



COLEGIO DE POSTGRADUADO
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO
FORESTAL**

EFFECTO DEL SUSTRATO Y LA FERTILIZACIÓN EN EL CRECIMIENTO DE
Pinus patula Schl. et Cham. EN VIVERO.

JULIO ORLANDO CAMPOVERDE MOSQUERA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2007

La presente tesis titulada: “EFECTO DEL SUSTRATO Y LA FERTILIZACIÓN EN EL CRECIMIENTO DE *Pinus patula* Schl. et Cham. EN VIVERO”, **realizada por el alumno:** Julio Orlando Campoverde Mosquera **bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:**

MAESTRO EN CIENCIAS

FORESTAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

DR. ARNULFO ALDRETE

ASESOR

DR. J. JESÚS VARGAS HERNÁNDEZ

ASESOR

DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

ASESOR

DR. VÍCTOR M. CETINA ALCALÁ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Septiembre de 2007.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, en especial al Programa Forestal, por la oportunidad que me brindó para continuar con una etapa más de mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo financiero otorgado durante dos años de estudios en la maestría.

Al Dr. Arnulfo Aldrete, por su amistad y apoyo constante en cada una de las etapas de este trabajo de investigación.

Al Dr. J. Jesús Vargas Hernández, por su amistad, apoyo y atinadas sugerencias y correcciones realizadas, contribuyendo a mejorar el contenido del presente trabajo.

Al Dr. Prometeo Sánchez García, por su amistad y apoyo y atinadas sugerencias y correcciones realizadas, contribuyendo a mejorar el contenido del presente trabajo.

Al Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá, por su amistad y apoyo durante la realización del trabajo de investigación y por su valiosa contribución durante la elaboración de este documento.

A los trabajadores del Programa Forestal: Asunción, Lauro, Maximino y Raúl, por su amistad y apoyo que me brindaron durante la realización del trabajo en vivero.

A mis compañeros de estudio y trabajo por su amistad y apoyo.

El presente trabajo de investigación se realizó con apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), a través del proyecto de investigación “Tecnologías para la

producción de plantas en vivero y su establecimiento en campo para el Estado de Hidalgo”, clave: 5772/A1.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

TERESA Y RUPERTO (QEPD)

POR SU COMPRENSIÓN Y AMOR

ILIMITADOS HACIA A MI

A MI ESPOSA: ALICIA

A MIS HIJOS: JAQUELINE

CELINDA

JULIO

CHRISTIAN

ALAN

A MIS HERMANOS: PAULINA, NINFA, MARGOTH

RUPERTO Y RICARDO

A MIS SOBRINOS,
CUÑADOS Y CUÑADAS

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN GENERAL	ix
GENERAL SUMMARY	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Aspectos generales de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	4
2.1.1. Origen y distribución geográfica	4
2.1.2. Descripción botánica	5
2.1.3. Distribución ecológica	5
2.1.4. Importancia económica	6
2.1.5. Importancia para la investigación	7
2.2. Insumos y prácticas culturales en vivero	8
2.2.1. Sustrato	8
2.2.2. Contenedores	26
2.2.3. Fertilización en viveros forestales	26
2.3. Balance nutricional	32
2.4. Calidad de planta en vivero	36

CAPÍTULO 3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE MEZCLAS DE FIBRA DE COCO Y TURBA USADAS COMO SUSTRATO	43
RESUMEN	43
SUMMARY	44
3.1. INTRODUCCIÓN	45
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	47
3.2.1. Mezclas de sustratos	47
3.2.2. Análisis físico	48
3.2.3. Análisis químico	49
3.2.4. Análisis estadístico	49
3.3. RESULTADO Y DISCUSIÓN	51
3.3.1. Efecto del contenido de fibra de coco	51
3.3.2. Efecto de la adición del fertilizante	55
3.4. CONCLUSIONES	59
CAPÍTULO 4. CRECIMIENTO EN VIVERO DE PLANTAS DE <i>Pinus patula</i> SCHL. et CHAM EN RESPUESTA A RUTINAS DE FERTILIZACIÓN Y MEZCLAS DE SUSTRATOS	60
RESUMEN	60
SUMMARY	61
4.1. INTRODUCCIÓN	62
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS	65
4.2.1. Condiciones generales del estudio	65
4.2.2. Establecimiento de rutinas de fertilización	66
4.2.3. Variables medidas	68
4.2.4. Análisis estadístico	69
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
4.3.1. Efecto de las rutinas de fertilización sobre el crecimiento de las plantas	70
4.3.2. Efecto de la fibra de coco en el sustrato sobre el crecimiento de las plantas	74
4.3.3. Interacción entre rutinas de fertilización y mezclas	75
4.3.4. Eficiencia agronómica	78
4.4. CONCLUSIONES	87
CAPÍTULO 5. LITERATURA CITADA	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Comparación de las tasas de aplicación de fertilizante recomendadas durante las tres fases de cultivo en especies forestales.	30
2	Comparación de proporciones de nutrientes de Ingestad para <i>Pseudotsuga menziesii</i> y niveles nutricionales a dos concentraciones de N.	35
3	Componentes de las mezclas de sustratos para la caracterización de propiedades físicas y químicas.	47
4	Análisis de varianza del efecto de la fibra de coco y osmocote sobre las propiedades físicas y químicas del sustrato.	51
5	Valores promedio de las características físicas y químicas del sustrato con diferentes contenidos de	

	fibra de coco y turba.	52
6	Valores promedio de las diferentes fracciones de la curva de retención de agua del sustrato con diferentes contenidos de fibra de coco y turba.	54
7	Efecto de la adición de osmocote sobre los componentes de la curva de retención de agua del sustrato.	57
8	Componentes de las mezclas de sustratos para la producción de <i>Pinus patula</i> en vivero.	66
9	Dosis de fertilización de N-P-K- en mg L ⁻¹ aplicadas por etapa de crecimiento de las plantas.	68
10	Análisis de varianza para las variables de crecimiento altura (ALT), diámetro (DIAM), peso seco total (PST), peso seco aéreo (PSA), peso seco de raíz (PSR), Índice de esbeltez e Índice de calidad de Dickson en respuesta a 12 rutinas de fertilización y cuatro mezclas de sustratos.	72
11	Valores promedios para variables de crecimiento, acumulación y distribución de biomasa e índices de calidad de planta en respuesta a doce rutinas de fertilización en el crecimiento inicial de <i>Pinus patula</i> en vivero.	73
12	Valores promedios de altura (ALT), diámetro (DIAM), peso seco total (PST), peso seco aéreo (PSA), peso	

seco de raíz (PSR), relación parte aérea/raíz (RPAR), Índice de esbeltez (IE) e índice de calidad de Dickson (ICD) en respuesta a diferentes contenidos de fibra de coco y turba en el crecimiento inicial de *Pinus patula* en vivero. 76

13 Eficiencia agronómica de mezclas y rutinas de fertilización aplicados a plántulas de *Pinus patula* producidas en vivero. 79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Comportamiento de los tratamientos con y sin osmocote sobre las propiedades físicas de las mezclas.	56
2	Efecto de la incorporación de osmocote sobre las propiedades químicas de las mezclas.	58
3	Interacción entre rutinas de fertilización y mezclas de sustratos para la variable altura y diámetro en el crecimiento inicial de <i>Pinus patula</i> en vivero.	77
4	Interacción entre rutinas de fertilización y mezclas de sustratos para la variable materia seca total en el crecimiento inicial de <i>Pinus patula</i> en vivero.	77
5	Interacción entre rutinas de fertilización y mezclas de sustratos para la variable materia seca radicular en el crecimiento inicial de <i>Pinus patula</i> en vivero.	78

- 6 Interacción entre rutinas de fertilización y mezclas de sustratos para la variable relación parte aérea/raíz en el crecimiento inicial de *Pinus patula* en vivero.

78

RESUMEN GENERAL

En México, la mayoría de los sustratos usados en la producción de planta en contenedores se componen principalmente de turba mezclada con vermiculita y perlita. Con el propósito de encontrar opciones más económicas y con menor impacto ambiental que el uso de la turba, se evaluó la fibra de coco, subproducto orgánico generado por diferentes actividades productivas. La evaluación de los sustratos incluyó la caracterización física (densidad aparente, porosidad y curva de retención de humedad) y química (pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico). El sustrato compuesto de 100% de fibra de coco obtuvo el menor valor de densidad aparente 0.10 g cm^{-3} , con la mayor porosidad de retención de humedad (89.3%) y total (95.9 %), dando como resultado mayor disponibilidad de agua para la planta. La fibra de coco también aumentó el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico en el sustrato. La incorporación de osmocote, en dosis de 5 kg m^{-3} a los sustratos, redujo la porosidad de retención de humedad en 10 % y la porosidad total en 8% en relación con el control, sin modificar de manera importante la porosidad de aireación, pero causando una ligera reducción en la disponibilidad de agua para el cultivo. La adición de osmocote también redujo el pH, pero aumentó la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico. Las características de la fibra de coco como medio de crecimiento la hacen un excelente sustituto de los sustratos tradicionalmente utilizados en la producción de planta forestal.

Con el propósito de encontrar alternativas y tratar de reducir el impacto ambiental que ocasiona el uso de la turba, se evaluó la fibra de coco, subproducto orgánico generado por diferentes actividades productivas y de consumo en el país. Con la finalidad de sustituir los sustratos importados se evaluaron 4 mezclas que sustituyen gradualmente la turba con fibra de coco hasta un 100% de fibra de coco y 12 rutinas de fertilización incluyendo las formulaciones de fertilizantes comerciales aplicadas a las diferentes etapas de crecimiento de las plantas. Se usó un diseño de parcelas divididas en arreglo factorial 12×4 en 4 bloques completos. A los 8.5 meses de edad de las plantas se evaluó la altura, el diámetro, la biomasa total, aérea y

radical, la relación parte aérea/raíz, el índice de esbeltez y el índice de calidad de Dickson.

La aplicación de diferentes dosis de las formulaciones de fertilizantes establecidas para las etapas inicio, crecimiento rápido y finalización de las plantas, ocasionaron en promedio una menor respuesta en diámetro, biomasa total y aérea, que la aplicación de 100 mg L^{-1} de nitrógeno de la fórmula comercial 20-7-19 desde el inicio de la fertilización hasta el final de ella. Esta rutina de fertilización homogénea durante todo el periodo de cultivo de las plantas produjo los mejores valores de respuesta en las variables de crecimiento, acumulación de biomasa e índices de calidad, estos valores de respuesta fueron ocasionados con la mayor dosis de nitrógeno aplicada a las plantas, lo cual repercute en los costos de producción. La RF1 con la menor dosis de nutrimentos aplicados al cultivo produjo la menor relación parte aérea/raíz de todos los tratamientos de fertilización. La mezcla 4 compuesta por 100% de fibra de coco ocasionó el mayor valor de biomasa de raíz (0.63 g), la menor relación parte aérea/raíz (2.42) y los mejores índices de calidad de las plantas. Con base en estos resultados y dado que la fibra de coco tiene un costo mucho más bajo que la turba, vermiculita y perlita se recomienda su utilización y aplicar 50 mg L^{-1} de nitrógeno para la etapa de inicio y crecimiento rápido, y 25 mg L^{-1} para la etapa de finalización.

Palabras clave: Caracterización física y química, fibra de coco, índices de calidad, rutinas de fertilización.

GENERAL SUMMARY

In Mexico, most of the substrates used in container seedling production are composed mainly of peat moss mixed with vermiculite and perlite. With the purpose of finding more economic options and with lower environmental impact than using peat moss, the coconut husk, an organic by-product generated by different activities, was evaluated. Substrate evaluation included physical (apparent density, porosity, and water-retention curves) and chemical (pH, electric conductivity and cationic exchange capacity) characterization. The one-hundred-percent coconut husk substrate had the lowest apparent density (0.10 g.cm^{-3}), with the highest water-retention (89.4 %) and total porosity (95.9 %), giving larger water availability for seedlings. Coconut husk also increased pH, electric conductivity and cationic exchange capacity in the substrate. Adding 5 kg/m^{-3} of osmocote to the substrate, reduced water-retention porosity in 10 % and total porosity in 8 % in relation to the control, without substantially modifying air porosity, but causing a slight reduction in water availability for seedlings. Osmocote also reduced pH, but increased electric conductivity and cationic exchange capacity. These virtues of coconut husk as growing medium make it an excellent substitute of substrate traditionally used in nursery seedling production.

In order to find alternative substrates for seedling production and reduce the environmental impact caused by the use of peat, coconut husk— an organic by product generated widely in the country—was studied. Four mixtures were evaluated, gradually replacing the peat, up to 100% coconut husk, combined with 12 fertilization routines (FR) applied at different growth stages of seedlings, including pre-formulations with commercial fertilizers. A 12 by 4 factorial experiment in a randomized complete block split-plot design was used. Seedlings were assessed for height and diameter growth, and for root, aerial and total biomass at 8.5 months of age. Shoot/root ratio and the slender and Dickson quality indices were also calculated.

Use of different dosages of the fertilization formulas during the initial, fast growth, and final stages of seedling production, caused on average a smaller

response in diameter growth and in aerial and total biomass, than the application of 100 mg L^{-1} of Nitrogen from the commercial formula 20-7-19 during all growth stages. This homogeneous fertilizing routine produced the best response in growth, including biomass accumulation and quality indexes. However, this was primarily the result of the greater amount of Nitrogen applied, which has an impact on production costs. The FR1, with the smallest dose of nutrients applied to seedlings, produced the lowest shoot/root ratio. The substrate composed of 100% coconut husk caused the greatest root biomass (0.63 g), the lowest shoot/root ratio (2.42) and the best quality indexes of seedlings. Based on these results and since coconut husk has a much lower cost than peat, vermiculite and perlite, its use is suggested. A fertilization routine applying 50 mg L^{-1} of Nitrogen for the initial and fast growth stages, and 25 mg L^{-1} for the final stage of seedling growth is also recommended.

Index words: Characterization physical and chemical, coconut husk, indexes of seedlings, fertilization routines

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

En México tradicionalmente se ha utilizado la tierra de monte como componente principal del sustrato y ocasionalmente se utiliza materia orgánica o arena en la producción de planta en viveros. Sin embargo, la extracción del suelo de los bosques trae consecuencias negativas en los sitios de explotación (Mexal, 1997). Debido al uso excesivo de la tierra de monte, la ley general de desarrollo forestal sustentable en su artículo 163 sanciona a quien extraiga suelo forestal (SEMARNAT, 2003).

Para mitigar esta situación, se ha importado de Canadá a altos costos, sustratos como la turba (SEMARNAP, 1996). A pesar que la turba tiene características importantes para emplearse como componente del sustrato, su uso en gran escala tiene repercusiones sobre los costos de producción de la planta, ya que se trata de un material de importación con costos relativamente elevados (el costo actual es de \$1.40 por litro). Sin embargo, en México hay diversos residuos derivados de actividades agrícolas o de consumo que podrían sustituir a esos materiales importados uno de ellos es la fibra de coco, que presenta características físicas similares a las de la turba, con un menor costo (el costo actual es de \$ 0.45 por litro, solo un 30% de los costos de la turba) y de fácil disponibilidad. Estas características hacen que la fibra de coco represente una alternativa potencial viable para reducir la dependencia de materiales importados en la producción de plantas en gran escala.

Debido a la utilización de sustratos inertes en la producción de plantas, la fertilización es una práctica de cultivo indispensable para agregar energía al sistema de producción, generando una multitud de eventos fisiológicos complejos y dinámicos dentro de las plantas relacionados entre sí, con el propósito de aumentar el vigor, tamaño de la planta y reducir el tiempo de producción. La demanda de

nutrimentos varía entre especies conforme se desarrollan; esto crea la necesidad de formular programas de fertilización en función de análisis foliares, de manera que pueden ser fijados algunos rangos por fase de crecimiento de las plantas y se consideren las curvas de respuesta para determinar la eficiencia del programa (Brichler *et al.*, 1998).

En otros países se han desarrollado diferentes rutinas de fertilización que en la actualidad se emplean en forma operativa en los viveros forestales en México. En una de esas rutinas, desarrollada para especies de coníferas nativas de zonas más frías y con estaciones de crecimiento más cortas a las que se presentan en el centro de México, se acostumbra aplicar durante la etapa inicial de desarrollo del cultivo (etapa de iniciación) una determinada dosis y balance de macrolemtos (N-P-K), y posteriormente se modifica drásticamente para acelerar la tasa de crecimiento y por último, al final del ciclo de producción (etapa de finalización), se aplica una rutina con una reducción en la dosis de nitrógeno y un aumento en la cantidad de potasio para aumentar la tolerancia de la planta a factores limitantes en el sitio de plantación.

Al parecer, estos cambios en el balance de N/K con respecto a las dosis empleadas durante la fase de crecimiento rápido de la planta, favorece una mayor "lignificación" o "endurecimiento" de la planta, y reduce la relación parte aérea/raíz, proporcionando un mejor equilibrio entre estos órganos de la planta. Estas rutinas ya se aplican en forma operativa a las especies de coníferas y latifoliadas de nuestro país sin que realmente se hayan evaluado sus efectos en estas condiciones y especies particulares, o la necesidad de modificar la dosis en función del patrón y tasa inicial de crecimiento de nuestras especies forestales nativas.

Otra forma de fertilización es la adición de fertilizante de liberación lenta al medio de crecimiento en diferentes dosis, con el propósito de no aplicar fertirrigación. A este respecto, en viveros forestales de Columbia Británica, que producen en contenedor, comúnmente se incorpora fertilizantes de liberación lenta en el sustrato,

en producciones a cielo abierto, sin cubierta, donde la abundante agua de lluvia causa severas pérdidas por lixiviación (Matthews, 1982).

Existen tres desventajas principales relacionadas con la incorporación de fertilizantes en el sustrato: 1) Resulta imposible controlar la concentración y balance de los nutrientes minerales en la solución del medio de crecimiento, 2) Es difícil obtener una distribución uniforme de las partículas de fertilizante en el sustrato considerando el equipo comúnmente utilizado para la mezcla, y 3) La incorporación requiere de un mezclado extra del sustrato, con lo que puede resultar el rompimiento de las partículas, y originar problemas de compactación (Matthews, 1982).

Los objetivos del presente estudio es evaluar la influencia de algunas mezclas de sustratos utilizando la fibra de coco, turba y rutinas de fertilización en el crecimiento y desarrollo de *Pinus patula* Schl. Et Cham en vivero.

Los objetivos específicos son: 1) evaluar el efecto de diferentes mezclas de sustratos utilizando la turba como componente principal y sustituyendo con la fibra de coco, 2) las posibles interacciones entre mezclas y rutinas de fertilización y 3) analizar el efecto que tiene el suministro de fertilizantes en cada fase de crecimiento sobre variables morfológicas en la producción de *Pinus patula* en vivero.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos generales de *Pinus patula* Schl. et. Cham.

