contener aire o agua (Van Schoor et al., 1990), es decir, porosidad total = porosidad de aireación + porosidad de retención de agua. Existen diferentes formas de medir esta variable : una de ellas es pesar el agua en el contenedor (Swanson, 1989) y otra es medir el volumen de agua en el contenedor (Spomer, 1977, citado por Landis, 1994). En ambos casos, se requiere saturar el sustrato dentro del contenedor.

Beardsell et al. (1979a) en un estudio de distintos sustratos, determinaron que la porosidad total puede ser calculada a partir de la densidad aparente de los componentes individuales de ciertos sustratos, ya que existe una correlación inversa entre estos dos parámetros. Sin embargo, en términos generales, Landis et al. (1990) señalan que las características de porosidad de aireación y de retención de agua de un sustrato, no pueden ser predichas a partir de la porosidad de sus componentes individuales.

La porosidad total recomendada por los distintos investigadores varía considerablemente. Van Schoor et al. (1990) señalan que un sustrato de corteza tiene entre 85 - 90 % de porosidad total. Landis et al. (1990), hacen referencia a Handreck y Black (1984) quienes recomiendan una porosidad total de entre 60 - 80 % para que un sustrato esté bien formulado; también citan a Havis y Hamilton (1976) que establecen que la

porosidad total debe sobrepasar el 50 %. Heiskanen (1993), cita a Pivot (1985) quien señala que la porosidad total de una mezcla de corteza de *Picea alba* compostada, es de 82 %, mientras que al citar a Olsson y Wästerlund (1982), éstos muestran que la porosidad total llega al 75 % de la mezcla de cortezas usada por ellos; por otra parte, presenta los resultados de Lorenzo et al. (1981), quienes al usar compost de corteza de *Pinus pinea* encontraron una porosidad total de 84 %. En el país, Grez y Gerding (1995) usando una mezcla de compost de corteza de *Laurelia philippianna* (tepa), *Aextoxicon punctatum* (olivillo) y *Nothofagus obliqua* (roble), en proporciones por volumen de 82, 12 y 6 % respectivamente, encontraron una porosidad total de 77 %.

2.3.2 Porosidad de aireación

Es la proporción, de la cantidad total de poros de un sustrato, que se llena con aire después de que éste es saturado con agua y luego dejado drenar libremente (Beardsell et al., 1979a; Spomer, 1980; Bugbee y Frink, 1986; Swanson, 1989; Milks et al., 1989a; Landis et al., 1990; Van Schoor et al., 1990). Los poros que contienen aire son relativamente grandes y son llamados macroporos (Landis et al. 1990).

Esta propiedad del sustrato es una de las más importantes para el crecimiento de las plantas en contenedores (Beardsell et al., 1979a, b; Swanson, 1989; Van Schoor et al., 1990), ya que determina la cantidad de agua y minerales disponibles para las raíces de la planta (Swanson, 1989).

La medición de esta propiedad se puede realizar siguiendo la metodología propuesta por Spomer (1977), citado por Landis (1994), (que se explica en el capítulo III) o recurrir a la propuesta por Swanson (1989), que se basa en el cálculo del peso del agua que drena

desde el contenedor luego que éste fue saturado.

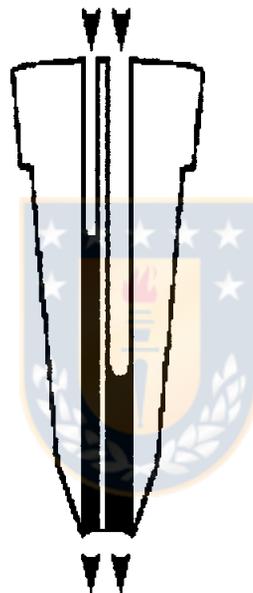
Milks et al. (1989a) establecen que la altura del contenedor es el principal factor que controla la porosidad de aireación. Swanson (1989) señala, además, que el tamaño de los poros es un factor crítico para la porosidad de aireación. La importancia de estos factores se debe a que el comportamiento del agua dentro de un contenedor es diferente al que se registra en el suelo (Landis et al., 1989). En el fondo del contenedor, se crea un nivel de agua suspendida (water perched table), que satura los poros del sustrato, originando una columna cuya altura depende del tamaño de los poros y de la altura del contenedor (Swanson, 1989).

Landis et al. (1989) explican que cuando se ha aplicado riego a un contenedor lleno con sustrato, el agua percola hacia abajo por efecto de la gravedad, hasta alcanzar el fondo del contenedor. En este punto, el flujo de agua cesa debido a que la fuerza de gravedad es menor que la combinación de las fuerzas de adhesión (acción capilar) y cohesión dentro de la columna de agua. Según Swanson (1989), estas fuerzas creadas por el agua y el tamaño de los poros del sustrato, determinan con que firmeza el agua es retenida en el contenedor antes de ser drenada. El drenaje desde el fondo del contenedor, sólo ocurre cuando la fuerza debida a la altura de la columna de agua es suficiente para superar estas fuerzas adhesivas y cohesivas (Landis et al., 1989).

La altura de esta capa saturada es función de la textura del sustrato (Figura 2), puede ser mayor para un sustrato de textura fina que para uno de textura gruesa debido a que las fuerzas capilares son más grandes en los poros más pequeños (Landis et al., 1989). En otras palabras, los poros pequeños del sustrato retienen el agua con más fuerza que los

poros grandes (Swanson, 1989). Wong (1994) establece que el único medio para reducir los efectos de una acumulación de agua suspendida en el fondo del contenedor, para un sustrato dado, es incrementando la altura de éste. Con esta medida, se incrementará el drenaje y la aireación del sustrato.

Entrada de Oxígeno



Salida de Agua

Figura 2. Influencia del tamaño promedio de los poros de un sustrato sobre el efecto capilar del agua en el sustrato (adaptado de Landis et al., 1989, de una modificación de Whitcomb, 1988).

En la figura anterior, el tubo delgado, representa como un sustrato fino, con un tamaño promedio de poros pequeño, retendrá más agua que un sustrato grueso, representado por el tubo ancho.

Asumiendo que la textura del sustrato es la misma, la altura del contenedor determina la proporción del agua que drena libremente (Whitcomb, 1984, citado por Landis et al., 1989). Los contenedores más altos tienen mejor drenaje, a mayor altura del contenedor, más agua drena de él (Swanson, 1989).

Landis et al. (1989) muestran que un contenedor de 10 cm de altura tendrá la misma altura de sustrato saturado que un contenedor de 25 cm de altura, pero el contenedor bajo tendrá, proporcionalmente, menos sustrato libremente drenado (Figura 3). Igualmente muestran Wong (1994), citando a Fonteno (1987), quien al usar contenedores de entre 3 a 16 cm de altura, con el mismo sustrato, encontró que la porosidad de retención de agua era de 68 y 49 %, respectivamente, por lo que el contenedor más bajo tenía un menor drenaje.

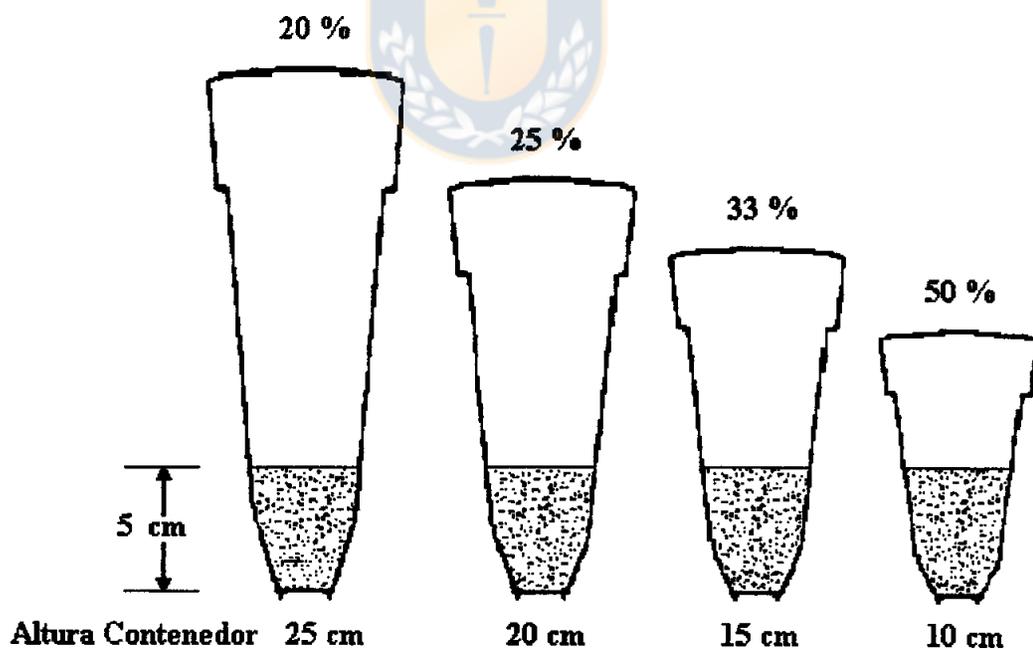


Figura 3. Proporción del contenedor ocupada por la capa saturada del sustrato en el fondo del contenedor (tomado de Landis et al., 1990, de una adaptación de Whitcomb, 1984).

Este efecto de "franja capilar" es independiente del diámetro o forma del contenedor. Para un contenedor dado, el único camino para modificar la altura de esta capa saturada es cambiando la textura del sustrato por una mezcla más gruesa (Futura, 1978, citado por Landis et al., 1989). La textura, distribución del tamaño de las partículas y estructura de un sustrato determinan la distribución del tamaño de los poros, que es la propiedad física más importante del sustrato, ya que afecta la disponibilidad de agua y aire para las raíces (Heiskanen 1993). La presencia de esta capa saturada tiene gran importancia en la aireación del sustrato; Bunt (1976), citado por Landis et al. (1989), mostró que cambiando la altura del contenedor de 5 a 20 cm, se incrementó el volumen de aire en el contenedor de un 4 a un 8 % (Figura 4). Similares resultados muestra Wong (1994), citando a Fonteno (1987), cuando al usar el mismo sustrato en contenedores de entre 3 a 16 cm de altura, determinó que la porosidad de aireación variaba desde 3 a 21 % respectivamente.