2.1.1. Origen y distribución geográfica

Pinus patula es endémico de México, se le conoce con los nombres comunes de ocote, ocote colorado, ocote macho, ocote liso, pino chino, pino colorado y pino xalacote (Monroy, 1995). Crece en rodales aislados y en bandas relativamente angostas a lo largo de la Sierra Madre Oriental, desde un latitud aproximada de 24° N (unos pocos kilómetros al noroeste de Cd. Victoria, Tamaulipas) hasta unos 17° N en la Sierra de Pápalos en el estado de Oaxaca (Perry, 1991). Según este autor, la especie ha sido encontrada en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Tlaxcala y el Distrito Federal. Sin embargo, el área principal de distribución de *Pinus patula* está restringida a una franja de orientación NW a SE que pasa por los estados de Hidalgo, Veracruz y Puebla, donde esta especie puede ser considerada como una de la más importantes tanto por su abundancia como por la calidad de los rodales que forma en dicha región.

Vela (1980) reporta a ésta especie en el sureste del estado de Tamaulipas, en el Municipio de Gómez Farias, menciona también poblaciones aisladas en la Sierra de Pachuca; La Mesa del Oro, y en la Encarnación, Hgo., así como en Landa de Matamoros, Qro. y supone que es posible esperar que exista en manchones aislados en San Luís Potosí. Toda esta área se encuentra sobre la Sierra Madre Oriental, en lo que se conoce como Sierra de Hidalgo y Sierra Norte de Puebla, la cual es la principal zona de distribución de la especie.

Vela (1980) argumenta que las actividades del hombre, principalmente los desmontes con propósitos agrícolas, han ido restringiendo el área de distribución de

esta especie, confinándola sobre todo en las regiones más fuertemente sometidas a la presión demográfica, a los terrenos menos accesibles con pendientes moderadas o pronunciadas, y a suelos menos profundos. Internacionalmente se le conoce como *Mexican weeping pine* o *patula pine* y es muy conocido por su facilidad con la se cultiva en plantaciones (Perry, 1991).

2.1.2. Descripción botánica

Esta planta pertenece al género *Pinus*, Sección *Serotinae*, Subsección *Patula Oocarpae*; sus hojas están verticalmente caídas, tiene de 3-5 por fascículo y miden de 15 a 30 cm de largo. En la variedad típica (var. *patula*) los conos son sésiles, casi insertos en la rama, de 7 a 9 cm de largo, oblicuos, reflejados y puntiagudos, de color amarillo ocre o rojizo y son lustrosos (Perry, 1991).

El árbol llega a medir hasta 40 m de altura con fuste limpio de hasta 20 m. Por lo regular el fuste es recto y cilíndrico, con ramas laterales verticiladas formando una copa redondeada y abierta, la dominancia apical se prolonga hasta 30 años de edad o más (Wormald, 1975; Sáenz, 1991). La corteza de las ramas y la parte superior del tallo es de color rojizo, un poco escamosa, áspera y fisurada en árboles viejos; y puede alcanzar de 50 a 90 cm de diámetro. La madera temprana es blanca y la tardía es café pálido, con muchos canales resiníferos pequeños con contenido de resina de 1 – 3% del peso total. La semilla es triangular de color moreno con una ala de 13 mm (Monroy, 1995).

2.1.3. Distribución ecológica

Según Vela (1980) en el área de distribución de la especie las temperaturas medias anuales varían entre 10° C y 16° C; las temperaturas medias del mes más frío se encuentran entre 7.6° C y 12.4° C y son alcanzadas generalmente en diciembre, aunque en algunos lugares estos límites se alcanzan hasta enero. La temperatura media del mes más caliente varía de 12.7° C a 20.0° C dependiendo de

la localidad de que se trate, aunque normalmente es alcanzada en mayo. El promedio de las temperaturas mínimas del mes más frío varía entre 0.9 °C y 7.9 °C, mientras que la media de las temperaturas máximas del mes más caliente están entre 20.3° C y 27.2 °C, por lo que la oscilación térmica anual puede fijarse en 20° C. En Teziutlán, Puebla, sin embargo, se presenta temperaturas extremas, tanto mínima como máxima, de -9.0°C y de 39.0 °C, respectivamente (una oscilación térmica de 48 °C). Los subtipos climáticos según la clasificación de Koppen modificada por (García, 1973) son: C(fm) templado húmedo; C(W₂) templado subhúmedo; C(m) templado húmedo con precipitación del mes más seco menor a 40 mm; C(W₂) templado subhúmedo con un periodo seco corto en verano. Según observaciones realizadas en campo, la especie prospera mejor en los dos primeros subtipos climáticos (Vela, 1980).

La precipitación total anual varía de 1,000 a 1,500 mm de promedio, con una estación seca relativamente corta, nieblas frecuentes y lluvias invernales (Wormald, 1975). Aunque en la Sierra Juárez, Oaxaca, la precipitación total es de 1,700 mm al año con el 90% de ella en los meses de junio a noviembre y 3% de lluvia de diciembre a marzo (Castaños, 1962).

2.1.4. Importancia económica

Pinus patula ha mostrado una gran capacidad de producción debido a que presenta un crecimiento muy rápido. Además tiene buena conformación, copas pequeñas, poda natural adecuada, fuste recto relativamente libre de nudos, y en general buena calidad de la madera por su bajo contenido de resinas y adecuadas características físicas y mecánicas, así como una elevada productividad bajo un manejo intensivo (Vela, 1980; Trinidad y Monroy, 1992; Monroy, 1995). Produce celulosa y madera de cortas dimensiones en tiempos más breves que la mayoría de las especies forestales asociadas con ella. La madera es liviana, con densidades entre 0.47 y 0.54 g. cm⁻³, poco resinosa, adecuada para cajas de empaque,

acabados de interiores, exteriores y bases de pisos, y con excelente calidad de pulpa para papel (Monroy y Trinidad, 1993).

Sin embargo, su importancia en México se ve limitada a los estados que comprende su distribución geográfica, en donde contribuye de manera significativa a la economía local. Es deseable que esta especie adquiriera una mayor relevancia en el ámbito forestal en los próximos años. La vía para lograr esto es el impulso que está recibiendo el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, y la tendencia indica que en el futuro la industria forestal mexicana basará su abastecimiento en ellas (Azamar, 2000). De hecho, los diversos programas gubernamentales han dado impulso en los últimos años a la realización de plantaciones comerciales en México, hecho que se está constituyendo en una importante plataforma para la utilización de especies como el *Pinus patula*.

Al respecto se han establecido dos áreas semilleras de *Pinus patula* en México: la de Raúl Martínez en el ejido El Rosario, Xico, Veracruz (Rebolledo, 1995) y recientemente una en el Estado de México bajo el auspicio de Probosque (Azamar, 2000). Con la intención de tener disponible germoplasma de buena calidad para el establecimiento de futuras plantaciones.

2.1.5. Importancia para la investigación

Las características ya mencionadas de esta especie, aunadas a su amplio intervalo de adaptación, podría convertirla en una de las especies más adecuadas y potencialmente exitosas para plantaciones comerciales, a través del impulso que recientemente han recibido programas como el Prodeplan (Programa para el desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales) en nuestro país. Debido a lo anterior es indispensable profundizar en su estudio y sobre todo difundir adecuadamente la información ya existente. La investigación sobre la especie en diversos aspectos (producción de planta en vivero, técnicas silvícolas, de manejo, mejoramiento genético, etc.) ya ha sido abordada en México y en países de África a

los que se ha llevado germoplasma para generar plantaciones comerciales (Borgo, 2000).

En Sudáfrica se han desarrollado extensos programas de plantaciones basados en procedencias mexicanas de *Pinus patula* que fueron llevadas a aquel país a principios del siglo pasado y a la fecha han generado un abundante cuerpo de información sobre la especie. Una pequeña cantidad de semilla se plantó en Tokai, Sudáfrica en 1907 y de ahí en adelante, a través de nuevas colectas se establecieron otras plantaciones, las cuales en 1924 comenzaron a producir semilla que fue suficiente para establecer un programa de plantaciones a gran escala. Actualmente el *Pinus patula* es una de las especies más plantadas en Sudáfrica (Perry, 1991).

2.2. Insumos y prácticas culturales en vivero

Entre los insumos y las prácticas culturales que tienen influencia en el desarrollo de las plantas en vivero se encuentran las combinaciones de los sustratos, el contenedor usado, la fertilización, la poda aérea y de raíces, entre otras. Muchas de las prácticas culturales que se aplican a las plantas forestales dentro de los viveros repercuten en la morfología y fisiología; lo cual afecta el crecimiento y desarrollo de la planta en campo (Oliet *et al.*, 1999; Sandoval *et al.*, 2000).

2.2.1. Sustrato

A causa de los problemas con el suelo natural utilizado como medio de crecimiento para la producción de planta en contenedores, los productores comenzaron a complementar al suelo con otros materiales para desarrollar una mezcla que pudiera ser adecuada para el cultivo en contenedor. La primera búsqueda sistemática para encontrar un medio de crecimiento uniforme y estandarizado, comenzó en Inglaterra en los años treinta, cuando el Instituto Hortícola John Innes desarrolló una composta basada en tierra de cultivo, complementada con turba de musgo, arena y fertilizante (Bunt, 1988).

Al comienzo de los años cincuenta fueron creados los primeros medios de crecimiento verdaderamente artificiales en la Universidad de California; éstos constaban de varias proporciones de arena fina y turba de musgo, así como fertilizantes suplementarios (Matkin y Chandler, 1957). Las mezclas turba-like Cornell, predecesoras de los modernos medios de crecimientos, fueron desarrolladas en los años sesenta, en la Universidad de Cornell, usando varias combinaciones de turba de musgo, vermiculita y perlita (Mastalerz, 1977).

El término sustrato se aplica a todo material sólido distinto del suelo natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir (material químicamente activo) o no (material inerte) en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta (Abad, 1991; Abad *et al.*, 1996). El sustrato también debe tener una elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, suficiente suministro de agua, baja densidad aparente, elevada porosidad, estructura estable que impida la contracción, baja salinidad, pH ligeramente ácido y moderada capacidad tampón, alta capacidad de intercambio catiónico, mínima velocidad de descomposición, reproducible y disponibilidad, bajo costo, facilidad de mezclado, libre de semillas de malas hierbas, nemátodos, otros patógenos y sustancias fitotóxicas y resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales (Raviv *et al.*, 1986; Abad, 1995).

Entre los diferentes materiales empleados en la formulación de los medios de crecimiento de las plantas ornamentales en maceta, las turbas *Sphagnum*, vermiculita y perlita han sido los más importantes y más ampliamente utilizados durante muchos años. Sin embargo, se ha emprendido una activa búsqueda de materiales alternativos y/o sustitutos de estos componentes en numerosas partes del mundo debido al elevado precio de la turba, particularmente en países sin recursos locales de turba, y a su cuestionable disponibilidad futura por motivos ecológicos, ya que las reservas de turba no son renovables e intervienen, además como potentes centros sumidero del CO₂ atmosférico. Esto ha conducido a la utilización de

materiales orgánicos alternativos y/o sustitutos de las turbas, particularmente autóctonos y con una disponibilidad local. En este contexto, y con objeto de proceder a la transformación ecológica y al reciclado de los insumos de desecho, numerosos residuos y subproductos agrícolas y agropecuarios, forestales, industriales, urbanos, están siendo utilizados con éxito como componentes de los sustratos de cultivo (Raviv *et al.*, 1986; Abad *et al.*, 1996).

Las características culturales de un medio de crecimiento son las propiedades físicas, químicas y biológicas que afectan su capacidad para producir continuamente cultivos de plantas saludables, bajo las prácticas de cultivo de un vivero forestal que produce en contenedor (Burés, 1997).

Características físicas de los sustratos. Las propiedades físicas de los sustratos en cultivos son de vital importancia. Una vez que el sustrato esté en el contenedor, y la planta esté creciendo en él, no es posible modificar las características físicas básicas de dicho sustrato. Esto contrasta con el estatus químico de los sustratos, que puede ser modificado mediante técnicas de cultivo apropiadas, realizadas por el propio viverista (Burés, 1997).

La caracterización física estudia la distribución volumétrica del material sólido, el agua y el aire, así como su variación en función del potencial matricial. Los métodos de determinación de las relaciones aire-agua de los sustratos difieren de los métodos utilizados en los suelos con idéntico fin. Las curvas de retención de agua de los suelos agrícolas se miden usualmente en un amplio intervalo de succiones (0 – 1.5 Mpa). Por el contrario, las plantas cultivadas en contenedor no pueden ser sometidas a tensiones hídricas elevadas, debido al volumen limitado del medio en que crecen y se desarrollan (Ansorena, 1994).

Densidad. La densidad aparente (D_a) de un sustrato se define como la relación entre la masa de una muestra seca y el volumen del sustrato húmedo, es decir, entre mayor es el espacio poroso menor es la densidad aparente (Bunt, 1988). La densidad real (D_r) es el cociente entre la masa de las partículas del sustrato y el

volumen que ocupan, sin considerar los poros y huecos, siendo su valor propio del material y, a diferencia de D_a , no depende del grado de compactación ni del tamaño de partícula; la densidad de un sustrato es expresada en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3), o kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). La densidad para un sustrato específico, está en función de tres factores: 1) la densidad de las partículas que componen el medio de crecimiento, 2) lo compresibles que sean las partículas y 3) el arreglo de estas partículas entre sí (Ansorena, 1994).

La densidad de las partículas de diferentes medios de crecimiento varía considerablemente, dependiendo de su composición química y estructura física. Aunque Handreck y Black (1984) estimaron que la densidad de las partículas minerales promedio es de aproximadamente 2.6 g/cm^3 , y que la de las partículas de materia orgánica es de 1.55 g/cm^3 , tales promedios son de limitada utilidad, pues su grado de compresión y el arreglo de las partículas también afectan los valores de densidad. La densidad de un sustrato, en un contenedor lleno, está también en función del arreglo interno de las partículas individuales. Beardsell *et al.* (1979) encontraron que la porosidad total puede ser estimada a partir de la densidad en algunos tipos de medios de crecimiento y la porosidad de aireación y de retención de humedad; sin embargo frecuentemente están relacionadas con el qué tanto ha sido compactado el sustrato, durante el proceso de llenado.

La densidad tradicionalmente se mide con base en el peso anhidro, pero la densidad en húmedo también es importante desde un punto de vista operativo. Algunos materiales, como la turba de musgo y la vermiculita, son capaces de absorber el equivalente a muchas veces su peso en agua (Nelson, 1978). Este autor reporta que un sustrato hecho con vermiculita y perlita, tuvo una densidad de alrededor de 0.51 g/cm^3 cuando estaba saturado, mientras que en seco tuvo una densidad de sólo 0.10 g/cm^3 .

Prasad (1997) reportó que la fibra de coco en muchos de los ensayos realizados mostró propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para ser

usada como medio de cultivo. A ese respecto, Awang y Razi (1997) señalaron que su uso, aun cuando sea el único material en el que crecen las plantas, no ocasiona problemas de anclaje en cultivos ornamentales anuales a pesar de tener baja densidad aparente y que si se mezcla con arena (1:1 v/v) este valor se incrementa, además de que se mejora la humectabilidad en más de 33% y se obtiene una porosidad de 23.7%. Los mismos autores también observaron que agregando varios niveles de fibra es posible incrementar la porosidad de aire hasta 35% manteniendo en un nivel satisfactorio el agua fácilmente disponible.

Balance en el tamaño de los poros. El espacio poroso relativo de un medio de crecimiento afecta todo aspecto del cultivo de la planta en contenedor. Una estructura de poros balanceada repercute en un intercambio adecuado de gases para el sistema radicular, lo cual afecta directamente todas las funciones de la raíz, como la absorción de nutrientes minerales y agua (Milks *et al.*, 1989).

Milks *et al.* (1989) establecieron que el cultivo de plantas en contenedores pequeños frecuentemente implica problemas de crecimiento, debido a la pobre aireación o baja capacidad de almacenamiento de agua del sustrato. La porosidad de aireación es considerada la propiedad física más importante de cualquier medio de crecimiento (Johnson, 1968; Bragg y Chambers, 1988).

Un sustrato está compuesto de partículas sólidas y de espacios porosos que existen entre ellas; estos espacios porosos son tan importantes como las mismas partículas, desde el punto de vista hortícola. La cantidad de espacio poroso se expresa en términos de porcentaje de porosidad, y es una función del tamaño, forma y arreglo espacial de las partículas individuales del medio de crecimiento en el contenedor. La porosidad puede ser dividida funcionalmente en tres partes: porosidad total, porosidad de aireación, y porosidad de retención de humedad (Bethke, 1986; Handreck y Black, 1984).

Porosidad total. La porosidad total es una medida del total de espacios porosos de un sustrato, expresada como el porcentaje del volumen que no está ocupado por partículas sólidas. Una buena mezcla de sustratos para producción de plantas en contenedores deberá alcanzar los valores específicos, según diferentes autores. Handreck y Black (1984) reportan que un sustrato bien formulado contiene alrededor de 60-80% de porosidad total. Havis y Hamilton (1976) señalan que debe exceder el 50%. Abad *et al.* (1993) mencionan que su nivel óptimo se sitúa por encima del 85% del volumen del sustrato.

Porosidad de aireación. La porosidad de aireación es la parte del total de espacios porosos que están ocupados con aire luego de que el medio de crecimiento es saturado con agua y se facilita su libre drenaje. Los poros que contiene aire son relativamente grandes y son denominados macroporos. Es probablemente la propiedad física más importante en los sustratos empleados; generalmente se acepta que esta porosidad debe estar entre 10 y 20% para sustratos en maceta. Aunque no son esenciales, los valores altos de porosidad de aire, en mezclas para contenedores, hacen el manejo más fácil y se disminuye el riesgo de sobre regar (Bunt, 1988). Como regla general, se deberá seleccionar un sustrato con menor porosidad de aire para plantas que consuman agua rápidamente y otro con mayor valor para plantas con bajas necesidades de agua (Handreck y Black, 1984). De Boodt y Verdonck (1972) señalan que la porosidad de aire debe oscilar entre 20 y 30% para tensiones entre pF1 pF2 (pF es el logaritmo de la tensión, pF1 = 10 cm de columna de agua y pF2 = 100 cm de columna de agua) especificando que el valor será mayor a 10% en verano y superior a 20% en invierno.

Quiñones (1995) evaluó la influencia del sustrato y fertilización en el crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* bajo condiciones de vivero; observó que el mejor sustrato en todas las variables estudiadas fue la tierra de monte debido a que aumentó la aireación radicular y, por tanto, redujo la incidencia de enfermedades fungosas en la raíz (no realizó caracterización física ni química de los sustratos utilizados).

Porosidad de retención de humedad. La porosidad de retención de humedad es la parte del total de espacio poroso que se mantiene llena de agua, luego de que el medio de crecimiento es saturado con agua y se facilita el libre drenaje de ésta. Los poros que contiene agua son relativamente pequeños y son denominados microporos (Bethke, 1986).

Las características de porosidad de un sustrato (la proporción relativa entre porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad), dependen de los tipos y tamaños de los componentes del sustrato. Bugbee y Frink (1986) hicieron variar el tamaño de las partículas de turba de musgo y vermiculita, para producir sustratos con porosidades de aireación de 1.0 a 33.6% del volumen. La porosidad total se mantuvo constante al aumentar la porosidad de aireación, pero la porosidad de retención de humedad disminuyó linealmente.

Beardsell *et al.* (1979) encontraron que aunque se puede predecir la porosidad total a partir de la densidad en volumen para ciertos tipos de medios de crecimiento, las porosidades de aireación y de retención de humedad no se pueden predecir.

Niemiera *et al.* (1994) al trabajar con sustratos elaborados a partir de corteza de pino sola y corteza de pino con incorporación de arena, a fin de conocer la influencia de ésta sobre las concentraciones de nitrógeno que se lixivian de ellos, encontraron que aparentemente la adición de arena creó microporos que retuvieron el agua menos fuertemente que los sitios de adsorción ubicados en la superficie e intrapartículas. Los valores de capacidad de contenedor fueron los mismos para corteza de pino y corteza de pino con arena; sin embargo, la primera tuvo 9% menos agua disponible que cuando se utilizó una mezcla de cinco partes de corteza de pino con una parte de arena.

Reis (1995) señala que la corteza de pino puede usarse en proporciones que van de 25 a 100% como componente de mezclas para producción de plantas ornamentales en maceta y que una de sus principales características es que no

reduce su volumen con el transcurso del tiempo, aunque debe considerarse su baja capacidad para retener humedad. Para mejorar esta característica, Chong *et al.* (1994) realizaron un ensayo mezclando la corteza de pino con otros materiales, tales como turba, sustrato agotado del cultivo de champiñon y arena. Las mezclas se evaluaron en el desarrollo de arbustos ornamentales, encontrándose que la presencia o ausencia de arena no tuvo influencia sobre el crecimiento de las plantas, pero señalan que los sustratos mejorados con la composta de champiñon mostraron los menores valores de compactación.

Curva de retención de agua. De la curva de retención de agua se obtiene la curva de liberación de agua (Burés. 1997). La importancia de los valores de liberación de agua de acuerdo con Burés (1997), estriba en el hecho de que la mayoría de las macetas utilizadas comercialmente suelen tener una altura media de unos 10 cm, con lo cual los valores de esta curva para el aire y el agua corresponderían a la capacidad de contenedor o maceta para esta altura. El valor máximo de 100 cm de columna de agua derivó de experimentos realizados con plantas de *Ficus*, en los que De Boodt *et al.* (1974) hallaron una reducción de la productividad cuando se dejaba que la tensión del sustrato durante el cultivo sobrepasaba este valor.

Unos años más tarde estos mismos investigadores desarrollaron el concepto de “sustrato ideal”, que corresponde a un sustrato de características físicas medias, adecuado para las condiciones de cultivo más usuales y establecieron unos valores fijos para los sustratos. La curva no podía ser única, sino que debía variar entre ciertos límites en función de la especie cultivada: si la planta era del tipo de las epifitas, la curva se deberá situar en la zona superior de la óptima, mientras que para plantas de tipo geofítico se buscaría una curva en la zona media o inferior. Dos ventajas que señalaban De Boodt *et al.* (1974) en la representación gráfica de la curva son el hecho de que ayuda a juzgar la desviación entre la curva de un sustrato y la curva óptima, y que si el material estudiado no es adecuado, ayuda a predecir

con que tipos de materiales se deberá mezclar para obtener un sustrato que se halle dentro de la curva óptima.

Ansorena (1994) recalca que las propiedades físicas más importantes que permiten evaluar la capacidad de un material como sustrato, son aquellas que se obtienen a partir de la curva de liberación de agua, en especial la capacidad de aire (CA), agua fácilmente disponible (AFD) y espacio poroso total (EPT), la cual en un medio de cultivo es el porcentaje de un volumen que no se encuentra ocupado por la fase sólida y que depende de la densidad aparente y real.

Agua fácilmente disponible (AFD). Es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión matricial, y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm de columna de agua (Ansorena, 1994).

Se requiere una tensión mínima de 10 cm (equivalente a 10 cm de altura del contenedor) para obtener un contenido mínimo de aire. El siguiente punto de importancia se refiere a las condiciones de humedad que no inhibirán el crecimiento de la planta. Muchos experimentos han demostrado que una tensión de agua superior a 50 cm puede afectar desfavorablemente al crecimiento y desarrollo de las plantas. El valor óptimo para el agua fácilmente disponible oscila entre el 20% y el 30% del volumen (Abad *et al.*, 1993).

Los poros que se mantienen llenos de agua después del drenaje del sustrato son los de menor tamaño. Es necesario, entonces, distinguir entre: 1) El agua retenida por el sustrato y que es accesible para la planta y 2) El agua fuertemente retenida por el sustrato y que no es utilizable por la planta, ya que la succión aplicada por las raíces no supera la fuerza con la que el agua es retenida por las partículas del sustrato. Por lo tanto, y en relación con los sustratos, lo que interesa es la capacidad de retención de agua fácilmente disponible y no la capacidad de retención total de agua (Abad *et al.*, 1993).

Bunt (1988) mencionan que un sustrato puede tener una baja capacidad de retención de agua fácilmente disponible porque: 1) Su porosidad total es baja; 2) los poros son grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad; 3) los poros son muy pequeños y la planta es incapaz de extraer una parte importante del agua antes de marchitarse; y 4) Una combinación de las situaciones anteriores.

Agua de reserva (AR). Es la cantidad de agua (% en volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de columna de agua (c.a.). El nivel óptimo se sitúa entre 4% y 10% en volumen (Abad *et al.*, 1993).

El límite de 100 cm de tensión se ha encontrado experimentalmente, trabajando con especies del género *Ficus*. No es recomendable para las plantas ornamentales cultivadas en sustrato que la tensión del agua en éste supere los 100 cm de c.a. durante el cultivo. En el caso de las plántulas hortícolas, se pueden alcanzar tensiones de hasta 300 cm de c.a. sin afectar de modo significativo al crecimiento vegetal (De Boodt *et al.*, 1974).

Agua total disponible. Es la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva. Su valor óptimo varía entre 24% y 40% del volumen del sustrato (Abad *et al.*, 1993).

Agua difícilmente disponible (ADD). Es el volumen de agua retenida por el sustrato a la tensión de 100 cm de c.a. Esta agua difícilmente disponible puede ser utilizada por la planta en condiciones de estrés hídrico (Abad *et al.*, 1993).

Capacidad de aire (CA). Se define como la proporción del volumen del sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar usualmente a 10 cm de tensión de columna de agua. El nivel óptimo oscila entre el 20% y el 30% en volumen (Abad *et al.*, 1993). Las raíces requieren oxígeno para mantener su actividad metabólica y su crecimiento. Un déficit temporal de oxígeno puede reducir el crecimiento de las raíces y de la parte aérea,

pero condiciones de anaerobiosis mantenidas durante varios días pueden llegar a provocar la muerte de algunas raíces. El oxígeno es requerido por los microorganismo y, por tanto, las plantas cultivadas en sustrato orgánico con una elevada población microbiana requieren el doble o más de oxígeno que las plantas cultivadas en suelos minerales, sin abundante materia orgánica (Bunt, 1988).

. El oxígeno es transferido hacia las raíces (mediante difusión) a través de la lámina de agua que las rodea. La velocidad de difusión del oxígeno en el agua es 10^4 veces más pequeña que en el aire. Debido a lo anterior, el espesor de la lámina de agua alrededor de las raíces es de marcada importancia. Si la textura y la estructura del sustrato son tales que la mayoría de los poros permanecen llenos de agua después del riego, el suministro de oxígeno se verá reducido de modo severo, el CO_2 se acumulará, se producirá una liberación de etileno, etc., todo lo cual resultará en una inhibición del crecimiento y, a veces, en el marchitamiento de la planta (Raviv *et al.*, 1986).

La altura o profundidad del contenedor tiene un efecto marcado sobre el contenido de aire del sustrato. Cuando más alto es el contenedor, mayor es el contenido en aire. Cuando se usan contenedores pequeños o pocos profundos en la producción de planta, son preferibles los sustratos de textura gruesa, que mantiene una aireación adecuada (Abad *et al.*, 1993).

Características químicas de los sustratos. Las propiedades químicas de los medios de crecimiento caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del sustrato: reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (química), reacciones de intercambio de iones (físico-química) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímica). Los materiales orgánicos son los componentes que contribuyen en mayor grado a la química de los sustratos, debido a la formación y presencia de las sustancias húmicas, el producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica (Ansorena, 1994).

pH. Es la medida de la acidez o alcalinidad relativa de una sustancia, con base en una escala logarítmica de 0 a 14; los valores menores a 7.0 son ácidos y superiores a 7.0 son alcalinos. Los materiales utilizados para formular medios de crecimiento difieren considerablemente en pH. Las turbas de musgo son por lo común naturalmente ácidas, la fibra de coco tiene un pH entre 5.0 a 6.0, mientras que la vermiculita puede tener un pH desde neutral (7.0), hasta medianamente alcalino (Bunt, 1988).

El pH final de un sustrato dependerá de la proporción de los ingredientes, así como de las prácticas de cultivo, especialmente fertilización y riego. El agua de riego está generalmente cercana a la neutralidad, o ligeramente alcalina, así que un medio de crecimiento normalmente ácido puede incrementar típicamente de 0.5 a 1.0 unidades de pH durante la etapa de crecimiento (Gladon, 1988). El principal efecto del pH en los suelos minerales, radica en su influencia en la disponibilidad de nutrientes minerales, especialmente micronutrientes; varios nutrientes minerales pueden estar no disponibles o incluso en niveles tóxicos con valores extremos de pH.

El control del pH es menos crítico en los viveros que utilizan contenedores, donde todos los nutrientes esenciales pueden ser proporcionados a través de la fertilización. Muchas plantas pueden crecer dentro de un intervalo de valores de pH relativamente amplio si los micronutrientes son provistos en la forma y proporción adecuadas (Bunt, 1988).

El pH también puede afectar el número y tipo de microorganismo del medio de crecimiento, incluyendo a los hongos fitopatógenos. Los hongos del género *Fusarium* son más virulentos en condiciones neutrales o de alcalinidad, y las pérdidas por “damping-off” se incrementan con valores de pH superiores a 5.9 (Handreck y Black, 1984). Sin embargo, mucha de esta información se refiere a suelos naturales. Un estudio realizado sobre enfermedades de la raíz en plántulas de *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) cultivadas en contenedores, demostró que las pérdidas por hongos fueron más severas con pH de 4.0 (94%), que con un pH de 5.0 (10%), o con un pH de 6.0 (4%) (Husted, 1988). Debido a lo anterior, sobre una base operativa, los

viveristas forestales que producen en contenedor, deben mantener el pH de sus medios de crecimiento dentro del intervalo de 5.5 a 6.5, ligeramente ácido.

Ansorena (1994) consideran el rango de 5.2 a 6.3 de pH como óptimo para que las plantas puedan crecer sin restricciones nutrimentales, siempre y cuando las concentraciones de nutrientes disponibles se mantengan en niveles suficientes, lo que no excluye que puedan crecer fuera de este intervalo.

Conductividad eléctrica (CE). Es el valor recíproco de la resistencia eléctrica de una columna de líquido de sección 1 cm^2 y de longitud 1 cm; se expresa en dS/m^1 y esta relacionado con la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato. Las causas que originan un incremento en la salinidad del sustrato, después de estar colocado en el contenedor son: 1) La presencia de fertilizantes insolubles, como los de liberación lenta, cuando se degradan para producir nitratos o bien, cuando liberan sales mediante difusión, en una cantidad superior a las cantidades absorbidas o lixiviadas; 2) Cuando la cantidad de sales aportadas con el agua de riego o la solución fertilizante es superior a las cantidades absorbidas por la planta o las perdidas por lixiviación, y 3) Cuando el sustrato presenta una elevada capacidad de intercambio catiónico y, al mismo tiempo, se descompone con el transcurso del cultivo, liberando nutrientes (Bunt, 1988; Lemaire *et al.*, 1989). Todas estas situaciones pueden ser prevenidas en gran parte, conociendo las cantidades de fertilizantes requeridas por el cultivo y evitando las aplicaciones excesivas de abonos (Bunt, 1988).

Un incremento en la salinidad, si se presenta, puede ser prevenido o corregido mediante lixiviación controlada. La lixiviación con agua de buena calidad hasta conseguir un volumen de lixiviado equivalente al volumen del contenedor. Otras medidas para atenuar los efectos de la salinidad son: 1) Mantener el sustrato de cultivo permanentemente húmedo; 2) No aplicar fertilizantes en polvo ni soluciones fertilizantes con elevada fuerza iónica cuando el sustrato esté seco; y 3) Reducir el

estrés de las plantas mediante sombreado y humedad relativa elevadas en el ambiente (Bunt, 1988)

La respuesta de las plantas a la salinidad depende de la edad de éstas, de las condiciones ambientales, de las prácticas de manejo del cultivo y de las características de la especie. Las fases de germinación y crecimiento inicial son más sensibles a las sales que las fases de crecimiento posterior y desarrollo. Las plantas cultivadas en condiciones ambientales frescas y húmedas, o durante las épocas no calurosas del año, son más tolerantes a la salinidad que aquellas cultivadas durante períodos más cálidos, o con baja humedad relativa, temperatura y radiación elevadas (ASCE, 1990). Aunque las sales solubles pueden afectar a las plantas en varias formas, los elevados niveles de unos iones específicos, pueden afectar adversamente la absorción de ciertos nutrientes y alterar el balance nutricional que es requerido para el óptimo crecimiento. La interacción de iones nutrientes incluye competencia, antagonismo, y sinergismo (Lemaire *et al.*, 1989).

García (1999) menciona que las concentraciones elevadas de sales en un sustrato deben ser tomados en cuenta, ya que favorecen altos potenciales osmóticos (en la fase líquida del sustrato), lo que genera una disminución en la tasa de movimiento de agua e influye en la nutrición de las plantas, por lo que es recomendable realizar el lavado de los materiales si se desean usar como sustratos.

Capacidad de intercambio catiónico. La capacidad de intercambio catiónico (CIC), es uno de los factores más importante que afectan la fertilidad del medio de crecimiento. La CIC se define como la suma de los cationes intercambiables, medidos en unidades llamadas miliequivalentes (meq), que un material puede absorber por unidad de peso o volumen (tanto mayor el número, mayor la capacidad para retener nutrientes). Los cationes primarios involucrados en la nutrición de la planta son calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+) y amonio (NH_4^+), enlistado en orden de retención decreciente en los sitios de CIC (Bunt, 1988). Muchos iones de micronutrientes son también adsorbidos, incluyendo el hierro (Fe^{2+} y Fe^{3+}),

manganeso (Mn^{2+}), zinc (Zn^{2+}) y cobre (Cu^{2+}). Estos nutrientes están almacenados en los sitios de CIC, en las partículas del medio de crecimiento hasta que son tomados por el sistema radicular.

El valor óptimo de la capacidad de intercambio catiónico de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de la fertirrigación (Lemaire *et al.*, 1989). Si la fertirrigación se aplica en forma permanente, la capacidad de absorción de los cationes no constituye ninguna ventaja, siendo recomendable en este caso la utilización de materiales inertes, con muy baja o nula capacidad de intercambio catiónico. Si por el contrario, la fertirrigación se aplica de modo intermitente, será conveniente la utilización de sustratos con moderada a elevada capacidad de intercambio catiónico, en todo caso superior a 20 meq/100g (Abad *et al.*, 1993). La CIC ha sido medida tradicionalmente con base en el peso, para suelos naturales, pero la CIC por volumen es más significativa para el caso de sustratos artificiales, debido a la baja densidad de muchos medios, y del volumen reducido de los contenedores. En realidad, las plantas crecen más en función del volumen que del peso del medio de crecimiento, por lo que el volumen es la base generalmente aceptada para la medición de la CIC con propósitos hortícola (Bunt, 1988). En los medios de crecimiento se desean valores elevados de CIC ya que mantienen una reserva de fertilidad que abastece al crecimiento de la planta entre aplicaciones de fertilizantes. La CIC también puede retener cationes en el sustrato, previniendo su lixiviación, la cual puede ser muy significativa, dadas las intensas tasas de riego usadas en muchos viveros forestales que utilizan contenedores (Bunt, 1988).

Baja fertilidad. Esta característica puede parecer incongruente a primera vista, pero un nivel inicial bajo de fertilidad, se considera un atributo deseable para los medios de crecimiento empleados en viveros que producen en contenedor (Mastalerz, 1977; James, 1987). No es recomendable mantener altos niveles de nutrientes minerales, especialmente nitrógeno, durante la germinación y la emergencia de las plántulas, porque aumenta la posibilidad de promover hongos del tipo "damping-off". Además las plántulas de muchas especies forestales pueden no

requerir fertilización alguna durante las primeras semanas de crecimiento, excepto quizá fósforo, el cual es proporcionado de mejor manera a través de un sistema de inyección de nutrientes (Mastalerz, 1977).

Carlson (1983) reportó que plántulas de *Pseudotsuga menziesi* (Douglas fir) toman pocos nutrientes minerales en las primeras dos semanas después de la germinación, y Barnett y Brissette (1986) hallaron que el megagametofito (endospermo) de la semilla provee amplias cantidades de fósforo y otros minerales esenciales para el crecimiento de plántulas recién germinadas.

El principal beneficio de una baja fertilidad inherente, es que el viverista puede controlar completamente las concentraciones de nutrientes minerales en la solución del medio de crecimiento, a través de la fertilización. En un sustrato inherentemente fértil, o en un medio corregido a través de la incorporación de fertilizante, es imposible controlar completamente la nutrición de la planta durante la etapa de crecimiento. Los medios de crecimiento que contienen fertilizantes de liberación lenta, no deben ser almacenados más allá de unos pocos días, pues las sales del fertilizante pueden aumentar y dañar a las semillas en germinación y a las plántulas recién germinadas (Handreck y Black, 1984).

Una baja fertilidad inicial facilita fertilizar en cualquier momento durante la rotación y controlar el crecimiento y fenología de la planta. La capacidad para lixiviar completamente los nutrientes fuera del medio de crecimiento, y para cambiar las proporciones de nutrientes antes del periodo de endurecimiento, frecuentemente es usada para iniciar yemas y aumentar la tolerancia al frío (Handreck y Black, 1984).

La turba de musgo contiene de 1 a 2.5% de nitrógeno, el cual está en una forma orgánica, y por tanto no inmediatamente disponible para su aprovechamiento por las plantas (Bunt, 1988). Scarratt (1986) analizó una variedad de nutrientes minerales y otras propiedades químicas en un sustrato estándar de turba-vermiculita, y encontró niveles muy pobres de todos los nutrientes. Muchos micronutrientes estuvieron presentes en concentraciones muy bajas y el cobre (Cu) estuvo ausente.

Al comparar la incorporación de composta con la adición de turba a las mezclas de cultivo, Nappi (1993) concluyó que a pesar de los valores óptimos de los parámetros físicos e hidrológicos, la turba es prácticamente inerte desde el punto de vista químico y biológico, pero sobre todo es poco apropiada para el almacenamiento de micro y macronutrientes, lo que implica la necesidad de frecuentes tratamientos de fertilización.