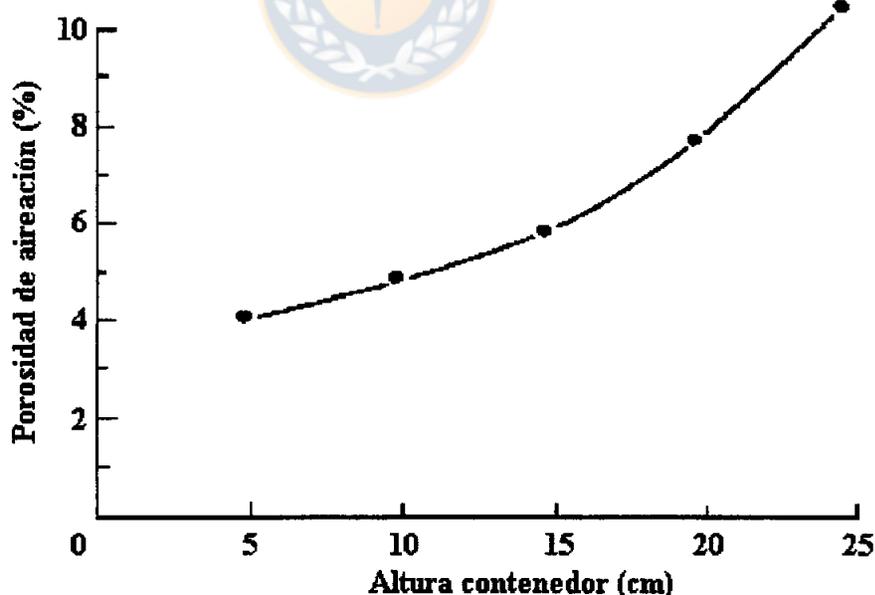


Figura 4. Incremento de la porosidad de aireación de un sustrato al aumentar la altura del contenedor (tomado de Landis et al., 1990, de Bunt, 1976).

Las recomendaciones de porosidad de aireación son variadas. En general, valores cercanos a 10 % son considerados como el límite inferior para la difusión de los gases en el suelo (Wesseling y Wijk, 1957, citados por Heiskanen, 1993), aunque Furuta (1978) y Grable (1966), citados por Beardsell et al. (1979a), sugieren que el límite crítico para una buena aireación es una porosidad de aireación de 5 %. Valores de 10 a 15 % son considerados como los mínimos para la respiración radicular y el crecimiento (Vomocil y Flocker, 1961, citados por Heiskanen, 1993). Swanson (1989) establece que la porosidad de aireación debe ser mayor a 15 % para una apropiada aireación de la raíz, siendo un rango aceptable de 20 - 30 %. Landis et al. (1990) citan a Havis y Hamilton (1976), los que recomiendan que la porosidad de aireación debe estar entre 20 - 25 % ; mientras Whitcomb (1988), indica que las plantas forestales deben tener entre 25 - 35 % de porosidad de aireación, finalmente, citan a Puustjärvi y Robertson (1975), los que recomiendan valores entre 45 - 50 %, debido a la alta demanda de oxígeno que tienen las raíces en ambientes de invernadero.

En cualquier caso, es bueno recordar, que aunque incrementando la aireación se obtiene como resultado la correspondiente disminución en retención de agua, ésta es la situación más preferible. Es siempre mejor regar más frecuentemente, que no tener suficiente porosidad de aireación (Wong, 1994).

2.3.3 Porosidad de retención de agua

Es la proporción de la cantidad total de poros de un sustrato que permanece llena con agua después de que éste es saturado y luego dejado drenar libremente (Beardsell et al., 1979a; Spomer, 1980; Swanson, 1989; Milks et al., 1989a, b; Landis et al., 1990). Los

poros que contienen el agua son relativamente pequeños y son llamados microporos (Landis et al., 1990).

Es la propiedad física más importante después de la porosidad de aireación (Beardsell et al., 1979b). En muchos casos, su cálculo se realiza por simple diferencia entre porosidad total y porosidad de aireación (Swanson, 1989; Spomer, 1977, citado por Landis, 1994; Gessert, 1976 y Whitcomb, 1988, citados por Landis et al., 1990). Sin embargo, también se puede medir aplicando presión, mediante un aparato de placas de presión (Landis et al., 1989; Milks et al., 1989a, b), o midiendo el potencial mátrico mediante pequeños tensiómetros (Heiskanen y Laitinen, 1992, citados por Heiskanen 1993) y el potencial total del agua, usando la técnica de la termocupla psicrométrica (Landis et al., 1989). Cuando el potencial osmótico tiene un valor pequeño, el potencial total del agua es la suma del potencial mátrico y osmótico (Puustjärvi, 1980, citado por Heiskanen, 1993).

Cuando se utilizan estas técnicas de medición, la porosidad de retención de agua puede dividirse de acuerdo a la cantidad de agua extraíble en distintos rangos de presión o potencial mátrico. Van Schoor et al. (1990) dividen la porosidad de retención de agua en :

Agua fácilmente disponible (AFD), que es el agua extraída desde el sustrato por presiones de succión entre 10 - 50 cm (de altura de agua).

Agua a capacidad tampón (ACT), que es la cantidad de agua retenida por presiones de succión entre 50 -100 cm.

Agua residual (AR), que es la cantidad de agua que permanece en el sustrato y no está disponible para la planta, generalmente es agua retenida por presiones de succión mayores a 700 cm.

Handreck y Black (1984), citados por Van Schoor (1990), unen la AFD y ACT en un solo término denominado agua prontamente disponible (APD), que representa la cantidad total de agua disponible para la planta, después del drenaje, hasta los 100 cm de presión de succión. En general, diferentes autores ocupan definiciones similares a la anterior para referirse a los componentes de la porosidad de retención de agua, se refieren a la capacidad de retención de agua disponible (CRAD) o simplemente agua disponible (AD) y a la capacidad de retención de agua no disponible (CRAND) o agua no disponible (AND) (Beardsell et al., 1979a, b; Lennox y Lumis, 1987; Milks et al., 1989a, b; Bilderback, 1992; Tyler et al., 1993).

El agua disponible (AD) es la diferencia entre la cantidad de agua que es retenida por el sustrato, después de ser saturado y dejado drenar libremente, pero antes de que se produzca evaporación y el agua no disponible (Milks et al., 1989a).

El agua no disponible (AND) es la contenida en el sustrato por valores de retención de humedad mayores que 1500 kPa (Milks et al., 1989a).

Nemls y Spomer (1983) comentan que la porosidad de retención de agua es función de la altura del contenedor y de las características de retención del sustrato.

Las recomendaciones de porosidad de retención de agua son escasas. Swanson (1989) establece que debe estar entre 20 y 30 %. Landis et al. (1994) sostienen que valores entre 25 y 35 % son óptimos para la producción de coníferas.

La variación en las recomendaciones para las distintas porosidades refleja las características físicas de diferentes tipos de sustratos y diferentes formas en que la porosidad fue medida. En general, un sustrato bien formulado contendrá una mezcla de macroporos para aireación y drenaje, y microporos para retención de agua (Landis et al., 1990). Por último, es importante recordar que un sustrato con buena aireación y drenaje trae como resultado plantas que son más sanas, vigorosas y resistentes a daños invernales, pestes y enfermedades (Wong, 1994).

La disponibilidad de agua y oxígeno para las raíces de las plantas que crecen en contenedores, depende mucho de las propiedades físicas del sustrato y de los factores que afectan estas propiedades (Heiskanen, 1993).

2.4 Factores que afectan la porosidad

La porosidad de un sustrato puede variar con las características de sus componentes; el grado de compactación del medio dentro del contenedor y con la altura del contenedor. Hay cuatro factores que afectan las características de porosidad en los contenedores: tamaño de las partículas, características de las partículas, mezcla de distintos tamaños de partículas y los cambios en la porosidad a través del tiempo (Landis et al., 1990).

2.4.1 Tamaño de las partículas

En viveros a raíz cubierta, la porosidad esta determinada, principalmente, por el rango de tamaños de partículas presentes en el sustrato (Handreck y Black, 1984, citados por Landis et al., 1990). Las partículas grandes no encajan tan estrechamente como las partículas pequeñas y, por esta razón, producen una porosidad total mayor. La porosidad de aireación y la de retención de agua tienen una relación complementaria: a medida que el tamaño de las partículas incrementa, la porosidad de retención de agua disminuye y la de aireación aumenta (Figura 5).

En la Figura 5, se muestra la relación para turba de musgo desarrollada por Puustjärvi y Robertson (1975), citados por Landis et al. (1990). Para este sustrato, recomiendan partículas entre 0,8 y 6,0 mm. Si las partículas de turba son menores a 0,8 mm (A en la Figura 5), los microporos predominan y el sustrato puede fácilmente ser saturado. A medida que el tamaño de las partículas incrementa, la razón de macroporos a microporos aumenta, hasta que, alrededor de los 6,0 mm (B en la Figura 5), los macroporos predominan y el sustrato no retendrá suficiente agua para el crecimiento de la planta.

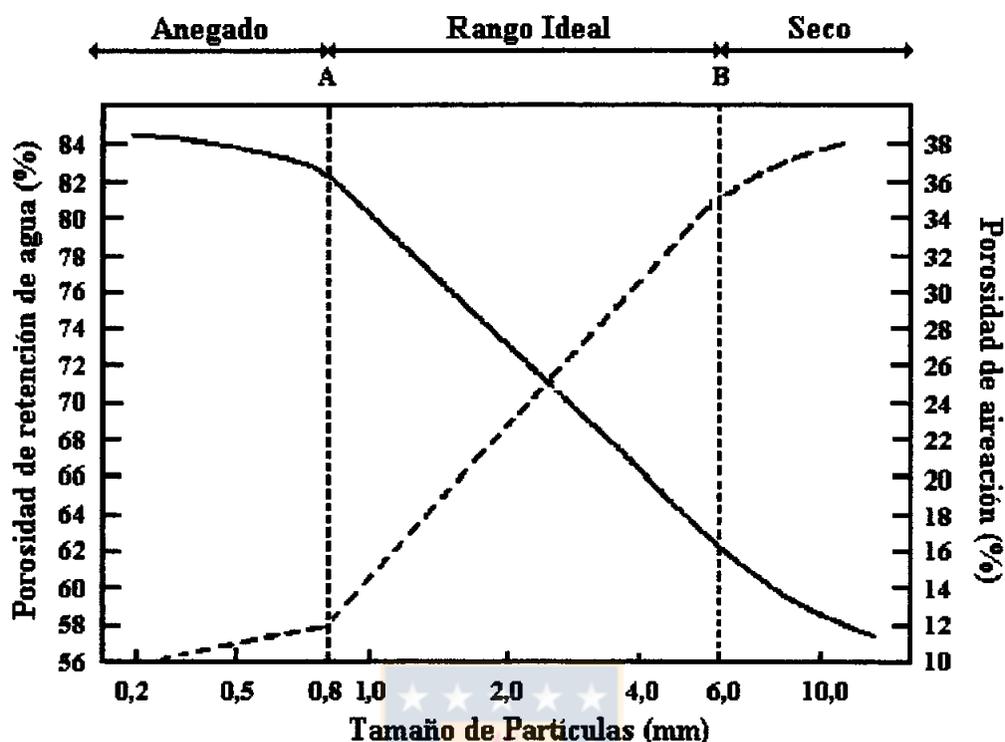


Figura 5. Diagrama conceptual de la relación entre el tamaño de las partículas de turba de musgo y las porosidades de aireación y de retención de agua (tomado de Landis et al., 1990; desarrollado por Puustjärvi y Robertson, 1975).