En un estudio realizado sobre sustratos para la producción de plántulas de lechuga bajo invernadero, en el que se utilizó tierra de monte, germinaza, vermicomposta y turba como materiales orgánicos, además de perlita y vermiculita como materiales inorgánicos, Arias (1998) encontró que el mejor sustrato fue la tierra de monte en mezcla con perlita hasta en un 33% del volumen total. Concluyó que las diferencias encontradas entre los tratamientos fueron atribuidas a la fertilidad de cada material utilizado, más que a sus características físicas. Además resalta la importancia de evaluar tanto las características físicas como las químicas cuando se trabaje con sustratos y señala la importancia de contar con un equipo apropiado para realizar el análisis físico.

Características biológicas de los sustratos

Plagas y enfermedades. Con la aparición de los sustratos artificiales, el uso de la pasteurización se ha reducido sustancialmente ya que muchos de los componentes comúnmente usados están considerados libres de plagas y enfermedades (James, 1987). La vermiculita y la perlita son esterilizadas durante su manufactura, pues son expuestas a temperaturas tan elevadas como 1000 °C. El nivel de asepsia de la turba de musgo está sujeto a debate. Bluhm (1978) reporta que aunque algunos productos de turba de musgo son anunciados como “estériles” o libre de plagas y enfermedades, se ha encontrado que la turba contiene hongos fitopatógenos, semillas de malas hierbas y nemátodos.

Baker (1985) estableció que el musgo y otros hongos de raíz fueron encontrados en marcas comerciales de turba provenientes de diferentes áreas

geográficas, incluyendo a Canadá. Bunt (1988) concluye que la turba no es técnicamente estéril, pero ya que generalmente los organismos que contiene no son fitopatógenos, normalmente no es esterilizada antes de ser usada.

Tello (1991) comentó que las principales fuentes de inóculo en semilleros puede ser el sustrato a base de materiales orgánicos (p.e. turba). En este sentido se han detectado distintas especies del género *Fusarium* en turbas destinadas a ser empleadas para semillero.

Gómez (1996) concluye que la incidencia de diversas enfermedades fúngicas y virales es superior en plantas cultivadas en turba comercial que en las cultivadas en vermiculita; esta mayor incidencia de enfermedades en el cultivo con turba se puede reducir en gran medida si se realiza una esterilización con vapor de agua al inicio del cultivo. Sin embargo, según su situación en el yacimiento, la turba puede contener organismos antagonistas de hongos fitopatógenos, como por ejemplo la turba de color claro procedente de las capas superiores de los yacimientos, que contiene *Streptomyces* ssp. y *Trichoderma viride* (Jarvis, 1997).

Zamora (2005) realizó análisis microbiológicos a varios sustratos y aún cuando estos materiales presentaron poblaciones de microorganismos, no suelen considerárseles como la fuente principal de elementos nocivos, en un sistema de producción con base en un sustrato. Debido principalmente a que muchos de los materiales han pasado en su proceso de fabricación por un tratamiento térmico por elevadas temperaturas (perlita, vermiculita, arcilla expandida, lana de roca, agrolita, entre otros). Sin embargo, la manipulación no adecuada del sustrato antes de su utilización (almacenamiento, realización de mezcla) puede ser el inicio de graves problemas sanitarios.

2.2.2. Contenedores

Los contenedores individuales se denominan como celdas o cavidades, las cuales se encuentran en agregados llamados bloques, charolas o camas. En ocasiones el término contenedor es usado para nombrar a una cavidad o a su conjunto (Landis *et al.*, 1990).

El diseño del contenedor y el material de que está fabricado nos condiciona una multitud de variables dentro del cultivo: las dimensiones de la planta, la formación del sistema radical, el número de plantas a cultivar por unidad de superficie, la cantidad de sustrato a utilizar, el número de cultivos (Domínguez *et al.*, 2000).

La primera producción a gran escala de plantas para reforestación en los modernos contenedores de plástico se dio en Canadá con la “Bala Walter” (Walter, 1974). Y con el “Tubo Ontario” (Ontario Tube) en Ontario, Canadá (Reese, 1974). Con base en estos prototipos, otros contenedores fueron desarrollados y probados en Canadá y Estados Unidos durante la década de 1960, incluyendo algunos que todavía son populares: bloques de poliestireno expandido. En adición a estos productos norteamericanos, el sistema “japonés de macetas de papel” (Japanese paperpot) fue adoptado en los países Escandinavos e importado subsecuentemente a los Estados Unidos y Canadá (Rasanen, 1982).

2.2.3. Fertilización en viveros forestales

Existen dos formas básicas para aplicar fertilizantes líquidos: La fertilización constante, y la fertilización periódica. La aplicación de una solución fertilizante diluida cada vez que se riega el cultivo se conoce como fertilización constante; la concentración de esta solución fertilizante aplicada es exactamente la concentración de nutrientes deseada en la solución del medio de crecimiento. La fertilización periódica consiste en la aplicación de una solución fertilizante más concentrada,

acorde con una programación prefijada, tal como una vez a la semana, o cada tercer riego. La solución fertilizante aplicada durante la fertilización periódica puede por tanto ser varias veces más concentrada que la solución fertilizante constante, que es la misma que los niveles de nutrientes deseados en la solución del medio de crecimiento (Mastalerz, 1977).

Mullin y Hallett (1983) analizan las dos técnicas de aplicación de fertilizante, y enlistan las siguientes ventajas para la técnica de fertilización constante: 1) El flujo regular del medio de crecimiento previene la formación de sales de fertilizante, 2) Los nutrientes están uniformemente distribuidos a través del perfil del sustrato, 3) Los niveles de nutrientes en la solución del medio de crecimiento deberán cambiarse rápidamente para corregir desbalances, 4) Los cultivos no pueden ser sobre fertilizados, porque la solución aplicada tiene exactamente la concentración apropiada para el crecimiento ideal y 5) Los niveles nutricionales del sustrato se mantienen en las cantidades especificadas con cada aplicación de fertilizante líquido. Las desventajas de la fertilización constante son: 1) Un ligero incremento en los costos en términos de sustancias químicas, fertilizantes y de trabajo y 2) El problema de disposición de la solución de fertilizante percolada. Dado que las numerosas ventajas superan las pocas desventajas, usualmente se prefiere el procedimiento de fertilización constante para la aplicación de fertilizante líquido.

La fertilización exponencial es una tercera forma de aplicar fertilizantes líquidos, que ha sido probada recientemente en viveros forestales que producen en contenedor; ésta consiste en iniciar con una baja tasa de fertilización, cuando las plántulas son pequeñas, e incrementan la cantidad de fertilizante a una tasa exponencial, la cual es proporcional con el crecimiento de las plantas (Mullin y Hallett, 1983).

Timmer y Armstrong (1987) mostraron que la tasa de N que fue gradualmente incrementada de 5 a 125 ppm de N sobre el periodo de fertilización, produjo un mejor crecimiento de las plantas, particularmente de la raíz, en comparación con las

técnicas convencionales. La fertilización exponencial tiene otros beneficios operativos, tal como una menor probabilidad de formar sales en el sustrato, y una mayor eficiencia en el uso de fertilizante, en comparación con los métodos tradicionales de fertilización. Por cuanto toca a los inconvenientes, las programaciones de fertilización exponencial son más complicadas de calcular, que las aplicaciones convencionales de fertilizante líquido (Timmer y Armstrong, 1987).

La incorporación de fertilizante sólido al sustrato es más comúnmente usada en plantas cultivadas en contenedores de volumen grande, en viveros ornamentales, pero también se usa en algunos viveros forestales que producen en contenedor (Matthews, 1982).

Cuando las plantas se cultivan con inyección de fertilizantes líquidos, la incorporación de bajas tasas de fertilizantes de liberación lenta en el sustrato, mejora el crecimiento de éstas. La incorporación de fertilizante de liberación lenta en los sustratos tiene varias ventajas: 1) No se requiere de equipo de inyección de fertilizante especializado, 2) Los costos involucrados en la elaboración de mezclas son más bajos que en las de aplicación de fertilizantes líquidos, y 3) Los niveles nutricionales también se mantienen durante los meses húmedos, cuando el riego no se requiere, y el lixiviado de nutrientes representa un problema (Matthews, 1982). La incorporación de fertilizante de liberación lenta es necesaria en los viveros que no tienen sistemas de riego bien diseñados, o inyectoros de nutrientes.

Existen tres desventajas principales relacionadas con la incorporación de fertilizantes en el sustrato: 1) Resulta imposible controlar la concentración y balance de los nutrientes minerales en la solución del medio de crecimiento, 2) Es difícil obtener una distribución uniforme de las partículas de fertilizante en el sustrato considerando el equipo comúnmente utilizado para la mezcla, y 3) La incorporación requiere de un mezclado extra del sustrato, con lo que puede resultar el rompimiento de las partículas, y originar problemas de compactación. Una vez que el fertilizante

de liberación lenta ha sido incorporado al sustrato no es posible regular por completo la disponibilidad de nutrientes (Matthews, 1982).

Una de las verdaderas ventajas del cultivo de plantas en contenedor es que el crecimiento puede ser controlado con precisión, a través de todas las fases de desarrollo de la planta, especialmente durante el periodo de endurecimiento. El control completo de los 13 nutrientes minerales, es una de las “herramientas” más efectivas disponibles para el viverista, pero este control es sacrificado con la incorporación de fertilizantes de liberación lenta (Matthews, 1982).

Oliet *et al.* (1999) estudiaron el efecto de los fertilizantes de liberación controlada sobre la calidad de planta de *Pinus halepensis* Mill. Se utilizaron dos formulaciones de fertilizantes de liberación lenta OSMOCOTE 9-13-18 (dosis de 0, 1.5, 3.25 y 5 g/l) y OSMOCOTE 16-8-9- (dosis de 0,3.25, 5 y 7 g/l). Su incorporación al sustrato, aunque incrementó considerablemente la salinidad de la solución en ciertos tratamientos no afectó la germinación ni la supervivencia. La concentración en lixiviados de N y P durante el cultivo respondió significativamente y positivamente a los aportes, no sucediendo lo mismo con el K. La concentración en parte aérea de N, P y K al final del cultivo se correlacionó positivamente con las cantidades aportadas, aunque más débilmente para el K. Con el desarrollo aéreo de la planta tan sólo el N produjo una respuesta correlacionada positiva. OSMOCOTE 9-13-18 resultó deficiente en su proporción relativa de nitrógeno y OSMOCOTE 16-8-9 lo fue en la proporción de P por dilución. La eficiencia en la utilización de los nutrientes fue decreciendo con la dosis aportada.

Programas de fertilización utilizados en la producción de planta. A causa del fuerte efecto de la fertilización en el crecimiento de las plantas, los niveles de nutrientes tradicionalmente se ajustan para las diferentes etapas de crecimiento durante el desarrollo de la planta: para los esquemas de cultivo han sido reconocidas tres etapas en el desarrollo de la planta: 1) Fase de establecimiento, que comprende la germinación y el crecimiento de la plántula a través del estadio cotiledonar;

- 2) Fase de crecimiento rápido, cuando las plántulas crecen a una tasa exponencial, y
- 3) Fase de endurecimiento, que comienza cuando las plantas tienen formadas sus yemas terminales y el crecimiento de la parte aérea cesa, pero el diámetro basal y el crecimiento de la raíz aumenta (Landis *et al.*, 1990).

El control de los niveles de N es el factor más importante para manipular el crecimiento de las plantas, y los niveles recomendados de fertilización con N varían considerablemente durante estos estadios de crecimiento. Una encuesta en viveros que producen en contenedor mostró que los viveristas están usando un amplio intervalo de niveles de nitrógeno en cada etapa de crecimiento (Cuadro 1). El nivel óptimo de nitrógeno variará entre viveros y entre especies forestales; la tendencia es de adoptar niveles similares a los recomendados por Mullin y Hallett (1983): Nitrógeno moderado durante la fase de establecimiento, elevados niveles durante la fase de crecimiento rápido y bajos niveles de nitrógeno durante la fase de endurecimiento.

Cuadro 1. Comparación de las tasas de aplicación de fertilizante recomendadas durante las tres fases de cultivo en especies forestales.

Fuente	Concentración de nitrógeno (ppm)		
	Fase de inicio	Fase de crecimiento	Fase de endurecimiento
(Mullin y Hallett, 1983)	50	100	25
(Carlson, 1983)			
<i>Pinus</i> spp.	229	229	45
<i>Picea</i> ssp.	112	112	45
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	62	100	62
(Tinus y McDonald, 1979)	0	223	20
(Ingestad, 1979)			
<i>Pinus sylvestris</i>	0	20-50	0
<i>Picea abies</i>	0	60-100	0
(Morrison, 1974)	0	50-300	0
(Brix y Driessche, 1974)	0	28-300	0

Prieto *et al.* (2003) evaluó siete rutinas de fertilización en la supervivencia, crecimiento y asimilación de nutrimentos en *Pinus engelmannii* en vivero, en un sustrato formado por una mezcla de turba (55%), vermiculita (24%) y agrolita (21%). Las rutinas de fertilización se aplicaron en cada fase de crecimiento de las plantas: inicio, crecimiento rápido y finalización, utilizando los fertilizantes comerciales Multicote y Peters Professional, en forma separada y combinada. El Multicote se utilizó en dosis fija de 5 kg m⁻³ de sustrato; Peters Professional se aplicó en tres rutinas de fertilización con diferentes proporciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), con dosis que variaron en cada fase de crecimiento. Los resultados más sobresalientes se obtuvieron cuando se fertilizó con Peters Professional en la rutina con las dosis de 50-125-101, 100-15-79 y 40-109-290 ppm de N-P-K respectivamente, aplicadas en las tres fases de crecimiento; así como la combinación de Multicote y Peters Professional en las tres rutinas de fertilización evaluadas. La asimilación de nutrimentos fue apropiada para la mayoría de los tratamientos, excepto para el control y el Multicote adicionado solo.

Glen (1991) recomendó la aplicación de fertilizantes solubles en agua de riego cada ocho días en *Pinus arizonica* Engelm, *Pinus engelmannii* Carr. y *Pinus durangensis* Martinez, para las etapas de inicio, crecimiento y endurecimiento, en concentraciones de 25–50 mg L⁻¹, 90–120 mg L⁻¹ y 50–100 mg L⁻¹, utilizando el fertilizante en formulación 10-52-17, 20-20-20 y 10-52-17 de NPK respectivamente, para iniciar un régimen de nutrición en la producción de planta en viveros del norte de México.

La forma adecuada de proporcionar N durante la fase de endurecimiento, ha sido objeto de mucha discusión, pero la experiencia operativa con coníferas en el oeste de los EUA, sugiere que los fertilizantes basados en nitrato deberán ser preferidos sobre aquellos basados en amonio. Se piensa que el NH₄⁺ estimula el crecimiento suculento de la parte aérea, y que retrasa el endurecimiento, y por tanto los fertilizantes como el nitrato de calcio con frecuencia se usan durante el periodo de endurecimiento. Gingrich (1984) establece que los fertilizantes con NO₃⁻ deberían ser

utilizados durante los periodos de poca luz típicos de fines del otoño, o durante el invierno.

Las proporciones recomendadas de los tres principales macronutrientes (N-P-K), también varían en las tres etapas de crecimientos; Carlson (1983) reporta proporciones diferentes para distintas especies de coníferas. Hahn (1978) recomendó una proporción de N-P-K de 1:5:1 durante el crecimiento inicial de plántulas y una proporción de 3:1:1 durante la fase de crecimiento rápido. Sin embargo, investigaciones recientes crean dudas acerca de la necesidad de fertilizantes especiales durante las tres etapas. Scarratt (1986), refiere que los fertilizantes especiales "iniciador", "crecimiento" y "finalizador", no demostraron mejorar significativamente en comparación con los fertilizantes estándar de "propósito general" para el cultivo en contenedor de plántulas de *Pinus banksiana* (jack pine). No obstante, las diferentes especies reaccionan de forma distintas a diferentes regímenes de fertilización, aunque se han publicado algunas recomendaciones específicas (Tinus y McDonald, 1979).

2.3. Balance nutricional

La proporción relativa de los diferentes nutrientes minerales entre si, en la solución del medio de crecimiento, es un factor a considerar cuando se diseña un programa de fertilización para un vivero forestal que produce en contenedor. Jones (1983) establece que las proporciones de concentración son más importantes que la concentración absoluta de cualquier elemento. El balance entre los diferentes nutrientes minerales es importante desde la óptica biológica por dos razones: 1) El exceso de ciertos iones en la solución del medio de crecimiento puede afectar la absorción y utilización de otros nutrientes. 2) El balance iónico afecta el pH de la solución del medio de crecimiento.

Una característica de la absorción activa de nutrientes es que la absorción de iones de la solución del medio de crecimiento involucra competencia, antagonismo y

sinergismo entre iones. Los iones monovalentes, como el potasio (K^+), son absorbidos más rápidamente que los iones di o trivalentes. Si la forma principal del nitrógeno en la solución del medio de crecimiento es el nitrato (NO_3^-), entonces ciertos cationes (K^+ , Ca^{2+} , y Mg^{2+}) son absorbidos en grandes cantidades, en comparación a cuando el amonio (NH_4^+) está presente. Se ha demostrado que la presencia de NH_4^+ incrementa la absorción de NO_3^- , mientras que la presencia de iones Cl^- inhibe la absorción de NO_3^- (Jones, 1983).

Steiner (1980) establece que la mayoría de las plantas crecerán mejor en una “solución universal de nutrientes”, siempre y cuando se respete cierta proporción entre cationes y aniones.

Iglesias (1987) evaluó la aplicación de diferentes fuentes y dosis de fertilizantes aplicadas al medio de crecimiento en *Pinus radiata*, y encontró que los resultados desaprobaron el uso de la fórmula NPK 46-00-00 (urea) y el uso de picomódulos con fitohormonas de la fórmula NPK 16-25-12, en dosis mayores de 0.2 g por cada 100 cm³ de sustrato (compuesto con 40% de tierra de monte, 40% corteza de pino molida y compostada y 20% de perlita). Los mejores resultados se obtuvieron con los fertilizantes 18-46-00 y 32-15-05 aplicados con el agua de riego en dosis de 4 y 5 g L⁻¹.

Dixon *et al.* (1985), en trabajos con *Pinus echinata* en invernadero, prepararon mezclas de fertilizantes con nitrógeno-zinc y nitrógeno-magnesio aplicándolas por separado al follaje de las plantas y como solución al medio de crecimiento durante 11 semanas, observando que la fertilización foliar incrementó significativamente el desarrollo ectomicorrízico y el peso total de las plantas. La fertilización con nitrógeno-magnesio causó un incremento significativo en el número de raíces ectomicorrizadas, comparadas con la fertilización con nitrógeno-zinc.

Bhatnagar y Talwar (1979) experimentaron con *Pinus caribaea*, probando diferentes concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, y S para observar su efecto en el

desarrollo de las plantas. Las deficiencias de estos elementos provocaron necrosis en las acículas. La altura, diámetro y longitud de traqueidas se redujo cuando hubo deficiencias de N, P, K, y S. La deficiencia de Ca afectó el crecimiento en altura, mientras que el Mg no presentó efecto en ninguna de las variables estudiadas.