Landis et al. (1990) establecen que el tamaño de las partículas que genera una mezcla apropiada de porosidad, aparentemente, varía con el tipo de material. El rango ideal de tamaño de partículas, para corteza de pino, es algo más pequeño que para otros materiales. Handreck y Black (1984), citados por Landis et al. (1990), informaron que las partículas menores a 0,5 mm tenían los efectos más significativos sobre las características de aireación y retención de agua del sustrato. Encontraron que la porosidad de aireación disminuyó para las partículas de corteza inferiores a 0,25 mm, mientras que la disponibilidad de agua fue mayor con partículas en el rango de 0.10 a 0.25 mm. Montano et al. (1977) determinaron que para aserrín viejo (apilado 15 años),

las partículas en un rango de 1,00 a 5,00 mm proveen una alta capacidad de retención de agua y una buena aireación, logrando producir plántulas de igual calidad que las que crecen en turba. Swanson (1989) recomienda como tamaño ideal para la arena, que un 60 % de las partículas esté entre 0,25 y 1,00 mm, con no más de un 3 % de éstas (por peso) menores a 0,1 mm e igual porcentaje para las mayores a 2,00 mm.

2.4.2 Características de las partículas

Las propiedades físicas y químicas de las partículas por si mismas, también afectan la porosidad del sustrato. Algunos componentes, tales como turba de musgo y vermiculita, pueden ser comprimidos, mientras que otros, como perlita y corteza mantienen su tamaño original bajo compresión. En el caso de los componentes orgánicos, algunos de ellos, particularmente aserrín y corteza no compostados, encogen durante su descomposición (Landis et al., 1990).

Las partículas de muchos componentes de sustratos no son sólidas y contienen espacios internos; esta porosidad interna es importante para las propiedades hortícolas de un sustrato. Algunos materiales densos como las partículas de arena, no tienen espacios de porosidad interna, mientras que otros, como turba de musgo, vermiculita y corteza de pino, tienen una cantidad importante de porosidad interna (Landis et al., 1990). La porosidad interna de las partículas de corteza de pino fue determinada en alrededor de un 43 % de su volumen total (Pokorny, 1987, citado por Landis et al., 1990). La porosidad interna de las partículas afecta la densidad aparente y puede afectar propiedades tales como el contenido de humedad y de nutrientes de un sustrato (Landis et al., 1990). Spomer (1975) considera que probablemente hasta un 75 % del agua contenida internamente por las partículas de corteza no está disponible para las plantas. Sin

embargo, Pokorny (1987), citado por Landis et al. (1990), ha demostrado que el agua que toman las plantas es incrementada por la penetración radicular en las partículas de corteza de pino.

Una comparación de las características de porosidad de algunos componentes comunes de sustratos, presentados en la Tabla 1, ayuda a ilustrar las variaciones entre los diferentes materiales.

TABLA 1. COMPARACIÓN DE LAS POROSIDADES PARA COMPONENTES ESTÁNDAR DE SUSTRATOS (*).

Componente Sustrato	Relaciones de Porosidad (% por Volumen)		
	Retención de Agua	Aireación	Total
Turba de Musgo Sphagnum	58,8	25,4	84,2
Turba de Musgo Hypnum	59,3	12,4	71,7
Vermiculita	53,0	27,5	80,5
Perlita	47,3	29,8	77,1
Corteza de Abeto	15,0	54,7	69,7
Arena	33,7	2,5	36,2

(*)Fuente: adaptada de Landis et al., 1990; y Johnson, 1968.

La turba de musgo tuvo la porosidad total y de retención de agua más alta, porque posee una gran porosidad interna; la corteza de abeto tuvo la más baja porosidad de retención de agua, debido a que está suberizada y por eso repele el agua (Landis et al., 1990).

2.4.3 Mezcla de distintos tamaños de partículas

Landis et al. (1990) comentan que los sustratos son usualmente una mezcla de dos o más componentes con una variedad de tamaños de partículas, por lo que el arreglo (disposición dentro del contenedor) de cada partícula y su relación con las otras, afecta la porosidad. Siempre que partículas de diferentes tamaños son mezcladas en un sustrato, el volumen resultante es menor que la suma de los volúmenes originales, debido a que las partículas pequeñas llenan los poros entre las grandes. Esto es particularmente significativo para partículas angulares, tales como las de algunos tipos de arena, en que las partículas de forma piramidal pueden encajar uniéndose fuertemente.

2.4.4 Cambios de porosidad a través del tiempo

Landis et al. (1990) establece que la porosidad de un sustrato determinado también cambia a través del tiempo a causa de la descomposición de las partículas, la sedimentación por riego y gravedad y el crecimiento interno de las raíces. Langeroud (1986) concluyó que un sustrato físicamente estable es necesario para poder mantener el importante y crítico balance entre la capacidad de aireación y la de retención de agua. Beardsell et al. (1979a) encontraron que las partículas finas de piedra pómez decantaron en el fondo del contenedor, donde llenaron los espacios entre las partículas gruesas y causaron problemas de drenaje.

Landis et al. (1990) comenta que a muchos viveristas les falta apreciar la cantidad de poros que llega a ser llenado con raíces; en realidad, esperan producir plantas con suficientes raíces para formar un " corcho ", relativamente firme, de raíces al final de la temporada de crecimiento. Como se están produciendo nuevas raíces, éstas penetran y luego se expanden para llenar completamente los grandes poros llenos de aire del sustrato, lo que, gradualmente, va reduciendo la porosidad de aireación. Este problema es más serio, para las plantas grandes que están creciendo en el contenedor por más de una temporada de crecimiento. Para contrarrestar este efecto, los viveristas deben usar un sustrato grueso y bien aireado que, a pesar de requerir más riego (frecuencia) cuando las plantas son pequeñas, proveerá un adecuado intercambio de aire (gases) cuando las plantas maduren.



III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar del estudio

El estudio se realizó en los laboratorios de semillas y de fisiología de árboles, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, ubicados en el campus central de esta casa de estudios, en la ciudad de Concepción, VIII Región.

3.2 Descripción del estudio

A partir de 0,15 m³, de una muestra representativa de compost de corteza de pino radiata utilizado por el vivero San Isidro de Forestal Millalemu, se evaluó el efecto de la granulometría del sustrato y de la altura del contenedor, sobre la porosidad.

Para esto, se establecieron 3 rangos de tamaño de partículas : < 3 mm, 3-6 mm y 6-10 mm, con ellos se confeccionaron 22 mezclas de sustrato con diferentes porcentajes de participación de cada rango, desde 100-00-00 hasta 00-00-100, evaluando con ellas la porosidad total, de aireación y retención de agua en 7 contenedores de alturas entre 4 y 16 cm. Se realizó una comparación de los valores obtenidos con el estándar de porosidad propuesto por Landis (1994).

Como referencia se utilizó la mezcla 60-30-10, que es ocupada por el vivero antes mencionado. A cada una de estas variaciones en la combinación de porcentajes de granulometría se les denominará, en adelante, mezcla.

Las mezclas se codificaron numéricamente, en función de un contenido descendente de partículas menores a 3 mm y ascendente de partículas entre 6 - 10 mm, almacenándose en bolsas plásticas selladas, para mantener el contenido de humedad del sustrato, establecido en 54 %.

En forma paralela, se seleccionaron contenedores entre los más utilizados en el país, incluyendo los de más reciente introducción al mercado nacional al momento del estudio. Los distintos contenedores se identificaron mediante un código alfanumérico en función de la variación de su altura.

Se procedió a montar el ensayo, utilizando para las mediciones la metodología propuesta por Spomer (1977), citado por Landis (1994).

3.2.1 Sustrato y granulometría media

El sustrato utilizado operacionalmente, compost de corteza de *Pinus radiata* D. Don, contiene partículas inferiores a 10 mm, las que se pasaron primero por un tamiz de 6 mm y luego por uno de 3 mm de diámetro. La participación porcentual de cada rango en la mezcla utilizada por el vivero y las variaciones en cada rango efectuadas a partir de ella, para obtener diferentes granulometrías medias, se presentan en la Tabla 2.

Estos 3 rangos de granulometría, 10 - 6 mm, 6 - 3 mm y menores de 3 mm, son similares a los utilizados en otros trabajos (Klett et al., 1972; Bilderback et al., 1982; Tyler et al., 1993). El contenido de humedad para cada uno de los rangos fue de: 30, 20 y 4 %, respectivamente.

TABLA 2. PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DE CADA RANGO DE PARTÍCULAS EN CADA MEZCLA DE SUSTRATO, ORDENADAS DE MAYOR A MENOR.

Rangos de Granulometría (mm)							
Número	< 3	3 - 6	6 - 10	Número	< 3	3 - 6	6 - 10
Mezcla	Participación Mezcla (%)			Mezcla	Participación Mezcla (%)		
1	100	0	0	12	30	40	30
2	90	10	0	13	30	30	40
3	80	20	0	14	20	80	0
4	70	30	0	15	20	30	50
5	60	30	10	16	10	90	0
6	50	30	20	17	10	30	60
7	40	30	30	18	0	100	0
8	33	34	33	19	0	30	70
9	30	70	0	20	0	20	80
10	30	60	10	21	0	10	90
11	30	50	20	22	0	0	100

Mezcla destacada en negro, en la Tabla 2, corresponde a la usada por el vivero San Isidro (mezcla de referencia).

3.2.2 Contenedores

La Tabla 3, muestra los contenedores seleccionados, entre los que se incluyen los últimos dos en ingresar, en el momento del estudio, al mercado nacional. Estos son los contenedores L y M, los que son ampliamente usados actualmente.

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTENEDORES, ORDENADOS POR ALTURA.

CONTENEDORES			
Tipo	Altura (cm)	Volumen (cc)	Nº Cavidades
(A) Almaciguera	4,0	9,5	286
(D) Almaciguera	7,0	50,0	104
(E) Ropack M Pot - 1	8,5	52,0	67
(G) Almaciguera	10,0	95,0	84
(J) Ropack M Pot - 6	12,0	105,0	45
(L) Tubo Leach	15,0	142,0	1
(M) Almaciguera	16,0	132,5	84

3.2.3 Método de medición y variables evaluadas

Las distintas porosidades se determinarán utilizando el método descrito por Spomer (1977), citado por Landis (1994). En donde :

$$\text{Porosidad total (\%)} = \frac{\text{volumen poroso del medio en el envase} * 100}{\text{volumen del envase}}$$

$$\text{Porosidad de aireación (\%)} = \frac{\text{volumen de poros de aireación} * 100}{\text{volumen del envase}}$$

$$\text{Porosidad de retención (\%)} = \text{Porosidad} - \text{Porosidad de aireación}$$

La precisión en la medición de los volúmenes de agua fue de 0,1 cc, tanto para el volumen del contenedor, como para los volúmenes que representan las porosidades antes de su transformación a porcentaje. Para la medición, se utilizó una pipeta de 10 ml, graduada cada 0,1 ml, de origen alemán.

Debido a las características hidrófobas del compost de corteza seco, se dificulta la realización de las mediciones, por lo que se trabajó con el contenido de humedad con que es usado a nivel operacional.

3.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente aleatorio con arreglo factorial, analizando dos factores : granulometría media y altura del contenedor. El primer factor (mezcla) incluyó 22 niveles y el segundo (altura del contenedor), 7 niveles, totalizando 154 tratamientos, con 4 repeticiones cada uno. La unidad muestral corresponde a la cavidad del contenedor, sobre la cual se midieron las variables respuesta mencionadas en el punto anterior.

3.5 Análisis estadístico

Los resultados se analizaron de acuerdo al diseño utilizado, realizando un análisis de varianza con una prueba F para determinar los efectos principales de los factores en estudio y de la interacción entre ellos. Cuando hubo diferencias significativas, estas fueron identificadas a través del test de comparaciones múltiples de Tukey.

3.6 Estándares de comparación

Una vez obtenidos los resultados, se efectuó una comparación con el estándar estadounidense para producción de coníferas, propuesto por Landis et al (1994), que establece los siguientes rangos para cada variable :

Porosidad total	60 - 80%
Porosidad de aireación	25 - 35%
Porosidad de retención de agua	25 - 55%

Donde, la porosidad total es igual a la suma entre la porosidad de aireación y la porosidad de retención de agua, por ejemplo, si el valor de la porosidad de aireación es 25 %, la porosidad de retención de agua debe tener como mínimo un valor de 35 % y como máximo, un valor de 55 % para cumplir con el 60 % y 80 % del estándar de porosidad total.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de las variables de porosidad del sustrato

En la Tabla 4, se presentan los valores promedios para las diferentes porosidades evaluadas en las distintas mezclas de sustrato y alturas de contenedor. Además, se indica para cada una de las variables medidas, el grado de significancia obtenido en el análisis de varianza de cada factor e interacción. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

Los valores de la mezcla de referencia 60-30-10, compuesta por un 60 % (por peso) de partículas menores a 3 mm, 30 % entre 3 - 6 mm y un 10 % entre 6 - 10 mm, se presentan remarcados en negro. En adelante, las mezclas se identificarán por su composición porcentual, correspondiendo el primer número al porcentaje de partículas menores a 3 mm, el segundo al porcentaje entre 3 - 6 mm y el tercero al porcentaje entre 6 - 10 mm.

4.1.1 Porosidad total

Al analizar los valores de la Tabla 4, los resultados muestran que las mezclas extremas 100-0-0 y 0-0-100, tienen porosidades totales de 53,1 y 64,9 %, respectivamente. Los resultados indican que la variación de la mezcla tiene un efecto altamente significativo sobre la porosidad total del sustrato. El test de Tukey establece que la mínima diferencia significativa, entre medias, es de 1,3 %.

TABLA 4. VALORES PROMEDIO PARA CADA VARIABLE EVALUADA DE LOS FACTORES Y NIVELES EN ESTUDIO, VARIANZA Y DIFERENCIACIÓN DE MEDIAS.

Factor		Variables		
Nº	Mezcla (%)	Porosidad Total	Porosidad de aireación	Porosidad de retención de agua
1	100-00-00	53,1 h	15,4 m	37,7 a
2	90-10-00	52,5 h	16,3 lm	36,2 ab
3	80-20-00	52,0 h	17,2 l	34,7 bc
4	70-30-00	51,9 h	16,2 lm	35,8 b
5	60-30-00	52,5 h	19,4 k	33,1 cd
6	50-30-20	53,1 h	21,6 j	31,5 d
7	40-30-30	54,4 g	24,8 i	29,6 e
8	33-34-33	55,7 fg	27,5 h	28,2 ef
9	30-70-00	55,6 fg	30,4 fg	25,2 ij
10	30-60-10	56,3 f	29,9 g	26,4 ghij
11	30-50-20	55,3 fg	29,3 g	26,0 hij
12	30-40-30	54,7 g	29,5 g	25,2 ij
13	30-30-40	56,6 f	29,7 g	26,8 fghi
14	20-80-00	58,5 e	33,6 de	24,9 j
15	20-30-50	59,9 d	32,0 ef	27,9 efg
16	10-90-00	59,6 de	34,8 cd	24,8 j
17	10-30-60	62,4 c	35,8 bc	26,6 fghij
18	00-100-00	60,8 d	35,6 c	25,2 ij
19	00-30-70	64,9 a	37,7 a	27,2 fgh
20	00-20-80	63,5 bc	37,3 ab	26,2 ghij
21	00-10-90	64,5 ab	37,9 a	26,7 fghij
22	00-00-100	64,9 a	38,5 a	26,4 fghij
Altura Cont. (cm)		Porosidad Total	Porosidad de aireación	Porosidad de retención de agua
4,0		60,5 a	18,6 e	41,9 a
7,0		55,9 e	24,6 d	31,3 b
8,5		57,0 cd	29,6 c	27,3 c
10,0		56,4 de	31,0 b	25,4 d
12,0		56,3 e	30,6 b	25,7 d
15,0		57,3 c	32,8 a	24,5 e
16,0		58,3 b	33,4 a	25,0 de
Varianza		Porosidad Total	Porosidad de aireación	Porosidad de retención de agua
Mezcla		**	**	**
Altura Cont.		**	**	**
Mezcla X Alt. Cont.		**	**	**

** = existe diferencia altamente significativa

Los valores con letras iguales no presentan diferencias significativas

En la Tabla 4, se observa que la mezcla de referencia 60-30-10, tiene un 52,5 % de porosidad total. Por otra parte, también muestra que sólo entre las mezclas 10-30-60 y 00-00-100 se alcanzan los valores establecidos, para la porosidad total, en el estándar propuesto por Landis (1994).

En la Tabla 4, los valores muestran que la porosidad total aumenta a medida que es mayor la participación porcentual de las partículas entre 6-10 mm. Las partículas grandes del sustrato no se acomodan tan estrechamente como las pequeñas, lo que genera una porosidad total mayor (Landis et al., 1990).

En cuanto a la altura del contenedor, los valores de la Tabla 4, muestran que la porosidad total en el contenedor de 4 cm de altura es de 60,5 %, siendo superior a la del resto de los contenedores, cuyos valores oscilan entre 55,9 % y 58,3 %, en los contenedores de 7 cm y 16 cm respectivamente. Además, muestran que la altura del contenedor tiene un efecto altamente significativo sobre la porosidad total, estableciéndose al aplicar el test de Tukey que la mínima diferencia significativa, entre medias, es de 0,62 %.

Respecto de este factor, sólo en el contenedor de 4 cm de altura los valores promedio de porosidad total alcanzan a cumplir con el estándar.

Los resultados de la Tabla 4, no concuerdan con los obtenidos por Milks et al. (1989a,b), quienes establecen que no existe efecto de la altura del contenedor sobre la porosidad total. Esta diferencia en los resultados, se puede explicar, probablemente, por un efecto del volumen del contenedor, el que estaría influyendo sobre los valores de porosidad total del contenedor de 4 cm. Éste, tiene un volumen de 9,5 cc, lo que claramente dificulta las

mediciones y afecta la precisión.

Por otra parte, las diferencias detectadas entre los contenedores de 7 a 16 cm, estarían explicadas más por la sensibilidad del test aplicado, que por la variación en la altura del contenedor. Esto, porque las diferencias detectadas por el test de Tukey se deben a que la varianza de la variable es muy pequeña ($s^2 = 1,4 \%$), por lo que mínimos cambios en los valores de porosidad total son inmediatamente detectados en el análisis.

Los valores de porosidad total para la interacción de los factores estudiados se presenta en la Tabla 1A del anexo, donde se muestra que la mezcla 100-00-00 en el contenedor de 4 cm y la mezcla 00-00-100 en el contenedor de 16 cm, presentan valores promedio de 56,6 y 67,8 % respectivamente. Además, se puede observar en ella, que los valores de porosidad total de la mezcla de referencia 60-30-10, varían entre 55,4 % en el contenedor de 4 cm y 50,3 % en el contenedor de 16 cm. En general, la variable presenta un comportamiento errático en los distintos contenedores.

El efecto de la interacción granulometría (mezcla) y longitud del contenedor (altura) sobre la porosidad total, es altamente significativo, según se muestra en la Tabla 4. En la Figura 6, se puede ver el efecto de la interacción de los factores sobre la porosidad total, la que aumenta en la medida que se incrementa en la mezcla la participación porcentual de las partículas entre 6 - 10 mm. Sin embargo, no ocurre lo mismo respecto de la variación en la altura del contenedor, donde se aprecia un comportamiento errático de la porosidad total.

En función de estos resultados, no es claro cual es el efecto de la interacción de ambos factores sobre la porosidad total. Por otra parte, al analizar los resultados de las Tablas 4 y 1A, la Figura 6 y la varianza de la variable, se puede establecer que, no existe un efecto de la altura del contenedor sobre la porosidad total, concordando con lo expuesto por Milks et al. (1989a,b). En consecuencia, a pesar de que el análisis estadístico detecta diferencias altamente significativas para la interacción de los factores, estas diferencias se explicarían por la pequeña varianza de la variable y por la variación en la mezcla de sustrato y no por la interacción de ésta con la altura del contenedor.

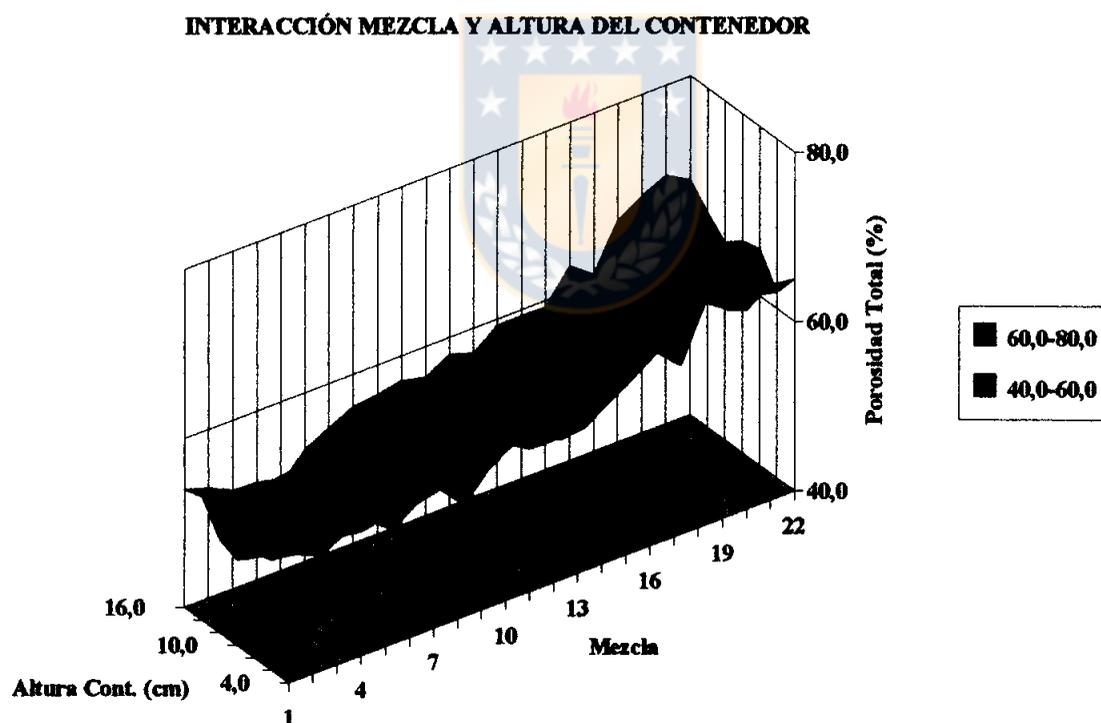


Figura 6. Porosidad total promedio para las interacciones de los factores mezcla y altura del contenedor. En verde, se destacan los tratamientos que cumplen con el estándar para la porosidad total.