La mayoría de las coníferas responden rápidamente a la fertilización nitrogenada. En general, cuanto más rápido se aplique el nitrógeno, se obtienen mejores respuestas. La clave para el buen uso de los fertilizantes nitrogenados en coníferas, parece ser su aplicación en pequeñas cantidades continuas (Sinclair *et al.*, 1975). En la práctica, las aplicaciones fuertes de fertilizantes con fósforo causan algunas veces deficiencias de microelementos. El zinc (Zn), fierro (Fe) y el cobre (Cu) son los elementos que se inhiben más por el alto nivel de fósforo y el superfosfato de calcio puede acentuar la deficiencia de cobre en las coníferas. Para contrarrestar esas deficiencias de microelementos debe aplicarse sulfato de zinc, quelato ferroso o sulfato de cobre en las cantidades que requiera el cultivo (Aldhous, 1972).

Landis *et al.* (1989) recomiendan la adición de 222 ppm de nitrógeno, 60 ppm de fósforo, 155 ppm de potasio, 60 ppm de calcio, 40 ppm de magnesio, 63 ppm de azufre, 4 ppm de fierro, 0.5 ppm de magnesio, 0.05 ppm de zinc, 0.02 ppm de cobre, 4 ppm de cloro, 0.01 ppm molibdeno y 0.5 ppm de boro para lograr un buen desarrollo de las plantas en invernadero. Aunque la incorporación de fertilizantes de liberación lenta en el medio de crecimiento puede justificarse en algunos casos, la inyección directa de fertilizantes líquidos con el sistema de riego se recomienda siempre que sea posible. Los beneficios de esta técnica incluye el control preciso de la concentración y el balance de los nutrimentos minerales, la capacidad de un cambio completo de la solución nutritiva en cualquier momento y una baja posibilidad de intoxicación de la plantas por sobredosis de nutrimentos (Landis *et al.*, 1989).

García (1985) realizó un experimento para evaluar el efecto de dos fertilizantes (urea y superfosfato de calcio triple), bajo dos diferentes concentraciones sobre el desarrollo de *Pinus douglasiana* Mtz., recomendando mezclar únicamente

fertilizante fosforado al sustrato en cantidades de 185.43 a 5006.42 gramos de superfosfato de calcio triple por metro cúbico de sustrato, con ello se garantiza una sobrevivencia aceptable, buen desarrollo en altura y un mayor volumen de la raíz y de la parte aérea.

Una de las teorías de balance nutricional más ampliamente usadas en el cultivo de especies forestales en contenedor está basada en el trabajo de Ingestad, quien establece las proporciones de todos los nutrientes en relación al nitrógeno. Ingestad (1979) propuso “proporciones de nutrientes” para diferentes especies de coníferas y de latifoliadas; las proporciones para *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) están referidas en el Cuadro 2, junto con las concentraciones para los 13 elementos esenciales a 100 y 200 ppm de nitrógeno.

Cuadro 2. Comparación de proporciones de nutrientes de Ingestad para *Pseudotsuga menziesii* y niveles nutricionales a dos concentraciones de N*

Nutrientes	Proporción de nutrientes	Niveles de nutrientes en fertilizante	
		100 ppm	200 ppm
Macronutrientes			
N	1.00	100	200
P	0.30	30	60
K	0.50	50	100
Ca	0.04	4	8
Mg	0.05	5	10
S	0.09	9	18
Micronutrientes			
Fe	0.007	0.7	1.4
Mn	0.004	0.4	0.8
Zn	0.0003	0.03	0.06
Cu	0.0003	0.03	0.06
Mo	0.00007	0.007	0.014
B	0.002	0.2	0.4
Cl	0.0003	0.03	0.06

* Algunos de los niveles nutricionales, especialmente Ca, Mg, S, Fe y Cu, parecen bajos. Fuente: Ingestad (1979).

Nitrógeno-Fósforo-Potasio

Los fertilizantes preformulados están ganando importancia en la práctica, la razón es disminuir el trabajo y los errores en la aplicación de los tratamientos de fertilización. Un prerrequisito para su aplicación, es que los tres nutrientes estén presentes en el fertilizante en proporciones adecuadas y adaptables a los requerimientos nutricionales de las plantas (Boule y Fricker, 1970).

Boule y Fricker (1970) realizaron aplicaciones de NPK en plántulas de *Pinus banksiana*, *Pinus resinosa*, *Pinus strobus* y *Picea glauca* obteniendo un buen crecimiento con N, P₂O₅ y K₂O con una proporción de 1:2:5 respectivamente. Estos mismos autores compararon este resultado con investigaciones en Europa y encontraron que la proporción de nutrientes mencionadas también son válidas para *Pinus sylvestris* y *Picea excelsa*.

La aplicación de NPK en una relación de 10-10-10 y 19-19-19 ha dado buenos resultados en *Abies balsamea* y *Pinus banksiana* (Boule y Fricker, 1970). En cambio varias combinaciones de NPK aplicados a *Pinus strobus* no ocasionaron una adecuada respuesta en diámetro (Shepard, 1982).

2.4. Calidad de planta en vivero

Una planta de calidad es aquella que reúne las características morfológicas y fisiológicas adecuadas para sobrevivir y crecer satisfactoriamente en las condiciones ambientales del lugar donde será plantada (Duryea, 1985).

Existen diferentes métodos de evaluación de la calidad de plantas en vivero; sin embargo, no existe uno que se considere el más adecuado, debido a que para predecir la calidad de la planta debe ser respaldado por un grupo de pruebas tecnológicas que sean consistentes; así mismo, cuando se lleva la planta al campo, es conveniente realizar pruebas que sean rápidas y fáciles de conducir y de interpretar (Duryea y Landis, 1984).

La evaluación de un lote de plantación es muy importante para elaborar un programa eficiente de producción de plantas y para definir los requerimientos ambientales de las plántulas en el vivero, como clima, suelo, régimen cultural y calendarios de extracción y de aplicación de prácticas culturales para optimizar su adaptación y desarrollo en el campo. Las pruebas de comportamiento en el campo son el procedimiento más directo para evaluar la calidad de la planta y permiten aumentar la habilidad de los viveristas para producir plantas de mejor calidad. Las evaluaciones de campo miden la capacidad de crecimiento y proveen los lineamientos y explicaciones fisiológicas para el éxito o fracaso de las plantaciones, además mejoran los conocimientos sobre las necesidades de las plantas (Duryea, 1985).

Criterios morfológicos para evaluar la calidad de planta.

La morfología es definida por Thompson (1985) como la forma o estructura de un organismo o cualquiera de sus partes, cuya evaluación podría incluir un número cuantioso de mediciones potenciales, desde la altura y biomasa hasta el número de estomas o dientes en el borde de las hojas. No obstante, solo algunos criterios morfológicos, como la altura, diámetro del tallo, arquitectura del tallo y la raíz, y la relación parte aérea/raíz, podría ser suficiente para definir la calidad de las plantas y predecir su tolerancia al estrés así como su crecimiento y supervivencia.

Altura. La altura de la planta por sí sola es un indicador de poco valor para medir la calidad de la planta, pero influye en otras de mayor importancia y puede ser fácilmente manejable en el vivero mediante prácticas como la poda aérea, la densidad o la fertilización, pero si se combinan con el diámetro y arquitectura del tallo adquiere mayor importancia (Nienstaedt, 1981).

Diámetro del tallo. Es el criterio morfológico de más utilidad para evaluar la calidad de las plantas. El diámetro puede reflejar el tamaño del sistema radicular y el potencial de durabilidad de la planta. Plantas con diámetro grandes resisten al

doblamiento y toleran el daño causado por insectos y otros animales; además la supervivencia y el crecimiento están relacionadas con plantas de mayor tamaño y con diámetros más grandes (Duryea, 1985). Se sabe que el diámetro de las plantas de coníferas está muy relacionado con la cantidad de sustancias de reservas contenidas en las mismas, por lo que esta variable representa un buen parámetro de predicción de la supervivencia y desarrollo en el campo (Thompson, 1985). El diámetro tiene también una fuerte relación con las características de la raíz, así como con el peso seco de la misma y su morfología. Generalmente a mayor diámetro del tallo se presentan más raíces laterales primarias (Rowan, 1986).

Sistema radical. A mayor sistema radical y número de raíces finas, la planta tendrá mayores posibilidades de supervivencia en campo debido a que exploran mayor área de suelo y por lo tanto tienen mayor capacidad de absorber agua y nutrientes. El efecto de algunas prácticas culturales como la aplicación de cobre para realizar la poda química de raíces, ha mostrado que aumenta la cantidad de raíces en la zona media del cepellón, mejorando la supervivencia en campo (Wenny *et al.*, 1988).

Relación parte aérea-raíz. Se refiere a la proporción de la biomasa aérea con respecto a la raíz. Una proporción mayor de tres incrementa las posibilidades de desequilibrio hídrico y pone en peligro la supervivencia (Capó, 2001).

Coefficiente de robustez. Es el cociente altura/diámetro, y se obtiene al dividir la medida de la altura (en cm) entre el diámetro (en mm) de la planta para evaluar su calidad. Este coeficiente también llamado índice de esbeltez, estima el grado de resistencia de las plantas a factores ambientales adversos.

$$CR = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}}$$

Índice de calidad de Dickson. En este índice se toma en cuenta además de la altura y el diámetro, la biomasa total, aérea y radicular de la planta, se obtiene con la siguiente ecuación: (Dickson *et al.*, 1960).

$$\text{ICD} = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}}$$

Arquitectura de la parte aérea. Es la forma del tallo y la distribución del follaje en él. La arquitectura de una planta de calidad debe ser apropiada al tamaño del sistema radical y el número de hojas debe ser el adecuado para optimizar la captación de luz y al mismo tiempo minimizar el gasto de agua debido a la transpiración (Johnson y Cline, 1991).

Arquitectura de la raíz. Es la distribución y orientación espacial del sistema radical; este se considera como un componente que determina la calidad de la planta y las características que lo componen son fibrosidad, morfología, desarrollo micorrízico, peso, volumen, longitud, superficie y estado de humedad de la raíz. Las podas terminal y lateral pueden modificar y controlar la configuración del sistema radical, donde se considera para su evaluación, el número de raíces laterales primarias (número de raíces que se originan de la raíz pivotante y que tienen más de un mm de diámetro), el volumen de raíces y la micorrización (Carlson, 1986).

Criterios fisiológicos para evaluar la calidad de planta.

La fisiología de la planta depende de las condiciones bajo las cuales fue cultivada y tiene relación directa con su comportamiento en el sitio de reforestación. Aunque son varios los factores que influyen en la calidad de las plantas, sólo unos cuantos se han estudiado para el caso de coníferas (Ishikawa y Bledsoe, 2000).

Balance hídrico. El agua es un factor ambiental importante que afecta la fisiología de las plantas. El estado hídrico de la planta es de suma importancia. Además de ser constituyente de las células, el agua es un solvente de gases y nutrientes debido a su movimiento por células y órganos; es también un reactivo en muchos procesos

bioquímicos. La causa primaria de la mortalidad de las plántulas después de la plantación es la falta de agua (Duryea y Landis, 1984). Estos mismos autores mencionan que cuando el follaje tiene contenidos relativos de agua menores de 80%, la planta se encuentra en condiciones de estrés hídrico. Entonces, debe procurarse que al momento de la plantación la planta contenga el mayor contenido de agua posible. El potencial hídrico es un mejor descriptor del nivel de hidratación y del estado fisiológico de la planta, especialmente si en forma simultánea se determinan sus principales componentes como potencial de turgencia y potencial osmótico, por lo que el registro continuo de dicho potencial es muy importante en la producción de plantas de calidad.

Contenido de carbohidratos. Los carbohidratos son productos derivados de la fotosíntesis. La sacarosa y el almidón son los carbohidratos más importantes para evaluar la calidad de la planta. La sacarosa es la forma primaria mediante la cual los carbohidratos son translocados a través de toda la planta y más del 95% son llevados a la biomasa seca. El almidón es la forma primaria de carbohidratos almacenado en la planta. Una alta concentración de sacarosa favorece la síntesis de almidón, mientras que una baja concentración propicia su ruptura. Este proceso asegura niveles de sacarosa para el mantenimiento de la planta, respiración celular y metabolismo del crecimiento (Duryea, 1985).

A medida que el crecimiento disminuye al comienzo del otoño, la tasa fotosintética es relativamente alta y los fotosintatos son translocados a las raíces; cuando el crecimiento de la raíz se reduce, los fotosintatos se convierten en almidón para ser almacenados, aunque un pequeño porcentaje es utilizado para el mantenimiento del metabolismo. En climas fríos, donde la fotosíntesis se inhibe debido a las bajas temperaturas, las plántulas dependen de la reserva de los carbohidratos para mantener su metabolismo durante el invierno. Las plantas al ser llevadas al sitio de la plantación no pueden realizar la fotosíntesis durante varias semanas o más tiempo, ya que se encuentra en un medio diferente al del vivero. Durante este tiempo las plantas dependen de sus reservas de carbohidratos, los

cuales proporcionan el mantenimiento de la respiración de la planta (Duryea y Dougherty, 1991).

Resistencia a heladas. Para estimar la respuesta de las plantas a temperaturas bajas, éstas son sometidas total o parcialmente a un intervalo de temperaturas bajo cero y se evalúa el daño sufrido. La respuesta de la planta mide el nivel de endurecimiento al frío. Las técnicas para evaluar el daño por heladas, son pruebas de crecimiento o pruebas de conductividad e impedancia eléctrica (Levitt, 1980).

Pruebas de vigor. Se mide la capacidad de las plantas para revertir y superar condiciones de estrés ocasionado por diversas causas como temperatura, humedad, enfermedades, competencia, daños mecánicos o ataque de animales (Levit, 1980).

En la Universidad Estatal de Oregon, Estados Unidos se generó una prueba para medir el vigor o resistencia de las plantas al estrés. Esta prueba consiste en la exposición de 60 a 100 plantas a dos diferentes condiciones ambientales; la mitad del lote se somete a condiciones de humedad y temperatura favorables y la otra mitad se somete a condiciones artificiales de estrés aplicando un tratamiento de 32 °C y 30% de humedad relativa por 15 minutos; posteriormente se colocan en agua durante cinco minutos y se plantan en macetas junto con el testigo para evaluar la supervivencia. Con esta prueba es posible predecir el comportamiento potencial de las plantas en el campo para determinar la calidad de las mismas cuando salen del vivero, lo que permite identificar los daños causados por errores cometidos en las prácticas de cultivo. Si la mortalidad en el grupo de plantas sometidas a deshidratación es menor del 10%, puede considerarse de buena calidad, pero si es mayor de 30%, se considera como de poca calidad (Ritchie, 1984).

Crecimiento potencial de la raíz. La prueba de potencial de crecimiento de raíz se define como la habilidad de la planta para la iniciación y alargamiento de raíces cuando se expone a condiciones favorables. Al final de la prueba las raíces se lavan y se determina su número y longitud. Mientras más alto es éste valor, mayor es la

oportunidad de la planta para sobrevivir y crecer. Sin embargo, existen algunos problemas con esta prueba debido a que los factores ambientales pueden afectar el valor absoluto del crecimiento potencial de la raíz y perder la habilidad para predecir el establecimiento de la planta en campo (Ritchie y Tanaka, 1990).

CAPÍTULO 3

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE MEZCLAS DE FIBRA DE COCO Y TURBA USADAS COMO SUSTRATO

RESUMEN

En México, la mayoría de los sustratos usados en la producción de planta en contenedores se componen principalmente de turba mezclada con vermiculita y perlita. Con el propósito de encontrar opciones más económicas y con menor impacto ambiental que el uso de la turba, se evaluó la fibra de coco, subproducto orgánico generado por diferentes actividades productivas. La evaluación de los sustratos incluyó la caracterización física (densidad aparente, porosidad y curva de retención de humedad) y química (pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico). El sustrato compuesto de 100% de fibra de coco obtuvo el menor valor de densidad aparente 0.10 g cm^{-3} , con la mayor porosidad de retención de humedad (89.3%) y total (95.9 %), dando como resultado mayor disponibilidad de agua para la planta. La fibra de coco también aumentó el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico en el sustrato. La incorporación de osmocote, en dosis de 5 kg m^{-3} a los sustratos, redujo la porosidad de retención de humedad en 10 % y la porosidad total en 8% en relación con el control, sin modificar de manera importante la porosidad de aireación, pero causando una ligera reducción en la disponibilidad de agua para el cultivo. La adición de osmocote también redujo el pH, pero aumentó la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico. Las características de la fibra de coco como medio de crecimiento la hacen un excelente sustituto de los sustratos tradicionalmente utilizados en la producción de planta forestal.

Palabras clave: Mezclas de sustratos, producción de planta, retención de agua, turba, viveros forestales.

CHAPTER 3

Physical and chemical properties of mixed of coconut husk and peat moss mixes used as substrate

SUMMARY

In Mexico, most of the substrates used in container seedling production are composed mainly of peat moss mixed with vermiculite and perlite. With the purpose of finding more economic options and with lower environmental impact than using peat moss, the coconut husk, an organic by-product generated by different activities, was evaluated. Substrate evaluation included physical (apparent density, porosity, and water-retention curves) and chemical (pH, electric conductivity and cationic exchange capacity) characterization. The one-hundred-percent coconut husk substrate had the lowest apparent density (0.10 g.cm^{-3}), with the highest water-retention (89.4 %) and total porosity (95.9 %), giving larger water availability for seedlings. Coconut husk also increased pH, electric conductivity and cationic exchange capacity in the substrate. Adding 5 kg/m^{-3} of osmocote to the substrate, reduced water-retention porosity in 10 % and total porosity in 8 % in relation to the control, without substantially modifying air porosity, but causing a slight reduction in water availability for seedlings. Osmocote also reduced pH, but increased electric conductivity and cationic exchange capacity. These virtues of coconut husk as growing medium make it an excellent substitute of substrate traditionally used in nursery seedling production.

Index words: Forest nurseries, peat moss, seedling production, substrate mix, water retention.

3.1. INTRODUCCIÓN

La búsqueda de nuevos materiales para formular sustratos que sirvan como medio de crecimiento de las plantas en los viveros es una actividad fundamental y necesaria, debido al encarecimiento de los ya existentes. Ante este panorama, es importante conocer la aptitud de los subproductos o residuos generados por diferentes actividades productivas y de consumo como componentes de sustratos, particularmente por su reducido costo (Ansorena, 1994). El uso de estos subproductos tiene, además, un elevado valor ambiental, ya que devuelve al ciclo productivo materiales desechados y reduce la presión sobre los recursos naturales, que no resisten las altas tasas de extracción sin ocasionar un fuerte impacto en el ambiente.

En México, la utilización de sustratos en la producción de planta en contenedor se hace con base en recomendaciones de proveedores o técnicos de otros países, sin previo conocimiento de sus características físicas y químicas. Debido a lo anterior, es importante establecer la aptitud y utilidad de los materiales orgánicos como componentes de sustratos a partir de sus propiedades físicas y químicas (Ansorena, 1994). Esta información permite valorar posibles riesgos y restricciones que se deberán considerar al momento de usarlos en la producción de una especie en particular. En muchos viveros de producción de planta en contenedor en México se utiliza una mezcla de 40% de turba, 30% de vermiculita y 30% de perlita (PRONARE, 2003).