4.1.2 Porosidad de aireación

Los resultados de la Tabla 4, muestran que los valores de porosidad de aireación en las mezclas extremas, 100-00-00 y 00-00-100 % son de 15,4 y 38,5 % respectivamente, con una diferencia cercana al 250 % y una tasa promedio de incremento igual a 1,1 %, valor que representa más del doble de la tasa decreciente de la porosidad de retención de agua. También se puede observar, que existen diferencias altamente significativas entre los valores de porosidad de aireación de las mezclas a medida que se incrementa, en ellas, la participación porcentual del rango superior de partículas (6-10 mm). La mínima diferencia significativa entre las medias de esta variable, de acuerdo al test de Tukey, es de 1,7 %.

La mezcla 60-30-10 o de referencia, presenta una porosidad de aireación de 19,4 %, mientras que desde la mezcla 40-30-30 hasta la 10-90-00 los valores de porosidad de aireación se encuentran dentro del rango de porosidad establecido en el estándar para esta variable (25 - 35 %).

La variación de la mezcla es directamente proporcional a la porosidad media de aireación, ya que, a medida que aumenta la primera, la porosidad media de aireación aumenta.

La respuesta a este fenómeno estaría en el incremento de la participación porcentual de los poros de aireación (macroporos) en la porosidad total, en la medida que aumenta la granulometría media del sustrato. Lo que ocurre es que al aumentar el tamaño de las partículas, éstas se acomodan de manera diferente en el contenedor, existiendo una menor cantidad de partículas pequeñas que ocupen los espacios entre las partículas más grandes por lo que se generan espacios vacíos mayores entre una y otra aumentando con ello la

porosidad de aireación (Landis et al., 1990).

Respecto del efecto de la altura del contenedor sobre esta variable, la Tabla 4 muestra para los contenedores extremos, 4 cm y 16 cm de altura, valores de 18,6 y 33,4 % respectivamente, lo que equivale a una diferencia del 180 %. El incremento tiene una tasa promedio de 2,5 %, siendo levemente inferior a la disminución en la tasa de la porosidad media de retención de agua.

La altura del contenedor tiene un efecto altamente significativo en esta variable, siendo la mínima diferencia significativa entre las medias de 0,8 %, de acuerdo al test de Tukey.

La variación en la porosidad de aireación, estaría explicada principalmente por el aumento en la altura del contenedor, ya que, este factor es determinante para evitar que se produzca el fenómeno de acumulación de agua suspendida (water perched table) y mejorar el drenaje. A mayor altura del contenedor, mayor será el drenaje, porque la fuerza de gravedad acumulada en la columna de agua será superior a las fuerzas de adhesión y cohesión que impiden su salida del contenedor (Swanson, 1989). Por último, a mayor altura del contenedor, mayor será la porosidad de aireación del sustrato.

La Tabla 2A del anexo, muestra los valores, para cada interacción de los factores en estudio, de la porosidad de aireación. En ella, se muestra que las mezclas 100-00-00 en el contenedor de 4 cm y 00-00-100 en el contenedor de 16 cm de altura, presentan valores promedio de 9,5 y 40,7 % respectivamente. También se puede observar que la mezcla de referencia 60-30-10, presenta valores que van desde 4,2 % en el contenedor de 4 cm, hasta 24,0 % en el contenedor de 16 cm de altura, alcanzando su valor máximo en

el contenedor de 15 cm, con un valor de 28,4 %. Pese a las fluctuaciones que presentan los valores en las primeras 6 mezclas, respecto de la altura del contenedor, en general se observa una tendencia creciente de la porosidad de aireación ante la variación en ambos factores.

La interacción de los factores estudiados tiene un efecto altamente significativo sobre la porosidad de aireación (Tabla 4). La Figura 7, representa el efecto sobre la porosidad de aireación, de la interacción de los factores mezcla y altura del contenedor. Como se aprecia en ella, la porosidad de aireación aumenta con el incremento de la mezcla y la altura del contenedor (ver Tabla 2A del anexo).

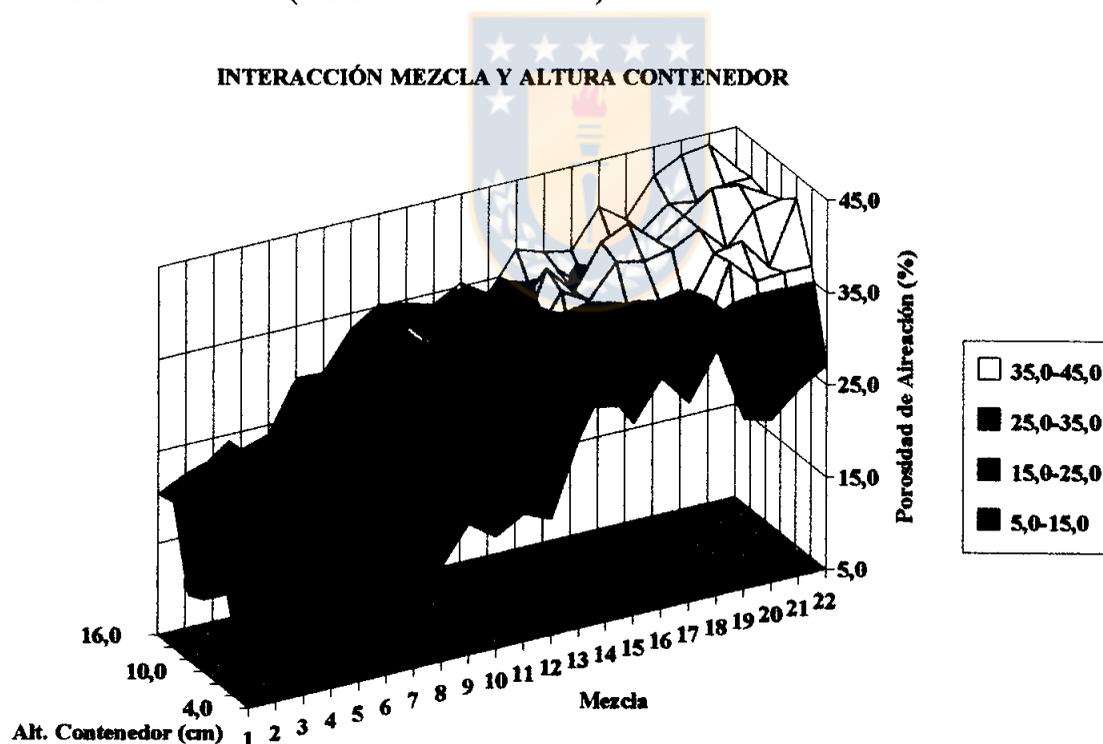


Figura 7. Porosidad de aireación promedio para cada una de las interacciones mezcla y altura del contenedor. En verde, se destacan los tratamientos que cumplen con el estándar para porosidad de aireación.

Esta tendencia, se explica por el aumento que se produce en el drenaje como producto de la acción conjunta del aumento de la granulometría en la mezcla y el aumento de la altura del contenedor, lo que incrementa la fuerza de gravedad que actúa sobre la columna de agua dentro del contenedor provocando un mayor drenaje.

4.1.3 Porosidad de retención de agua

La Tabla 4, muestra que los valores de las mezclas 100-00-00 y 00-00-100 son 37,7 y 26,4, respectivamente, lo que equivale una diferencia de aproximadamente un 143 %. La tasa decreciente promedio de esta variable alcanza un 0,5 %, la que es inferior en un 55 % a la tasa de incremento promedio de la porosidad media de aireación.

Existe un efecto altamente significativo de la variación de las mezclas sobre la porosidad de retención de agua, en particular, la mínima diferencia significativa entre las medias de acuerdo al test de Tukey, es de 1,81 %.

Como se observa en la Tabla 4, la mezcla de referencia 60-30-10, tiene una porosidad de retención de agua de 33,1 %, encontrándose dentro del rango establecido en el estándar para esta variable, al igual que el resto de las mezclas. En este caso, la variación de la mezcla es inversamente proporcional a la porosidad media de retención de agua, es decir, así como va creciendo la primera, la porosidad media de retención disminuye.

La explicación dada para la porosidad de aireación respecto del factor mezcla en el punto anterior, es válida para éste, ya que el cambio en el tamaño y acomodación de las partículas dentro del contenedor aumenta los espacios entre ellas, con lo que se incrementa el drenaje y disminuye la retención, bajando el valor de la porosidad de

retención de agua (Swanson, 1989).

Al analizar el efecto de la altura del contenedor, los valores de la Tabla 4 muestran que el contenedor de 4 cm y el de 16 cm de altura, presentan valores de porosidad de retención de agua de 41,9 y 25,0 % respectivamente, con lo cual se establece una diferencia de 168 %. En este caso, la tasa decreciente promedio alcanza un 2,8 %, lo que representa una diferencia de un 11 % por sobre la tasa de incremento registrada en la porosidad de aireación. Las diferencias señaladas son altamente significativas, determinando mediante el test de Tukey que la mínima diferencia significativa entre las medias es de 0,83 %.

La porosidad de retención de agua tiene una relación de inversa proporcionalidad con la altura del contenedor es decir, la primera disminuye a medida que la segunda aumenta.

La explicación del comportamiento señalado estaría dado porque la altura que alcanza la zona de saturación en el fondo del contenedor, producto de la acumulación de agua suspendida (water perched table), es independiente de la altura de éste. Por lo tanto, a mayor altura del contenedor menor proporción de su volumen estará saturado (Swanson, 1989). De esta forma, a mayor altura del contenedor menor porosidad de retención de agua.

La Tabla 3A del anexo, muestra la interacción de los factores mezcla y altura del contenedor, correspondiendo a la mezcla 100-00-00 en el contenedor de 4 cm y a la mezcla 00-00-100 en el contenedor de 16 cm de altura, los valores de 47,1 y 27,1 respectivamente. Además, se puede observar que la mezcla de referencia 60-30-10, presenta valores que van desde 51,2 % en el contenedor de 4 cm, hasta 26,3 % en el

contenedor de 16 cm de altura, alcanzando el mínimo en el contenedor de 15 cm, con 25,4 %. En general se observa una tendencia decreciente de la porosidad de retención de agua ante la variación en ambos factores.