En México existen productos naturales, como la fibra de coco, que presentan características físicas similares a las de la turba, con un menor costo (solo un 30%, en comparación con la turba) y mayor disponibilidad. Estas características hacen que la fibra de coco represente una alternativa potencial viable para reducir la dependencia de materiales importados en la producción de plantas en gran escala.

En México se producen anualmente más de 200 millones de plantas de especies forestales en contenedor, en los viveros de varias instituciones gubernamentales que colaboran con el Programa Nacional de Reforestación (PRONARE); en estos viveros se utiliza como medio de crecimiento un sustrato compuesto por turba, vermiculita, perlita y fertilizante de liberación lenta en diferentes proporciones (PRONARE, 2003).

Los objetivos del presente trabajo consistieron en (1) determinar las propiedades físicas y químicas en diferentes mezclas de turba y fibra de coco y (2) evaluar el efecto de la adición de fertilizante de liberación lenta en el sustrato sobre esas propiedades.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Mezclas de sustratos

El sustrato testigo estuvo conformado por la mezcla que se utiliza en forma operativa en los viveros; esto es, 40% de turba, 30% de vermiculita y 30% de perlita. A partir de esta mezcla se generaron los otros tratamientos en donde se reemplazó parcialmente la turba por la fibra de coco, previamente lavada para eliminar el contenido de sales, en proporciones progresivas de 20%, de tal manera que la contribución de la turba y de la fibra de coco en el sustrato siempre fue 40%; los otros componentes del sustrato (vermiculita y perlita) permanecieron constantes en todos los tratamientos. Como referencia se generó otro sustrato con 100% de fibra de coco.

Para determinar el efecto del fertilizante sobre las propiedades físicas y químicas del sustrato, las mezclas anteriores se evaluaron con y sin fertilizante (Cuadro 3). En las mezclas con fertilizante se agregaron 5 kg m⁻³ de osmocote plus, (marca Scotts, N₁₅ P₉ K₁₂ + microelementos) con tiempo de liberación de 8 meses; este producto contiene 7% de nitrógeno amoniacal, 8% de nitrato de amonio, 9% de P, 12% de K, 1% de magnesio, 2.3% de azufre, 0.02% de boro, 0.05% de cobre 0.45% de hierro, 0.06% de manganeso, 0.02% de molibdeno y 0.05% de zinc.

Cuadro 3. Componentes de las mezclas de sustratos para la caracterización de propiedades físicas y químicas.

Mezclas de sustratos	Componentes (%)				Dosis de Fertilizante
	Turba	Vermiculita	Perlita	Fibra de coco	Osmocote (kg m ⁻³)
1	40	30	30	--	0
2	20	30	30	20	0
3	--	30	30	40	0
4	--	--	--	100	0
1 + OSM	40	30	30	--	5
2 + OSM	20	30	30	20	5
3 + OSM	--	30	30	40	5
4 + OSM	--	--	--	100	5

OSM = Osmocote

3.2.2. Análisis físico

Para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos se utilizaron cuatro muestras de cada uno de ellos, tomadas al azar, con un volumen promedio de 137 cm³, equivalente al volumen de un contenedor para la producción de planta. La densidad aparente se calculó con base en la fórmula $D_a = \text{peso del sustrato seco (g)}/\text{volumen total (cm}^3\text{)}$. El peso del sustrato se obtuvo con una balanza analítica después de secarlo en estufa durante 72 horas. La porosidad de retención de agua (PRH), porosidad de aireación (PA) y porosidad total (PT), se calcularon con el procedimiento descrito por Landis *et al.* (1990). De una muestra de cinco litros de cada sustrato, se llenaron cuatro contenedores con un volumen de 137 cm³; posteriormente, a los contenedores se les agregó agua hasta saturarlos y luego se colocó un envase en la parte inferior para coleccionar el agua drenada. Con estos datos, se calculó la porosidad de diferentes tamaños con las siguientes ecuaciones:

$$\text{a) porosidad total (\%)} = \frac{\text{volumen total de poros (total de agua agregada, en ml)}}{\text{volumen del contenedor}} \times 100$$

$$\text{b) porosidad de aireación (\%)} = \frac{\text{volumen de aire (total de agua colectada, en ml)}}{\text{volumen del contenedor}} \times 100$$

$$\text{c) porosidad de retención de agua (\%)} = \text{porosidad total} - \text{porosidad de aireación}$$

Para caracterizar la curva de retención de agua (o curva de liberación de agua de los sustratos) (Burés, 1997). Se utilizó una submuestra de 300 ml de cada mezcla, siguiendo la técnica descrita por De Boodt *et al.* (1974). Esta técnica se basa en establecer tensiones a los sustratos situados en embudos de Haines mediante un sistema de vasos comunicantes. A partir de la curva se puede cuantificar el agua difícilmente disponible (ADD), el agua de reserva (AR), el agua fácilmente disponible (AFD), la capacidad de aireación (CA), el espacio poroso total (EPT) y el material sólido (MS).

3.2.3. Análisis químico

La determinación de las propiedades químicas de los sustratos se realizó en el laboratorio de física de suelos del Colegio de Postgraduados mediante el método de extracto saturado o pasta saturada, desarrollado por la Universidad de Michigan (Warncke y Krauskopf, 1983).

De una muestra de cinco litros de cada mezcla se tomaron cuatro submuestras de 400 ml y se colocaron en recipientes de plástico de 1 l. Posteriormente se agregó agua destilada hasta saturación, se mezcló con una espátula para homogeneizar y se dejó reposar durante 1-2 h. La pasta se filtró con una bomba de vacío y en el extracto obtenido se determinó el pH, con un potenciómetro marca Corning Scientific Instruments, modelo 12 (Medfield, Ma 02052, USA). La conductividad eléctrica se midió en el mismo extracto con el medidor de conductividad marca Yellow Springs Instruments Co., Inc. Modelo 31 (Yellow Springs, Ohio 45387, USA). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se midió en otras cuatro submuestras de 400 ml de cada mezcla de sustrato.

3.2.4. Análisis estadístico

Los datos de las propiedades físicas y químicas de las mezclas de sustrato (excepto los de la curva de retención de humedad) se analizaron mediante un ANOVA de dos vías de clasificación más la interacción, de acuerdo al siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + F_j + C \cdot F_{ij} + \varepsilon_{ijk},$$

donde:

Y_{ijk} = Valor de la variable de interés observado en la k-ésima muestra de la j-ésima dosis de osmocote y el i-ésimo contenido de fibra de coco;

μ = Valor promedio de la variable en todo el ensayo;

C_i = Efecto del i-ésimo contenido de fibra de coco en el sustrato;

F_j = Efecto de la j-ésima dosis de osmocote en el sustrato;

$C*F_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo contenido de fibra de coco y la j-ésima dosis de osmocote en el sustrato; y
 ε_{ijk} = Error experimental.

En las variables donde se detectaron diferencias significativas asociadas a alguno de los factores de interés se realizó la prueba de comparación de medias por Tukey, con un valor de probabilidad de 0.05. En el procesamiento estadístico de la información se utilizó la versión 8.0 del Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Efecto del contenido de fibra de coco

Propiedades físicas. La sustitución de la turba por fibra de coco afectó de manera significativa ($p \leq 0.01$) todas las propiedades físicas y químicas evaluadas en los sustratos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza del efecto de la fibra de coco y osmocote sobre las propiedades físicas y químicas del sustrato.

Factor de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio y significancia						
		Propiedades físicas				Propiedades químicas		
		Da	PRH	PA	PT	pH	CE	CIC
Fibra de Coco(FC)	3	0.01**	2221.6**	19.86**	81.08**	2.36**	0.21**	827.69**
Osmocote (OSM)	1	0.01**	957.0**	57.78**	544.50**	2.77**	4.41**	11633.06**
FCx OSM	3	0.00ns	46.4**	25.61**	121.41**	0.06**	0.01**	96.63**
Error	21	0.00	5.06	3.96	5.73	0.00	0.00	1.86

** significativo con $P < 0.01$; ns = no significativo.

En cuanto a las propiedades físicas, al aumentar la proporción de la fibra de coco con respecto a la turba se redujo la densidad aparente (Da) y aumentó la porosidad total y la proporción de microporos, pero se redujo la porosidad de aireación (Cuadro 5). Por ejemplo, la Da disminuyó de 0.20 g cm^{-3} en el sustrato con 40% de turba hasta 0.10 g cm^{-3} en el sustrato de 100 % de fibra de coco; en el caso de la porosidad total y proporción de microporos (porosidad de retención de agua), el sustrato sin fibra de coco presentó valores de 65.3 y 55.0 %, respectivamente, mientras que en el sustrato con 100 % de fibra de coco fueron de 95.9 y 89.4 %, respectivamente (Cuadro 5). Sin embargo, la porosidad de aireación se redujo de

10.3 % en el sustrato sin fibra de coco hasta 6.5 %, en el sustrato de 100% de fibra de coco.

Cuadro 5. Valores promedio de las características físicas y químicas del sustrato con diferentes contenidos de fibra de coco y turba.

Contenido de		Propiedades físicas				Propiedades químicas		
Fibra de coco (%)	Turba (%)	Da g cm ⁻³	Porosidad (%)			pH	CE dS m ⁻¹	CIC meq 100g ⁻¹
			PRH	PA	PT			
0	40	0.20a [†]	55.0b	10.3a	65.3b	4.29d	1.48d	45.1d
20	20	0.19a	56.9b	8.1ab	65.0b	4.74c	1.55c	55.3c
40	0	0.17b	56.4b	9.0ab	65.4b	5.12b	1.64b	59.6b
100	0	0.10c	89.4a	6.5b	95.9a	5.56a	1.86a	69.7a

[†]Valores en una columna seguidas de la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Desde el punto de vista operativo, un medio de crecimiento con baja Da es deseable ya que la planta producida en los viveros frecuentemente se transporta en grandes cantidades y distancias, donde el flete tiene un alto costo (Goh y Haynes, 1977). Sin embargo, los cambios ocasionados por la fibra de coco sobre la porosidad total y la fracción de micro y macroporos pueden tener otras implicaciones. A este respecto Peñuelas y Ocaña (1996) mencionan que niveles altos de porosidad (> 80%) favorecen el crecimiento de las raíces, lo que también repercute en forma positiva sobre el desarrollo de la parte aérea de las plantas. Aunado a esto, una proporción elevada de microporos permite una mayor retención de agua en el sustrato, lo cual tiene efectos positivos en el manejo de las plantas al reducir la frecuencia de riegos en el vivero (Puustjarvi y Robertson, 1975). Los macroporos son los que se vacían de agua después de que el sustrato ha drenado, permitiendo la aireación de las raíces; el intervalo óptimo de macroporos es de 10 a 30% (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999). Valores menores de 10 % pueden causar problemas de oxigenación en las raíces de las plantas ya que las raíces tienden a

acumularse en las paredes de los contenedores (Burés, 1997); este es un problema potencial al sustituir la turba por fibra de coco, ya que la porosidad de aireación se reduce por debajo de 10%.

Las propiedades físicas más importantes que permiten evaluar la utilidad de un material como sustrato son aquellas que se obtienen a partir de la curva de liberación de agua, en especial, la capacidad de aire (CA), la fracción de agua fácilmente disponible (AFD) y la porosidad (EPT) (Ansorena, 1994). La sustitución de la turba por fibra de coco no ocasiona cambios importantes en las diferentes fracciones de la curva de retención de agua del sustrato, mientras no se modifique el contenido de perlita y vermiculita (Cuadro 6); sin embargo, en el sustrato con 100 % de fibra de coco aumentó drásticamente el espacio poroso total (de 65 a casi 96 %) y se redujo el material sólido (de 35 a 4 %). Estas características de la fibra de coco concuerdan con los datos de Abad (1995) quien señala valores de 96.3 % de porosidad total y 3.7 % de material sólido para fibra de coco. El mismo autor muestra que estos valores no difieren mucho de los respectivos valores para la turba, lo cual explica que la sustitución de uno por otro no haya ocasionado cambios importantes en estas características de la curva de retención de agua. El aumento en el espacio poroso total en el sustrato con 100 % de fibra de coco estuvo relacionado con un incremento en la capacidad de retención de agua, especialmente la de fácil disponibilidad (AFD), variable muy importante que participa en el abasto hídrico de la planta (Abad *et al.*, 1993), aunado a esto, el valor óptimo del AFD debe estar entre el 20 y el 30 % del volumen total (Abad *et al.*, 1993), por lo que el sustrato de 100% de fibra de coco se considera apropiado. A pesar de que la capacidad de aireación (CA) se redujo ligeramente al sustituir la turba por la fibra de coco, aumentó nuevamente en el sustrato con 100 % de fibra de coco (Cuadro 6). El rango óptimo para esta variable está entre el 20 y el 30% (Abad *et al.*, 1993), por lo que todos los sustratos evaluados son adecuados.

Cuadro 6. Valores promedio de las diferentes fracciones de la curva de retención de agua del sustrato con diferentes contenidos de fibra de coco y turba.

Tratamientos		Componentes de la curva (%)					
Fibra de coco (%)	Turba (%)	ADD	AR	AFD	CA	EPT	MS
0	40	20.2	5.3	14.5	25.2	65.2	34.8
20	20	21.5	5.8	17.9	19.8	65.0	35.0
40	0	21.4	5.8	18.0	20.1	65.3	34.7
100	0	29.2	9.1	23.1	34.4	95.8	4.2

Propiedades químicas. Al aumentar el contenido de fibra de coco en el sustrato aumentó el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico con respecto al tratamiento testigo, sin fibra de coco (Cuadro 5). En el caso del pH, el sustrato sin fibra de coco obtuvo el menor valor (4.29) debido a la naturaleza ácida de la turba (Abad *et al.*, 1996), mientras que el sustrato con 100% de fibra de coco alcanzó un valor de 5.56. Estos cambios en el pH son importantes ya que el pH influye sobre la susceptibilidad de las plantas a enfermedades de raíz y la disponibilidad de nutrientes. Por ejemplo, Husted (1988) encontró que en plántulas de *Pseudotsuga menziesi* (Douglas-fir) cultivadas en contenedor, las pérdidas por afectación de hongos fueron más severas con pH de 4.0 (94%), que con un pH de 5.0 (10%), o con un pH de 6.0 (4%). En cuanto al efecto del pH sobre la nutrición mineral, Ansorena (1994) encontró que con valores de 5.2-6.3, las plantas pueden crecer sin restricciones nutrimentales, siempre y cuando las concentraciones de nutrientes se mantengan en niveles suficientes, lo que no excluye que puedan crecer fuera de este intervalo.

En el caso de la CE, el sustrato sin fibra de coco presentó un valor de 1.48 dS m⁻¹, mientras que en el sustrato de 100% de fibra de coco fue de 1.86 dS m⁻¹ (Cuadro 5). Sin embargo, Timmer y Parton (1982) consideran que el intervalo óptimo de CE es de 1.2-2.5 dS m⁻¹, por lo que todas las mezclas evaluadas son adecuadas

con respecto a esta variable. Valores de CE mayores de 2.5 dS m^{-1} reducen el crecimiento de algunas especies (Timmer y Parton, 1982), pero la respuesta de las plantas a la salinidad depende de la edad de éstas, de las condiciones ambientales, de las prácticas de manejo del cultivo y de las características de la especie (ASCE, 1990).

La CIC aumentó desde $45.1 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ en el sustrato con 40% de turba hasta $69.7 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ en el sustrato de 100% de fibra de coco (Cuadro 5). Un medio de crecimiento con una elevada CIC es deseable ya que mantiene una reserva de fertilidad que abastece al crecimiento de la planta entre aplicaciones de fertilizante (Whitcomb, 1988).

3.3.2. Efecto de la adición del fertilizante

La incorporación del fertilizante de liberación lenta al medio de crecimiento afectó de manera significativa ($p \leq 0.01$) todas las propiedades físicas y químicas evaluadas en los sustratos. Además, con excepción de la Da, en todas las características evaluadas se encontró una interacción significativa entre los dos factores (Cuadro 4), lo cual indica que la adición de fertilizante modificó el efecto de la fibra de coco sobre las propiedades del sustrato.

Propiedades físicas. La adición de osmocote al sustrato ocasionó un aumento en la Da de 0.15 a 0.18 g cm^{-3} (Figura 1a), pero al mismo tiempo redujo en 10 % la porosidad total y la porosidad de retención de humedad, con un ligero aumento (2.5%) de la porosidad de aireación (Figura 1b-1d). El ligero aumento en Da se debe a la mayor densidad de las partículas del fertilizante de liberación lenta incorporado al medio de crecimiento (Nelson, 1978); sin embargo, este cambio no debe tener mayor impacto desde el punto de vista de costos de transporte de planta. La reducción de la porosidad total también está asociada al volumen de las partículas de fertilizante que ocuparon los espacios porosos (especialmente microporos) del sustrato.

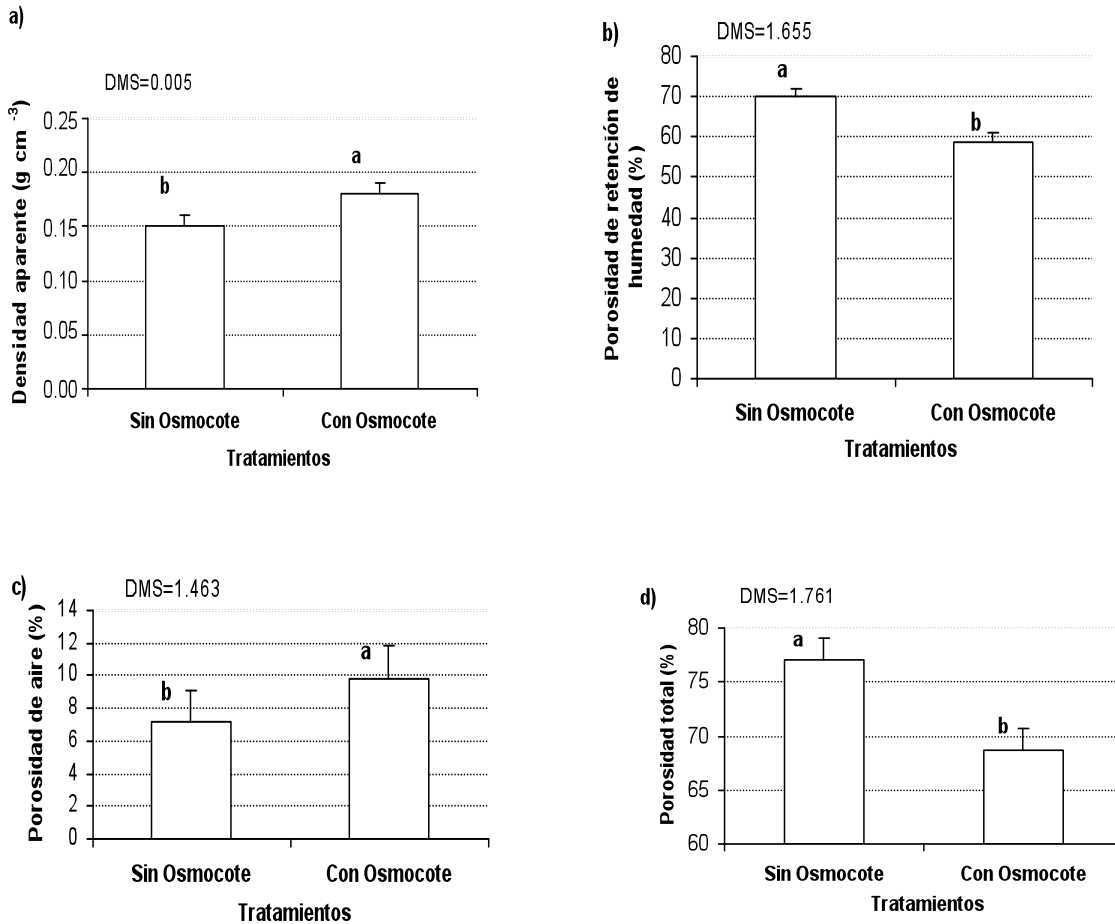


Figura 1. Comportamiento de los tratamientos con y sin osmocote sobre las propiedades físicas de las mezclas. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). DMS = diferencia mínima significativa.