La Tabla 4, muestra que existe un efecto altamente significativo de la interacción de los factores en estudio sobre la porosidad de retención de agua. La Figura 8, en conjunto con los valores de la Tabla 3a del anexo, muestran que el efecto de la interacción de los factores en estudio sobre la porosidad de retención de agua es opuesto al de las otras variables analizadas, es decir, la porosidad de retención de agua disminuye al incrementar en la mezcla la participación porcentual del rango mayor (6-10 mm) y la altura del contenedor.

La explicación dada en el punto anterior, para el efecto de la interacción sobre la porosidad de aireación, es aplicable al efecto sobre la porosidad de retención de agua. Esto, porque al aumentar el porcentaje de macroporos y la fuerza de gravedad que actúa sobre la columna de agua, disminuye el porcentaje de microporos y la altura de acumulación de agua suspendida (water perched table) en el fondo del contenedor. Los últimos dos factores mencionados, son los que retienen el agua en el sustrato dentro de un contenedor por lo que al disminuir ambos, también lo hace la porosidad de retención de agua.

INTERACCIÓN MEZCLA Y ALTURA CONTENEDOR

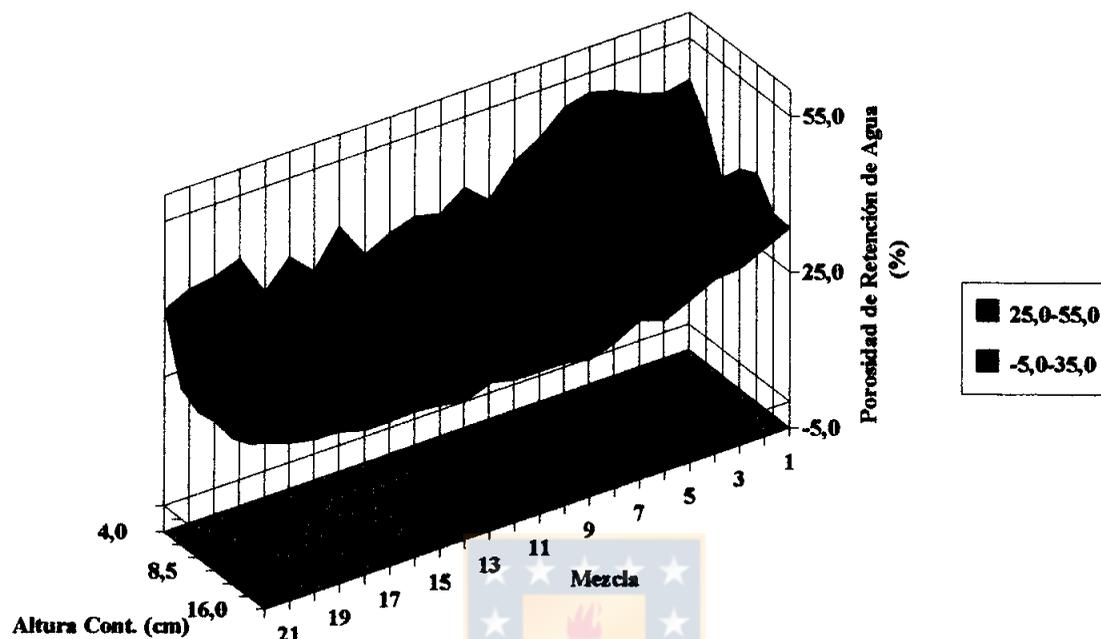


Figura 8. Porosidad de retención de agua promedio para cada una de las interacciones mezcla y altura del contenedor. En verde, se destacan los tratamientos que cumplen con el estándar para la porosidad de retención de agua.

4.1.4 Análisis general

La Figura 9, presenta las curvas con los valores medios de porosidad total, de aireación y de retención de agua de los contenedores, para todas las mezclas ordenadas en función de un porcentaje decreciente de partículas menores a 3 mm y creciente de las partículas entre 6 - 10 mm.

Es importante observar que el aumento en la porosidad total es moderado respecto de las otras variables (Figura 9) y está explicado principalmente por las variaciones registradas en la porosidad de aireación y de retención de agua, las cuales constituyen la porosidad

total.

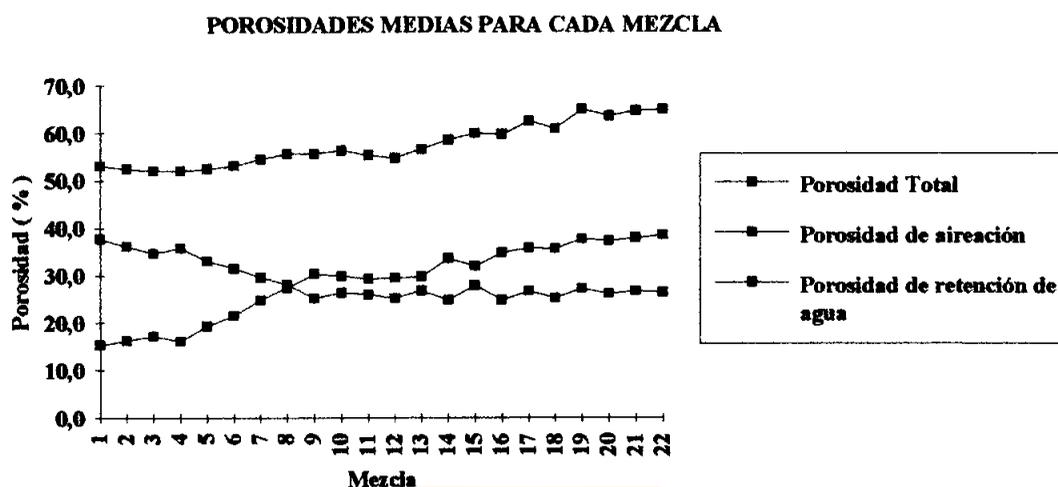


FIGURA 9. Porosidad total, porosidad de aireación y porosidad retención de agua promedio de los contenedores, para cada mezcla de sustrato.

En la Figura anterior, se observa que la variación en la mezcla es directamente proporcional a la porosidad total y de aireación, e inversamente proporcional a la porosidad de retención de agua. La pendiente de la curva de porosidad total es moderada en relación a la que presenta la porosidad de aireación, debido a que la porosidad total está constituida por las porosidades de aireación y de retención de agua y esta última, presenta una pendiente pequeña.

Los valores promedio de porosidad total que existen entre las mezclas 20-30-50 (15) y 00-00-100 (22), están dentro del estándar propuesto por Landis (1994), para los promedios de porosidad de aireación son las mezclas 40-30-30 (7) a la 10-90-00 (16), las que lo cumplen, mientras que en el caso de los promedios de porosidad de retención de

agua todas las mezclas cumplen el estándar propuesto.

El punto de intersección de las curvas promedio de porosidad de aireación y de retención de agua, que en el caso de la Figura 9, se encuentra aproximadamente en la mezcla 33-34-33 (8), se desplaza de derecha a izquierda a medida que aumenta la altura del contenedor. La intersección cambia desde la mezcla 30-30-40 (13) en el contenedor de 4 cm a la mezcla 70-30-00 (4) en el contenedor de 16 cm de altura.

Como se puede observar en la Figura 9, los valores promedio de las distintas porosidades de la mezcla de referencia 60-30-10 (5), no cumplen con el estándar para porosidad total y de aireación, por lo que debería modificarse. Las mezclas 20-30-50 (15) y 10-90-00 (16), presentan valores promedio que cumplen con el estándar para las distintas porosidades.

La Figura 10, presenta las curvas con los valores medios de porosidad total, de aireación y de retención de agua de las mezclas de sustrato, para todos los contenedores ordenados de menor a mayor altura.

En la Figura 10, se observa que la curva de porosidad total, en forma práctica, no se ve influenciada por la altura del contenedor, permaneciendo prácticamente constante. Esto se debe a que las curvas de porosidad de aireación y de retención de agua, que componen la anterior, presentan variaciones similares e inversas respecto de la altura del contenedor.

La Figura 10, representa claramente el efecto sobre estas variables, observándose que la porosidad de aireación es directamente proporcional a la altura del contenedor y la de

retención de agua inversamente proporcional a la misma, por lo que al aumentar la altura del contenedor aumenta la primera, disminuyendo la segunda.

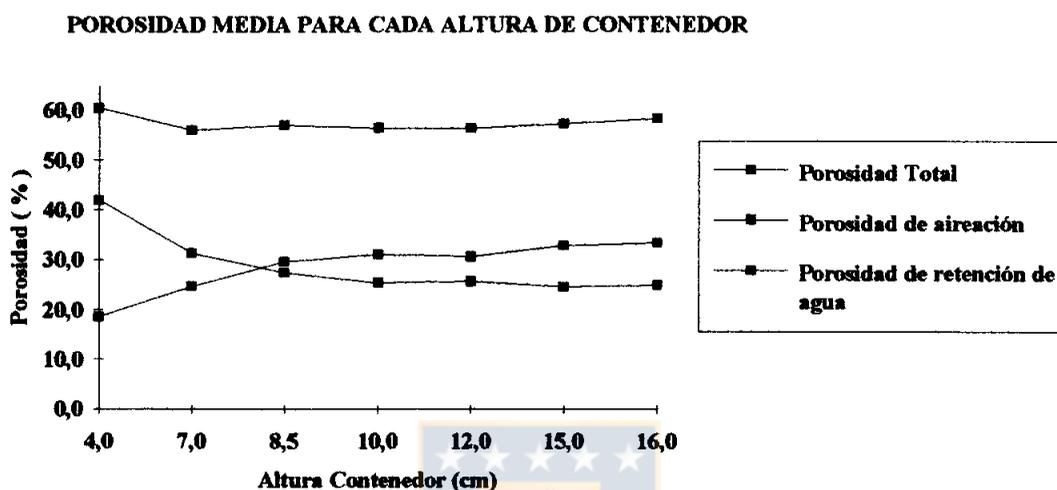


FIGURA 10. Porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de agua promedio de las mezclas de sustrato, para cada uno de los contenedores, ordenados de menor a mayor altura.

Respecto del estándar, sólo el contenedor de 4 cm de altura posee un valor promedio que cumple con el de porosidad total, en el caso de la porosidad de aireación lo cumplen los contenedores de 7 a 16 cm de altura y el de la porosidad de retención de agua se cumple en todos los contenedores.