El efecto del fertilizante sobre la porosidad total se reflejó en las variables relacionadas con la curva de retención de humedad (Cuadro 7), ya que aumentó el material sólido y se redujo el espacio poroso, especialmente el relacionado con la fracción de agua difícilmente disponible (ADD), de 25.3 % en el sustrato sin fertilizante hasta 20.6 %; aunque también se redujeron las fracciones de agua de reserva y fácilmente disponible, el cambio es mínimo y no tiene mayores implicaciones desde el punto de vista de frecuencias de riego (Abad *et al.*, 1993); la capacidad de aireación tampoco se modificó en forma notoria, lo que coincide con los datos obtenidos por el método de Landis *et al.* (1990), e indica que el fertilizante no afectó la frecuencia de macroporos, a pesar de que redujo la porosidad total en casi

10 %. El aumento del material sólido en el sustrato por la adición del fertilizante es lógico por la masa de este material con respecto a los otros componentes de la mezcla.

Cuadro 7. Efecto de la adición de osmocote sobre los componentes de la curva de retención de agua del sustrato.

Sustrato	Componentes de la curva (%)					
	ADD	AR	AFD	CA	EPT	MS
Sin osmocote	25.3	7.0	19.0	25.7	77.0	23.0
Con osmocote	20.6	5.8	15.8	26.6	68.8	31.2

Propiedades químicas. La adición del fertilizante osmocote ocasionó una reducción en el pH, de 5.22 a 4.63 (Figura 2a), un aumento en la CE, de 0.33 a 2.94 dS m⁻¹ (Figura 2 b), y un aumento en la CIC, de 50.3 a 64.6 meq (Figura 2c). Con respecto al pH, Sanderson (1987) reporta que el osmocote® 14-14-14, produce una reacción más ácida que el Pro-Grow® 25-10-10, probablemente como resultado de la fuente de nitrógeno. Los fertilizantes de liberación lenta basados en amonio, como el nitrato de amonio, sulfato de amonio, y el fosfato de amonio, generalmente son promotores de acidez, mientras que los fertilizantes basados en nitrato, como nitrato de calcio, o el nitrato de potasio, incrementan el pH del medio de crecimiento. Dado que valores de pH menores o mayores al rango óptimo de 5.2-6.3, afectan la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas (Ansorena, 1994), es necesario buscar una opción de manejo para elevar el pH si se agrega este fertilizante al sustrato, como el uso de cal (CaCO₃). En cuanto a la CE el aumento se debe fundamentalmente a las sales de nitrógeno utilizado para formular los fertilizantes de liberación lenta, que aumentan ligeramente la salinidad del medio de crecimiento. A este respecto, Sanderson (1987) refiere que el Pro-Grow® 25-10-10, con su base de urea-formaldehído, produce menos salinidad que el osmocote® 14-14-14, el cual está compuesto de fuentes de nitrógeno inorgánico. Valores de CE mayores de 2.5 dS m⁻¹ reducen el crecimiento de algunas especies, especialmente

de coníferas que son muy sensibles a la salinidad elevada y pueden dañarse rápidamente (Timmer y Parton, 1982). En relación a la CIC, es evidente que al agregar fertilizante al sustrato debe aumentar la fertilidad de éste (Timmer y Parton, 1982). Un sustrato con una CIC elevada es deseable ya que mantiene una reserva de fertilidad que abastece al crecimiento de la planta entre aplicaciones de fertilizante (Whitcomb, 1988).

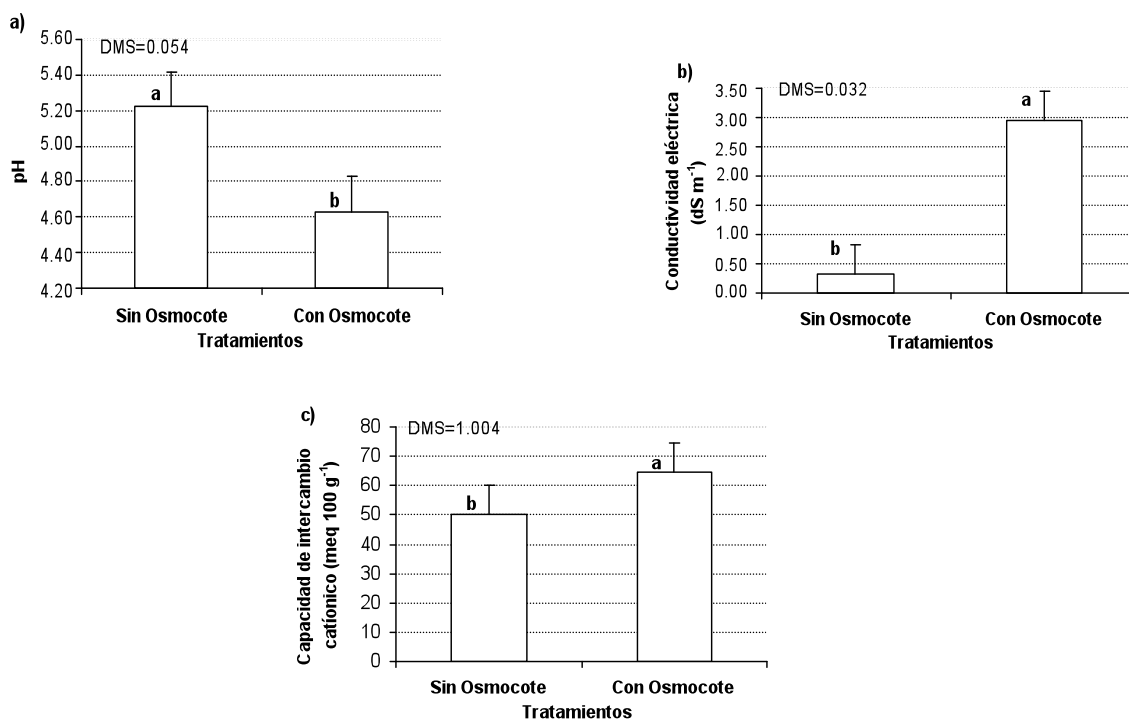


Figura 2. Efecto de la incorporación de osmocote sobre las propiedades químicas de las mezclas. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (Tukey, 5%). DMS = diferencia mínima significativa

3.4. CONCLUSIONES

El contenido de fibra de coco en el sustrato afectó de manera significativa las propiedades físicas y químicas de los sustratos evaluados. El sustrato compuesto por 100 % de fibra de coco presentó los mayores valores en las propiedades físicas y químicas, excepto en la Da y en la porosidad de aire. En general, la sustitución de turba por fibra de coco produjo un sustrato con mejores características físicas y químicas para la producción de planta, incluyendo una mayor capacidad de retención de agua fácilmente disponible para el cultivo. Por lo tanto, la fibra de coco es una alternativa potencial viable para la sustitución de la turba, vermiculita y perlita, en la elaboración de mezclas a usarse en la producción de plantas; además de las ventajas en cuanto a sus características físicas y químicas, su costo es 70 % menor que el de la turba.

La incorporación de osmocote al medio de crecimiento también modificó las características físicas y químicas de éste, redujo el pH, la porosidad de retención de humedad y la porosidad total, y ocasionó una ligera reducción en la disponibilidad de agua para el cultivo, pero sin modificar de manera importante la porosidad de aireación. Debido a lo anterior, es importante considerar la adición del fertilizante en la producción de planta, pero se debe complementar con otra práctica de manejo que permita mantener el pH del sustrato dentro del intervalo óptimo para el crecimiento de las plantas.

CAPÍTULO 4

CRECIMIENTO EN VIVERO DE PLANTAS DE *Pinus patula* EN RESPUESTA A RUTINAS DE FERTILIZACIÓN Y MEZCLAS DE SUSTRATOS

RESUMEN

En México, la mayor parte de las mezclas de sustratos usados en la producción de planta en contenedores se componen principalmente de materiales importados como la turba, en combinación con vermiculita y perlita. Con el propósito de encontrar alternativas y tratar de reducir el impacto ambiental que ocasiona el uso de la turba, se evaluó la fibra de coco, subproducto orgánico generado por diferentes actividades productivas y de consumo en el país. Se evaluaron 4 mezclas que sustituyen gradualmente la turba con fibra de coco hasta un 100% de fibra de coco y 12 rutinas de fertilización (RF) incluyendo las formulaciones de fertilizantes comerciales aplicadas a las diferentes etapas de crecimiento de las plantas. Se usó un diseño de parcelas divididas en arreglo factorial 12x4 en 4 bloques completos. A los 8.5 meses de edad de las plantas se evaluó la altura, el diámetro, la biomasa total, aérea y radical, la relación parte aérea/raíz, el índice de esbeltez y el índice de calidad de Dickson.

La aplicación de diferentes dosis de las formulaciones de fertilizantes establecidas para las etapas inicio, crecimiento rápido y finalización de las plantas, ocasionaron en promedio una menor respuesta en diámetro, biomasa total y aérea, que la aplicación de 100 mg L⁻¹ de nitrógeno de la fórmula comercial 20-7-19 durante todo el periodo de cultivo. La rutina de fertilización homogénea produjo los mejores valores de respuesta en las variables de crecimiento, acumulación de biomasa e índices de calidad; sin embargo, esto se debió a la mayor dosis de nitrógeno aplicada a las plantas, lo cual repercute en los costos de producción. La RF1 con la menor dosis de nutrimentos aplicados al cultivo produjo la menor relación parte aérea/raíz de todos los tratamientos de fertilización. El sustrato con 100% de fibra de coco ocasionó la mayor biomasa de raíz (0.63 g), la menor relación parte aérea/raíz (2.42) y los mejores índices de calidad de las plantas. Con base en estos resultados y dado que la fibra de coco tiene un costo mucho más bajo que la turba, vermiculita y perlita se sugiere su uso. También se recomienda aplicar 50 mg L⁻¹ de nitrógeno para la etapa de inicio y crecimiento rápido, y 25 mg L⁻¹ para la etapa de finalización.

Palabras clave: Fibra de coco, osmocote, *Pinus patula*, calidad de planta, producción de planta.

CHAPTER 4

Growth of *Pinus patula* seedlings in response to fertilization routines and substrate mixtures

SUMMARY

In México, most of the substrate mixtures used in the production of containerized seedlings are composed primarily of imported materials such as peat, combined with vermiculite and perlite. In order to find alternative substrates for seedling production and reduce the environmental impact caused by the use of peat, coconut husk— an organic by product generated widely in the country—was studied. Four mixtures were evaluated, gradually replacing the peat, up to 100% coconut husk, combined with 12 fertilization routines (FR) applied at different growth stages of seedlings, including pre-formulations with commercial fertilizers. A 12 by 4 factorial experiment in a randomized complete block split-plot design was used. Seedlings were assessed for height and diameter growth, and for root, aerial and total biomass at 8.5 months of age. Shoot/root ratio and the slender and Dickson quality indices were also calculated.

Use of different dosages of the fertilization formulas during the initial, fast growth, and final stages of seedling production, caused on average a smaller response in diameter growth and in aerial and total biomass, than the application of 100 mg L⁻¹ of Nitrogen from the commercial formula 20-7-19 during all growth stages. This homogeneous fertilizing routine produced the best response in growth, including biomass accumulation and quality indexes. However, this was primarily the result of the greater amount of Nitrogen applied, which has an impact on production costs. The FR1, with the smallest dose of nutrients applied to seedlings, produced the lowest shoot/root ratio. The substrate composed of 100% coconut husk caused the greatest root biomass (0.63 g), the lowest shoot/root ratio (2.42) and the best quality indexes of seedlings. Based on these results and since coconut husk has a much lower cost than peat, vermiculite and perlite, its use is suggested. A fertilization routine applying 50 mg L⁻¹ of Nitrogen for the initial and fast growth stages, and 25 mg L⁻¹ for the final stage of seedling growth is also recommended.

Key words: Coconut husk, osmocote, *Pinus patula*, seedling quality, seedling production.

4.1. INTRODUCCIÓN

En los viveros con sistemas modernos de producción de planta, se utilizan sustratos artificiales empleando una mezcla en donde incluyen el musgo canadiense (turba), vermiculita y la perlita en varias proporciones, o incluso productos naturales residuos de cultivos como bagazo de caña, cascarilla de arroz, corteza molida, y material compostado (Abad, 1995).

Se ha emprendido una activa búsqueda de materiales alternativos y/o sustitutos de la turba en numerosas partes del mundo. Las principales razones para ello son el elevado costo de la turba, particularmente en países sin recursos locales de la misma y la cuestionable disponibilidad futura por motivos ecológicos, ya que las reservas de turba no son renovables e intervienen, además como potentes sumideros del CO₂ atmosférico. Esto ha conducido a la utilización de materiales orgánicos alternativos y/o sustitutos de la turba, particularmente autóctonos y con una disponibilidad local (Raviv *et al.*, 1986; Abad *et al.*, 1996). En este contexto, y con el objeto de proceder a la transformación ecológica y al reciclado de los materiales de desecho, numerosos residuos y subproductos agrícolas y agropecuarios, forestales, industriales, urbanos, etc., están siendo utilizados con éxito como componentes de los sustratos en los cultivos (Raviv *et al.*, 1986; Abad *et al.*, 1996; Abad, 1991). Entre éstos, merece destacarse la fibra de coco, un residuo orgánico agroindustrial de origen tropical. Se genera después de que el mesocarpio del fruto del coco ha sido procesado para extraer las fibras más largas que se destinan a la fabricación de cuerdas, esteras y tapicerías (Cadahía *et al.*, 2000).

Debido a la utilización de sustratos inertes en la producción de planta, la fertilización se considera como una práctica de cultivo que agrega energía al sistema de producción generando una multitud de eventos fisiológicos complejos y dinámicos dentro de las plantas relacionados entre sí, con el propósito de aumentar el vigor, tamaño de la planta y reducir el tiempo de producción.

La demanda de nutrimentos varía entre especies conforme éstas se desarrollan; esto crea la necesidad de formular programas de fertilización en función de análisis foliares, de manera que pueden ser fijados algunos rangos por fase de crecimiento de las plantas y se consideren dosis-respuestas para determinar la eficiencia del programa (Brichler *et al.*, 1998).

Las proporciones recomendadas de los tres principales macronutrientes (N-P-K) también varían en las tres etapas de crecimientos. Hahn (1978) recomendó una proporción de N-P-K de 1:5:1 durante el crecimiento inicial de plántulas y una proporción de 3:1:1 durante la fase de crecimiento rápido. Sin embargo, investigaciones recientes crean dudas acerca de la necesidad de fertilizantes especiales durante las tres etapas. Scarratt (1986) refiere que los fertilizantes especiales "iniciador", "crecimiento" y "finalizador", no demostraron efectos significativos en comparación con los fertilizantes estándar de "propósito general" para el cultivo en contenedor de plántulas de *Pinus banksiana* (jack pine). No obstante, las diferentes especies reaccionan de forma distinta a diferentes regímenes de fertilización, aunque se han publicado algunas recomendaciones específicas (Tinus y McDonald, 1979).

En viveros forestales de Columbia Británica, que producen en contenedor, comúnmente se incorpora fertilizantes de liberación lenta en el sustrato, en producciones a cielo abierto, sin cubierta, donde la abundante agua de lluvia causa severas pérdidas por lixiviación (Matthews, 1982). Sin embargo, existen tres desventajas principales relacionadas con la incorporación de fertilizantes en el sustrato: 1) resulta imposible controlar la concentración y balance de los nutrientes minerales en la solución del medio de crecimiento; 2) es difícil obtener una distribución uniforme de las partículas de fertilizante en el sustrato considerando el equipo comúnmente utilizado para la mezcla; y 3) la incorporación requiere de un mezclado extra del sustrato, con lo que puede resultar el rompimiento de las partículas y originar problemas de compactación (Matthews, 1982).

Con base en lo anterior, en este capítulo se evalúa la influencia de algunas mezclas de sustratos utilizando la fibra de coco y turba en combinación con diferentes rutinas de fertilización en el crecimiento y desarrollo de *Pinus patula* Schl. et Cham. en vivero.

Los objetivos específicos son: 1) analizar el efecto que tiene el suministro de fertilizantes en cada fase de crecimiento sobre variables morfológicas, 2) evaluar el efecto de diferentes mezclas de sustratos utilizando la turba como componente principal y sustituyendo con la fibra de coco y 3) las posibles interacciones entre rutinas de fertilización y mezclas de sustratos en la producción de *Pinus patula* en vivero.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1. Condiciones generales del estudio

El estudio se llevó a cabo en el vivero del Programa Forestal del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México. Geográficamente se encuentra ubicado en 19° 29' latitud norte y 98° 54' longitud oeste, a una altitud de 2240 m. El clima es del tipo C (Wo) (w) b (1) g' que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 750 mm y una temperatura media anual de 15.5° C, cuya oscilación térmica es de 5 a 7° C (García, 1973).

En México, muchos viveros de producción de planta en contenedor utilizan una mezcla de 40% de turba, 30% de vermiculita y 30% de perlita (PRONARE, 2003). A partir de esta mezcla se generaron los otros tratamientos en donde se reemplazó parcialmente la turba por la fibra de coco previamente lavada para eliminar el contenido de sales, en proporciones progresivas de 20%, de tal manera que la contribución de la turba y la fibra de coco en el sustrato siempre fue 40%. Los otros componentes del sustrato (vermiculita y perlita) permanecieron constantes en todos los tratamientos; como referencia se generó otro sustrato con 100% de fibra de coco (Cuadro 8).

Cuadro 8. Componentes de las mezclas de sustratos para la producción de *Pinus patula* en vivero.

Sustratos	Componentes (%)			
	Turba	Vermiculita	Perlita	Fibra de coco
1 [†]	40	30	30	0
2	20	30	30	20
3	0	30	30	40
4 ^f	0	0	0	100

^{†, f} = Sustratos control

Los contenedores usados en el estudio tienen un volumen de 137 cm³ y están elaborados de polipropileno estabilizador de rayos Ultra violeta (UV) con costillas internas y diámetro superior de 4.6 cm, diámetro inferior de 2.83 cm y 15.8 cm de largo. Las charolas porta contenedores que se usaron son de polipropileno con 30% de fibra de vidrio de 24 cavidades. La semilla se colectó de 10 árboles de fenotipo superior en 1984 en el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo. Antes de la siembra la semilla se remojó con agua oxigenada al 3% durante seis horas. La semilla que se sumergió en la solución de peróxido de hidrógeno fue la que se sembró.