El punto de intersección de las curvas promedio de porosidad de aireación y de retención de agua se encuentra en el contenedor de 8,5 cm de altura. Pero existe una variación con respecto de la mezcla de sustrato, en la mezcla 100-00-00 (1) la curva de porosidad de retención de agua está sobre y en forma paralela a la de porosidad de aireación. A

medida que se incrementa en la mezcla el rango de partículas entre 6-10 mm, estas curvas comienzan a cruzarse desde el contenedor de 16 cm hasta el de 4 cm de altura. Finalmente, en la mezcla 00-00-100 (22) la curva de porosidad de aireación se sitúa paralela y por encima de la de retención de agua. La curva de porosidad total se mantiene relativamente constante para todas las mezclas.

4.2 Estándares de comparación

En base al estándar de porosidad, presentado en el punto 3.6 de este documento, se confeccionó la Tabla 5, que muestra para cada contenedor utilizado, que mezcla de sustrato cumple con el estándar mencionado. Además, se muestra para cada contenedor, cual de las variables medidas en cada mezcla, está dentro del rango establecido para ella en el estándar.

Como muestra la Tabla 5, sólo para los contenedores de 4, 7 y 8,5 cm de altura se encontraron mezclas que cumplen el estándar, siendo el de 4 cm de altura, el contenedor en que se pueden utilizar el mayor número de mezclas. El resto de la Tabla 5, muestra que variables de porosidad alcanzaron el estándar, para cada contenedor y mezcla utilizados.

Así, la porosidad total, se concentra entre las mezclas 10-30-60 (17) y 00-00-100 (22), para los contenedores de 10 a 16 cm de altura. Para estas mezclas, sería recomendable aumentar, levemente, la participación porcentual de las partículas menores a 3 mm, ya que presentan una alta porosidad de aireación y una porosidad de retención de agua por debajo del estándar, pero muy próximo a él.

TABLA 5. MEZCLAS DE SUSTRATO Y POROSIDADES MEDIDAS EN ELLAS, QUE CUMPLEN EL ESTÁNDAR, PARA CADA CONTENEDOR.

Contenedor	Mezcla																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Almaciguera 4 cm	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	123	123	123	123	123	123	13	13	13	123	123
Almaciguera 7 cm	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	23	23	23	23	23	23	123	123	13	13	13	13	13
Ropack 1 8,5 cm	3	3	3	3	3	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	123	123	13	1	13	1	
Almaciguera 10 cm	3	3	3	3	3	23	2	2	2	2	2	2	2		2	1	1	1	1	1	1	1	1
Ropack 6 12 cm	3	3	3	3	3	3	23	2	2	2	2	2	23		2	1	1	1	1	1	1	1	1
Tubo Leach 15 cm	3	3	23	3	23	2	23	2	2	2	2	2	2	2	1	2	13	1	1	1	1	1	1
Almaciguera 16 cm	3	3	3	3	3	2	23	2	2	2	2	2	2				1	1	1	13	13	13	13

1 = mezcla cumple con el estándar de porosidad total.

2 = mezcla cumple con el estándar de porosidad de aireación.

3 = mezcla cumple con el estándar de porosidad de retención de agua.

123 = mezcla cumple con el estándar total.

□ = mezcla no cumple con ningún estándar de porosidad.

La porosidad de aireación, se agrupa entre las mezclas 33-34-33 (8) y 30-30-40 (13), para los contenedores entre 10 y 16 cm de altura. En estas mezclas, se debe aumentar el tamaño de las partículas e incrementar la participación porcentual de las partículas menores a 3 mm, de esta manera se logrará aumentar la porosidad total y de retención de agua. La porosidad de retención de agua, está concentrada en las mezclas 100-00-00 (1) a 60-30-10 (5), para todos los contenedores y entre las mezclas 6 y 10, para los contenedores entre 4 y 7 cm de altura. En este caso, es necesario aumentar la

participación porcentual de las partículas entre 6 y 10 mm, para lograr una mayor porosidad total y de aireación del sustrato.

La Tabla 5, muestra también, que hay combinaciones de las variables estudiadas, que alcanzan los rangos del estándar. Así tenemos, que la porosidad total y de retención de agua, 13 en la Tabla 5, están concentradas entre las mezclas 00-30-70 (19) y 00-00-100 (22), para los contenedores entre 7 y 8,5 cm de altura. Aquí, es recomendable disminuir, levemente, el tamaño de las partículas o la participación porcentual de las partículas entre 6 y 10 mm, con esto se lograría disminuir la porosidad de aireación, que en este caso, se encuentra por sobre el estándar establecido para ella, pero cercano a él. También, está la combinación, porosidad de aireación y de retención de agua, 23 en la Tabla 5, que se agrupa entre las mezclas 30-50-20 (11) a 10-90-00 (16), para el contenedor de 7 cm de altura, y entre las mezclas 50-30-20 (6) a 10-90-00 (16), para el contenedor de 8 cm de altura. En este caso, se debe aumentar el tamaño de las partículas o la participación porcentual de las partículas entre 6 y 10 mm, intentando de esta manera, aumentar la porosidad total del sustrato.

La mezcla de referencia 60-30-10 (5), que es usual en diferentes viveros del país, no cumple para ninguno de los contenedores usados, el estándar de porosidad. Presenta altos valores en la porosidad de retención, en los distintos contenedores, lo que puede producir problemas a la planta por falta de aireación y drenaje, presencia de algas, musgo y hongos (Wong, 1994). Tal como se mencionó, para lograr que esta mezcla aumente los valores de porosidad total y de aireación, se debe incrementar la participación porcentual del rango de partículas entre 6 - 10 mm. Además, sería recomendable evaluar cambios más radicales en esta mezcla, apuntando tanto a la producción de plantas provenientes de

semillas, como de estacas. Para las primeras, se podrían utilizar mezclas 40-20-40 o 40-10-50, mientras que para las segundas, las mezclas a probar podrían ser 60-00-40 o 50-10-40, considerando en este caso, un cambio en el esquema de riego. Teniendo presente, que es mejor tener una porosidad de aireación alta, aumentando la frecuencia de riego, que no tener suficiente porosidad de aireación (Wong, 1994).

Los valores de porosidad total obtenidos en este estudio, varían entre 49 y 69 %, no siendo comparables con los valores de 70 a 90 % establecidos, para esta variable y tipo de sustrato, por diferentes autores.

Las diferencias encontradas entre los valores de las porosidades de este ensayo y el estándar u otros trabajos mencionados, podría estar en el tipo sustrato y contenedores utilizados, ya que el compost de corteza se utiliza comúnmente combinado con otros sustratos como: turba, vermiculita, perlita, etc., así como también con sustancias como hidrogeles, que modifican la porosidad original. Estas mezclas mejoran la porosidad total, porosidad de aireación o de retención de agua, en función de que sustancia o elemento se mezcle con el compost de corteza.

Por otra parte, los contenedores usados en este ensayo tienen volúmenes y alturas muy pequeñas, volumen máximo = 142 cc, altura máxima = 16 cm, en comparación con los utilizados para determinar el estándar propuesto por Landis, con un volumen y altura mínimos de aproximadamente 1000 cc (1/4 de galón) y 32 cm respectivamente. Estas diferencias influirían directamente en los valores alcanzados por las porosidades,

explicando, en alguna medida, los valores encontrados (Landis, 1996*).

Las mezclas que cumplen el estándar (Tabla 5), proveerán a las plantas de un adecuado balance entre aireación y retención de agua, siendo apropiadas para un óptimo desarrollo y crecimiento de la planta.



* Landis, T. D. Western Nursery Specialist. USDA Forest Service. Cooperative Forestry. Portland, Oregon. U. S. A. 1996. Comunicación Personal.

V CONCLUSIONES

La granulometría del compost de corteza de *Pinus radiata* D. Don, tiene efecto sobre la porosidad total, de aireación y de retención de agua.

La altura del contenedor afecta significativamente la porosidad de aireación y de retención de agua.

La interacción de granulometría del compost y altura del contenedor afecta la porosidad de aireación y de retención de agua.

El compost de corteza que se produce actualmente, no cumple el estándar de porosidades en ninguno de los contenedores utilizados en el estudio. Para lograrlo, se deben producir, artificialmente, mezclas con distintas granulometrías.

VI RESUMEN

Utilizando compost de corteza de *Pinus radiata* D. Don, se establecieron 3 rangos de tamaño de partículas : < 3 mm, 3-6 mm y 6-10 mm, con ellos se confeccionaron 22 mezclas de sustrato con diferentes porcentajes de participación de cada rango, desde 100-00-00 hasta 00-00-100, evaluando con ellas la porosidad total, de aireación y retención de agua en 7 contenedores de alturas entre 4 y 16 cm. Se realizó una comparación de los valores obtenidos con el estándar de porosidad propuesto por Landis (1994).

Los resultados muestran que la granulometría del sustrato, la altura del contenedor y la interacción de ambos factores tienen un efecto directamente proporcional sobre la porosidad de aireación e inversamente proporcional sobre la porosidad de retención de agua. La variación de la granulometría del sustrato, afecta en forma directamente proporcional a la porosidad total.

El compost de corteza de *Pinus radiata* D. Don, que se produce actualmente, mezcla 60-30-10, no cumple con el estándar propuesto. Sin embargo, puede ser manejado para producir, artificialmente, porosidades que cumplan con el estándar utilizado en este estudio.

SUMMARY

To evaluate the effect of compost particle size on total porosity, air-filled porosity and water-holding capacity, 3 particle size range were tested using radiata pine bark (*Pinus radiata* D. Don). The compost particle size are < 3 mm, 3-6 mm and 6-10 mm, mixing them in different proportions it was posible to prepare 22 growing media. Each growing medium was tested at 7 different containers depth, ranging from 4 to 16 cm, to compare them against Landis' standard porosity values (1994).

Results show that granulometry, containers depth, and interaction have a direct proportional effect over air-filled porosity and inversely proportional over water-holding capacity. Growing medium granulometry variation affects directly and proportionally total porosity.

Currently, the most comun radiata pine bark compost produced in Chile is a mix of the particle size indicate before in a proportion 60-30-10 respectively, this mix does not fill Landis' standard. Notwithstanding, it can be managed to produce-varying granulometry percentages-porosities able to accomplish to the standar used in this thesis

VII BIBLIOGRAFÍA

1. Beardsell, D. V., D. G. Nichols and D. L. Jones. 1979a. Physical properties of nursery potting-mixtures. *Scientia Horticulturae*. 11 : 1 - 8.
2. Beardsell, D. V., D. G. Nichols and D. L. Jones. 1979b. Water relations of nursery potting-media. *Scientia Horticulturae*. 11 : 9 - 17.
3. Bilderback, T. E., W. C. Fonteno and D. R. Johnson. 1982. Physical properties of media composed of peanut hulls, pine bark, and peatmoss and their effects on azalea growth. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 107 (3): 522 - 525.
4. Bilderback, T. E. 1992. Use of compost in nursery potting substrates. *Combined Proceedings International Plants Propagators' society*. 42 : 376 - 380.
5. Bugbee, G. J. and C. R. Frink. 1986. Aeration of potting media and plant growth. *Soil Science*. 141 (6) : 438 - 441.
6. Escobar, R. y M. Sánchez. 1992. Producción de plantas forestales : algunos aspectos. Dirección de Extensión. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Departamento Ciencias Forestales. Chillán Chile. Boletín de extensión N° 51.

7. Grez, R y V. Gerding. 1995. Cenizas de calderas dendroenergéticas, aserrín y corteza : desechos reciclables de la industria forestal para el mejoramiento del suelo. Actas simposio IUFRO. Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Valdivia Chile. 25 - 30 Abril : 341 - 359.
8. Hanan, J. J. 1981. Bulk density, porosity, percolation and salinity control in shallow, freely draining, potting soils. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 106 (6) : 742 - 746.
9. Heiskanen, J. 1993. Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production : a review. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 8 : 337 - 358.
10. Hoitink, H. A. J. 1980. Composted bark, a lightweight growth medium with fungicidal properties. *Plant Disease* 64 (2) : 142 - 147.
11. Klett, J. E., J. B. Gartner and T. D. Hughes. 1972. Utilization of hardwood bark in media for growing woody ornamental plants in containers. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 97 (4) : 448 - 450.
12. Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett. 1989. Seedling nutrition and irrigation, vol. 4, *The Container Tree Nursery Manual*. Agric. Handb. 674. Washington, D.C. : U.S. Department of Agriculture. Forest Service. 119 p.

13. Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. Mc Donald and J. P. Barnett. 1990. Containers and growing media, vol. 2, The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington, D. C. : U.S. Department of Agriculture. Forest Service. 88 p.
14. Landis, T. D. 1994. Apuntes del curso de viveros y repoblación. Centro para la Forestación de las Américas. Universidad Estatal de Nuevo México. U. S. A.
15. Langerud, B. R. 1986. A simple *in situ* method for the characterization of porosity in growth media. Plant and Soil. 93 : 413 - 425.
16. Lennox, T. L. and G. P. Lumis. 1987. Evaluation of physical properties of several growing media for use in aerial seeding containers. Canadian Journal of Forest Research. 17 : 165 - 173.
17. Liegel, L. H. and C. Venator. 1987. Technical guide for forest nursery management in the caribbean and latin american, Gen. Tech. Rep. 50 - 67. New Orleans, L. A. : U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 156 p.
18. Milks, R. R., W. C. Fonteno and R. A. Larson. 1989a. Hydrology of horticultural substrates : II. Predicting physical properties of media in containers. Journal of the American Society of Horticultural Science. 114 (1) : 53 - 56.

19. Milks, R. R., W. C. Fonteno and R. A. Larson. 1989b. Hydrology of horticultural substrates : III. Predicting physical properties of media in containers. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 114 (1) : 57 - 61.
20. Montano, J. M., J. T. Fisher and D. J. Cotter. 1977. Swadust for growing containerized forest tree seedlings. *Tree Planter's Notes*. 28 (2) : 6 - 9.
21. Nelms, L. R. and L. A. Spomer. 1983. Water retention of container soils transplanted into ground beds. *HortScience* 18 (6) : 863 - 866.
22. Spomer, L. A. 1974. Two classroom exercises demonstrating the pattern of container soil water distribution. *HortScience* 9 (2) : 152 - 153.
23. Spomer, L. A. 1975. Availability of water absorbed by hardwood bark soil amendment. *Agronomy Journal*. 67 (July-August) : 589 - 590.
24. Spomer, L. A. 1980. Prediction and control of porosity and water retention in sand-soil mixtures for drained turf sites. *Agronomy Journal*. 72 (March-April) : 361 - 362.
25. Swanson, B. T. 1989. Critical physical properties of container media. *American Nurseryman*. 169 (11) : 59 - 63.

26. Tyler, H. H., S. L. Warren, T. E. Bilderback and W. C. Fonteno. 1993. Composted turkey litter : I. Effect on chemical and physical properties of a pine bark substrate. *Journal of Enviromental Horticulture*. 11 (3) : 131 - 136.
27. Van Schoor, M. J., I. E. Smith and C. L. Davis. 1990. Preparation and utilisation of pine bark as a growing medium for plants. Multicopied at University of Natal, Pietermaritzburg. South Africa. 159 p.
28. Wong, S. 1994. The importance of aeration in container media. *The Digger* 38 (3) : 30 - 31.



VIII ANEXOS

TABLA 1A. VALORES MEDIOS DE POROSIDAD TOTAL PARA CADA INTERACCIÓN DE LOS FACTORES MEZCLA Y ALTURA DEL CONTENEDOR.

Factor		Alt. Cont.						
Nº Mezcla (%)		A	D	E	G	J	L	M
1	100-00-00	56,6	53,1	52,4	50,1	51,0	54,6	53,9
2	90-10-00	55,1	52,7	52,7	49,4	50,8	53,5	53,1
3	80-20-00	55,2	51,4	51,8	49,0	51,2	53,4	51,7
4	70-30-00	54,7	52,8	50,4	50,7	50,0	53,4	51,6
5	60-30-10	55,4	53,6	50,6	52,7	50,8	53,8	50,3
6	50-30-20	55,2	51,2	52,0	53,5	51,6	54,8	53,3
7	40-30-30	57,0	53,2	53,0	53,8	54,7	54,4	54,8
8	33-34-33	58,3	53,8	56,3	54,5	55,8	54,8	56,2
9	30-70-00	56,5	50,8	57,3	56,9	55,8	55,4	56,6
10	30-60-10	58,5	53,9	59,2	56,7	53,6	55,3	57,1
11	30-50-20	56,9	55,8	56,4	52,5	52,8	56,4	56,4
12	30-40-30	56,8	56,1	53,7	51,8	52,8	53,6	58,0
13	30-30-40	63,2	54,3	54,1	56,2	55,6	55,4	57,1
14	20-80-00	66,5	54,6	56,6	58,6	57,4	56,5	59,3
15	20-30-50	68,2	56,4	58,0	59,0	58,7	59,5	59,3
16	10-90-00	65,3	58,2	59,2	59,7	59,8	56,0	59,2
17	10-30-60	66,4	60,2	61,7	62,0	61,6	62,0	63,0
18	00-100-00	66,2	57,6	60,8	60,0	60,4	59,8	60,9
19	00-30-70	66,2	64,0	66,1	64,2	63,3	64,4	66,2
20	00-20-80	63,5	62,0	63,0	60,7	63,6	63,7	68,0
21	00-10-90	65,4	62,6	62,3	63,8	63,8	64,5	69,4
22	00-00-100	65,0	61,9	65,6	65,0	63,4	65,4	67,8

TABLA 2A. VALORES MEDIOS DE POROSIDAD DE AIREACIÓN PARA CADA INTERACCIÓN DE LOS FACTORES MEZCLA Y ALTURA DEL CONTENEDOR.

Factor		Alt. Cont.						
Nº	Mezcla (%)	A	D	E	G	J	L	M
1	100-00-00	9,5	11,8	20,4	12,8	12,0	20,8	20,4
2	90-10-00	9,0	12,1	20,1	12,8	14,5	23,8	21,8
3	80-20-00	7,6	9,6	22,6	15,4	16,7	26,0	22,8
4	70-30-00	4,8	13,0	13,1	20,0	16,0	23,2	23,0
5	60-30-10	4,2	15,6	22,9	24,0	16,4	28,4	24,0
6	50-30-20	5,0	14,6	25,2	26,4	20,0	30,4	29,4
7	40-30-30	11,0	18,7	27,1	29,6	28,1	29,8	29,2
8	33-34-33	15,3	20,4	28,1	30,8	32,8	31,7	33,2
9	30-70-00	19,2	21,8	31,4	35,4	35,5	34,2	35,2
10	30-60-10	17,1	23,6	34,6	34,5	30,8	34,3	34,6
11	30-50-20	18,9	27,0	31,7	30,3	29,8	33,9	33,8
12	30-40-30	17,6	28,4	28,0	31,4	33,4	32,2	35,4
13	30-30-40	25,6	26,0	28,4	32,5	30,0	32,2	33,4
14	20-80-00	31,3	27,0	30,2	36,9	38,1	34,4	37,6
15	20-30-50	25,8	26,3	29,2	35,2	34,9	35,9	36,6
16	10-90-00	30,0	32,5	33,5	38,7	39,5	33,5	36,0
17	10-30-60	26,6	33,0	35,0	38,0	40,8	37,0	40,0
18	00-100-00	31,6	31,4	33,5	38,6	38,2	37,9	38,0
19	00-30-70	23,4	39,2	38,8	40,1	40,2	40,2	41,9
20	00-20-80	22,6	36,4	39,4	37,2	42,5	39,7	43,4
21	00-10-90	25,2	36,6	35,9	40,6	42,1	40,8	43,9
22	00-00-100	27,1	36,6	42,6	41,2	40,4	40,9	40,7

TABLA 3A. VALORES MEDIOS DE POROSIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA. PARA CADA INTERACCIÓN DE LOS FACTORES ALTURA DEL CONTENEDOR Y MEZCLA.

Factor		Alt. Cont.						
Nº	Mezcla (%)	A	D	E	G	J	L	M
1	100-00-00	47,1	41,3	32,0	37,3	39,0	33,8	33,5
2	90-10-00	46,1	40,6	32,6	36,6	36,3	29,7	31,3
3	80-20-00	47,6	41,8	29,2	33,6	34,5	27,4	28,9
4	70-30-00	49,9	39,8	37,3	30,7	34,0	30,2	28,6
5	60-30-10	51,2	38,0	27,7	28,7	34,4	25,4	26,3
6	50-30-20	50,2	36,6	26,8	27,1	31,6	24,4	23,9
7	40-30-30	46,0	34,5	25,9	24,2	26,6	24,6	25,6
8	33-34-33	43,0	33,4	28,2	23,7	23,0	23,1	23,0
9	30-70-00	37,3	29,0	25,9	21,5	20,3	21,2	21,4
10	30-60-10	41,4	30,3	24,6	22,2	22,8	21,0	22,5
11	30-50-20	38,0	28,8	24,7	22,2	23,0	22,5	22,6
12	30-40-30	39,2	27,7	25,7	20,4	19,4	21,4	22,6
13	30-30-40	37,6	28,3	25,7	23,7	25,6	23,2	23,7
14	20-80-00	35,2	27,6	26,4	21,7	19,3	22,1	21,7
15	20-30-50	42,4	30,1	28,8	23,8	23,8	23,6	22,7
16	10-90-00	35,3	25,7	25,7	21,0	20,3	22,5	23,2
17	10-30-60	39,8	27,2	26,7	24,0	20,8	25,0	23,0
18	00-100-00	34,6	26,2	27,3	21,4	22,2	21,9	22,9
19	00-30-70	42,8	24,8	27,3	24,1	23,1	24,2	24,3
20	00-20-80	40,9	25,6	23,6	23,5	21,1	24,0	24,6
21	00-10-90	40,2	26,0	26,4	23,2	21,7	23,7	25,5
22	00-00-100	37,9	25,3	23,0	23,8	23,0	24,5	27,1