La siembra se realizó el 26 de diciembre del 2005 y se depositaron de dos a tres semillas por cavidad. Las semillas empezaron a germinar a mediados del mes de Enero del 2006, a partir de esta fecha se inició la aplicación de fungicidas cada 15 días como: Tecto® en dosis de 2g/l de agua, Terrazan® a dosis de 1.5 g/l de agua, Captan® en dosis de 2g/l de agua, Ridomil® a dosis de 2g/l de agua y Mancoseb® en dosis de 2g/l de agua. Después de la siembra se dieron riegos cada tercer día. Al agua de riego se le aplicó ácido fosfórico (H₃PO₄) al 85% hasta obtener un pH de 5.5.

4.2.2. Establecimiento de rutinas de fertilización

Se utilizaron 12 rutinas de fertilización (Cuadro 9), a partir de las utilizadas comúnmente en las diferentes etapas de crecimiento de las plantas para la producción de planta forestal en contenedor mencionadas por Mullin y Hallett (1983). Estas rutinas incluyen 50 ppm de nitrógeno para la etapa de inicio, 100 ppm de nitrógeno para crecimiento rápido y 25 ppm de nitrógeno para la etapa de finalización. Las rutinas de fertilización utilizadas están estructuradas de la siguiente manera; las primeras 9 tienen una estructura factorial (3x3) en donde se evalúan dosis progresivas de los elementos durante la etapa de crecimiento rápido (50, 75 y 100 ppm N) y durante la etapa de finalización (25, 50 y 75 ppm N) y las tres rutinas restantes (RF10, RF11 y RF12) se utilizan como testigos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Dosis de fertilización de N-P-K en mg L⁻¹ aplicadas por etapa de crecimiento de las plantas.

Rutinas de fertilización	Inicio (7-40-17)*	Crecimiento rápido (20-7-19)	Finalización (4-25-35)
RF1	50:125:101	50: 8: 39	25: 68:181
RF2	50:125:101	75: 11: 59	25: 68:181
RF3	50:125:101	100: 15: 79	25: 68:181
RF4	50:125:101	50: 8: 39	50:136:363
RF5	50:125:101	75: 11: 59	50:136:363
RF6	50:125:101	100: 15: 79	50:136:363
RF7	50:125:101	50: 8: 39	75:204:544
RF8	50:125:101	75: 11: 59	75:204:544
RF9	50:125:101	100: 15: 79	75:204:544
RF10	Osmocote**	Osmocote	Osmocote
RF11	100: 15: 79	100: 15: 79	100: 15: 79
RF12	Sin fertilizar	Sin fertilizar	Sin fertilizar

*Fertilizante HUMMERT DE MÉXICO S.A. DE C.V.; **Osmocote dosis de 5 Kg m⁻³

A partir del 17 de Marzo del 2006 se estableció la fase de fertilización de inicio, aplicando el fertilizante comercial HUMMERT DE MÉXICO S.A. DE C.V. (7-40-17) en dosis de 50 mg L⁻¹ de nitrógeno, siendo esta fija para todos los tratamientos excepto la RF10, RF11 y RF12. El 18 de Abril de 2006 se inició con la fertilización de la fase de crecimiento rápido, aplicando las diferentes dosis establecidas en las rutinas. El 21 de Julio de 2006 se inició con la fertilización de la fase de finalización, aplicando las diferentes dosis establecidas en las rutinas de fertilización hasta el 22 de Septiembre de 2006. La rutina de fertilización se aplicó dos veces por semana.

Se utilizó un diseño de parcelas divididas con arreglo factorial 12 x 4, en 4 bloques aleatorizados. En las parcelas grandes se estableció las diferentes rutinas de fertilización y en las parcelas chicas las diferentes mezclas de sustratos. Cada

unidad experimental (parcela chica) estuvo representada por una charola de 16 tubetes de 137 cm³ cada una.

4.2.3. Variables medidas

Las plántulas de *Pinus patula* fueron evaluadas a los 8.5 de edad. Se tomaron datos de altura de la planta la cual se midió en centímetros, desde la base del tallo hasta la yema apical. El diámetro se midió en milímetros en la base del tallo, con un vernier digital. Para la evaluación de la biomasa se tuvieron que extraer las plántulas de los tubetes, eliminar el sustrato adherido y lavarlas. Las muestras se colocaron en bolsas de papel con sus respectivas identificaciones y se secaron en una estufa a 70° C hasta obtener un peso constante. Transcurrido ese periodo se pesó por separado la parte aérea y radical en una balanza analítica con precisión a miligramos.

El índice de esbeltez se calculó mediante el cociente de la altura entre el diámetro del tallo. Este índice es otra forma de referirse al cociente de robustez, llamado así porque a menores valores del índice las plantas son más robustas (Thompson, 1985). La relación parte aérea/raíz se estimó como el cociente entre el peso seco aéreo (g) y el peso seco radical (g). El índice de calidad de Dickson (ICD) resultó de integrar los valores de biomasa total, el índice de esbeltez y la relación parte aérea/raíz (Dickson *et al.*, 1960).

La eficiencia agronómica de los fertilizantes aplicados (N-P₂O₅-K₂O) se estimó en función a la metodología propuesta por Mengel y Kirby (1987):

$$\text{Eficiencia agronómica} = \frac{\text{Rendimiento del tratamiento fertilizado con N(P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O)} - \text{Rendimiento del tratamiento no fertilizado}}{\text{Cantidad de N(P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O) aplicado} \times \text{N(P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O)}}$$

4.2.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico de la información se realizó a través del paquete estadístico SAS versión 8.0 (SAS Instituto, 1999). Se realizaron análisis de varianza mediante el procedimiento PROC GLM utilizando los valores promedios por parcela chica. Se realizó una prueba de hipótesis para el factor relacionado con las parcelas grandes; además se realizaron análisis de contrastes de las rutinas de fertilización y mezclas. En las variables donde se detectaron diferencias significativas asociadas a alguno de los factores de interés se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey, con un valor de probabilidad de 0.05. El modelo utilizado para el análisis fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + BF_{ij} + M_k + FM_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor observado de la variable en la unidad experimental "ijk",

μ = Valor promedio de la variable en todo el ensayo,

B_i = Efecto del i-ésimo bloque en el ensayo,

F_j = Efecto de la j-ésima rutina de fertilización,

BF_{ij} = Error de la parcela grande (error a),

M_k = Efecto de la k-ésima mezcla de sustrato,

FM_{jk} = Efecto de interacción entre el j-ésima rutina de fertilización y la k-ésima mezcla de sustrato,

ε_{ijk} = Error experimental o de parcela pequeña

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. Efecto de las rutinas de fertilización sobre el crecimiento de las plantas

El análisis de varianza mostró que las rutinas de fertilización tuvieron un efecto significativo ($p < 0.01$) sobre todas las características de crecimiento, acumulación y distribución de biomasa e índices de calidad de plantas. El análisis de contrastes (C) detectó que hubo diferencias significativas en todas las variables, excepto en la altura (ALT) para los contrastes C_5 a C_{11} ; biomasa seca total (BST), biomasa seca aérea (BSA), biomasa seca de raíz (BSR) e índice de calidad de Dickson (ICD) en C_{10} y biomasa seca de raíz y relación parte aérea/raíz (RPAR) para C_{11} (Cuadro 10).

Crecimiento en altura y diámetro. Para el crecimiento en altura la prueba de Tukey mostró que no hubo diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos de fertilización aplicados durante la etapa de crecimiento rápido y finalización (RF1 a RF9) y la aplicación de 100 mg L^{-1} de nitrógeno de la fórmula comercial 20-7-19 desde el inicio de la fertilización hasta el final de ella (RF11). La adición del fertilizante de liberación lenta al sustrato (RF10) tuvo un valor de 16.47 cm. La RF12 (sin fertilización) como era de esperarse tuvo el menor valor 10.90 cm (Cuadro 11). Debido a lo anterior se recomienda la aplicación de la RF1 (con la menor dosis de nitrógeno aplicados al cultivo).

Cuadro 11. Valores promedios para variables de crecimiento, acumulación y distribución de biomasa e índice de calidad de planta en respuesta a doce rutinas de fertilización en el crecimiento inicial de *Pinus patula* en vivero.

RF*	ALT (cm)	DIAM (mm)	BST (g)	BSA (g)	BSR (g)	RPAR	IE	ICD
1	17.45ab [†]	2.88ab	2.27ab	1.65bc	0.61a	2.77c	6.14e	0.26ab
2	19.05a	2.89a	2.43ab	1.79ab	0.63a	2.95bc	6.63cde	0.25ab
3	19.59a	2.59cd	2.21bc	1.66b	0.54ab	3.24ab	7.66a	0.20bc
4	18.59ab	2.59cd	2.10bc	1.55bc	0.54ab	2.93bc	7.26abc	0.20bc
5	19.28a	2.60cd	2.23abc	1.67b	0.55ab	3.10abc	7.53ab	0.21bc
6	18.11ab	2.61bcd	2.07bc	1.57bc	0.50ab	3.44a	7.08abcd	0.20bc
7	19.05a	2.80abc	2.26ab	1.69b	0.54ab	3.25ab	6.87cd	0.22abc
8	18.42ab	2.80abc	2.10bc	1.58bc	0.51ab	3.16ab	6.61cde	0.21bc
9	19.40a	2.86abc	2.36ab	1.77ab	0.58ab	3.32a	6.81cd	0.23abc
10	16.47b	2.37d	1.72c	1.25c	0.46b	2.92bc	6.99cd	0.17c
11	19.00a	2.96a	2.75a	2.11a	0.63a	3.41a	6.42de	0.28a
12	10.90c	1.53e	0.70d	0.46d	0.27c	1.83d	7.23abc	0.09d

*RF= Rutina de fertilización; [†] Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En el caso del crecimiento en diámetro (DIAM), los valores promedios de las rutinas de fertilización RF1, RF2, RF7, RF8 y RF9 resultaron iguales en comparación con la RF11 y ésta última fue superior en 20% a la RF10. La RF12 presentó el menor valor promedio con 1.53 mm (Cuadro 11).

Cleary *et al.* (1978) señalan que las plantas con mayor diámetro indican mayor transporte de agua y nutrientes, y además tienen más posibilidades de sobrevivir, porque presentan una corteza con mayor aislamiento contra temperaturas extremas y proveen de más cantidad de sustancias de reservas, por lo cual se estresan menos.

Acumulación y distribución de biomasa. Para la variable biomasa seca total los valores promedio entre las RF1, RF2, RF5, RF7 y RF9 resultaron iguales en

comparación con la RF11. Ésta última produjo 37% más biomasa seca total que la RF10 y el menor valor (0.70 g) nuevamente se presentó en la RF12 (Cuadro 11).

En el caso de la acumulación de biomasa seca aérea de las plantas resultaron iguales los promedios entre las RF2, RF9 y RF11. Ésta última fue superior en 40% a la RF10. El menor valor (0.46 g) lo obtuvo la RF12 (Cuadro 11). Los bajos valores de biomasa seca aérea, reflejan una menor área foliar y capacidad para almacenar carbohidratos (Prieto *et al.*, 1999).

En la acumulación de biomasa seca de raíz los valores promedios de las rutinas de fertilización RF1 a RF9 resultaron iguales en comparación con la RF11. Esta última produjo 27% más biomasa seca de raíz que la RF10. El menor valor se presentó en la RF12 con 0.27 g (Cuadro 11).

En la relación parte aérea/raíz, la RF1 tuvo la menor RPAR (2.77) en comparación con la RF11 que tuvo una RPAR de 3.41. El menor valor se presentó en la RF12 con 1.83 (Cuadro 11). Una proporción mayor de tres incrementa las posibilidades de desequilibrio hídrico y pone en peligro la supervivencia (Capo, 2001).

Índices de calidad de las plantas. En el índice de esbeltez (IE) la RF1 obtuvo un valor de 6.14, y este es 5% menor a la RF11 y 12% menor a RF10 (Cuadro 11). Los valores más bajos indican una planta de poca altura y robusta, mientras que valores altos representan plantas con mucha altura y delgadas, así a medida que el valor aumenta la plántula es más esbelta (Thompson, 1985). En el índice de calidad de Dickson la RF11 fue mejor con un valor de 0.28 y esta media resultó igual que las RF1, RF2, RF7 y RF9 (Cuadro 11). En este índice los valores más altos representan plantas de mayor calidad, mejor balanceadas en sus dimensiones de la parte aérea y radical (Dickson *et al.*, 1960).

4.3.2. Efecto de la fibra de coco en el sustrato sobre el crecimiento de las plantas

El análisis de varianza efectuado mostró que la sustitución de la turba por fibra de coco tuvo un efecto significativo ($p < 0.01$) sobre todas las características de crecimiento, acumulación y distribución de biomasa e índices de calidad de las plantas. La interacción entre las rutinas de fertilización y mezclas de sustratos afectó de manera significativa ($p < 0.01$) todas las variables, con excepción de la biomasa seca aérea, el índice de esbeltez y el índice de calidad de Dickson (Cuadro 10).

Como se observa en el Cuadro 12, al final del estudio la altura promedio de las plantas varió de 17.5 a 20.1 cm (solo 2.6 cm de diferencia) entre los tratamientos de 100 % de fibra de coco y 40% de turba; el diámetro del tallo varió de 2.64 a 2.77 mm, la biomasa seca total de 2.12 a 2.22 g y la biomasa seca aérea de 1.48 a 1.73 g, respectivamente entre los mismos tratamientos. El sustrato con 100% de fibra de coco ocasionó el mayor valor (0.63 g) de biomasa seca de raíz y la menor relación parte aérea/raíz (2.42), proporcionando un balance más adecuado en el crecimiento de la planta.

A este respecto Sánchez (2006) al utilizar diferentes mezclas en la producción de *Pinus patula* en vivero encontró que el sustrato compuesto por 70% de corteza + 30% de turba, obtuvo la menor relación parte aérea/raíz con un valor de 2.92. Por otra parte, Haasey y Rose (1993) mencionan que para especies de coníferas la RPA/R óptima no debe sobrepasar un valor de 2.5, sobre todo si la planta se destina a lugares con problemas de disponibilidad de agua. Plantas con una relación mayor de 2.5 deberían establecerse en sitios que tengan condiciones ambientales favorables o donde exista la posibilidad de aplicar riegos durante la fase de establecimiento.

En el Cuadro 12 se observa que en el índice de esbeltez e índice de calidad de Dickson, el sustrato con 40% de turba obtuvo el mayor y menor valor (7.40 y 0.20), respectivamente. En el otro extremo, el medio de crecimiento con 100% fibra

de coco, ocasionó el menor índice de esbeltez (6.75) y el mayor índice de calidad de Dickson (0.23). Estos índices de calidad de planta proporcionarían mayores posibilidades de supervivencia y crecimiento en campo (Thompson, 1985).

Cuadro 12. Valores promedios de altura (ALT), diámetro (DIAM), biomasa seca total (BST), biomasa seca aérea (BSA), biomasa seca de raíz (BSR), relación parte aérea/raíz (RPAR), índice de esbeltez (IE) e índice de calidad de Dickson (ICD) en respuesta diferentes contenidos de fibra de coco y turba en el crecimiento inicial de *Pinus patula* en vivero.

Contenido de		ALT	DIAM	BST	BSA	BSR	RPAR	IE	ICD
Fibra de coco (%)	Turba (%)	(cm)	(mm)	(g)	(g)	(g)			
0	40	20.15a [†]	2.77a	2.22a	1.73a	0.48b	3.67a	7.40a	0.20b
20	20	18.76b	2.75ab	2.21a	1.66ab	0.54b	3.10b	6.93b	0.22ab
40	0	15.30d	2.34c	1.86b	1.37c	0.48b	2.93c	6.77b	0.20b
100	0	17.53c	2.64ab	2.12a	1.48bc	0.63a	2.42d	6.75b	0.23a

[†] Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

4.3.3. Interacción entre rutinas de fertilización y mezclas

La interacción del sustrato con las dosis de fertilización indica que en el caso de la altura, en el tratamiento sin fertilización (RF12) ésta se reduce al aumentar el contenido de fibra de coco, mientras que al utilizar las rutinas de fertilización (RF1 a RF11) el efecto de la fibra de coco es mucho menor (Figura 3a); un efecto similar ocurre con el crecimiento en diámetro (Figura 3b).

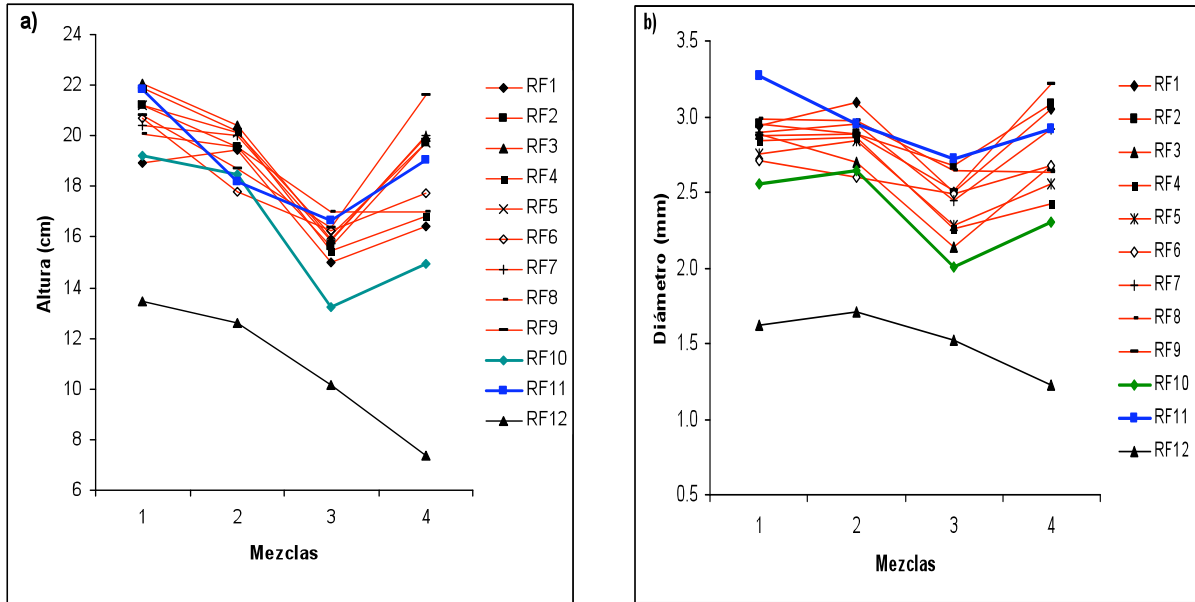


Figura 3. Interacción entre rutinas de fertilización y mezclas de sustratos para la variable altura y diámetro en el crecimiento inicial de *Pinus patula* en vivero.

Para la variable biomasa seca total en las plantas fertilizadas (RF1 a RF11) no hay un efecto notorio de la fibra de coco en el sustrato, mientras que en las plantas no fertilizadas (RF12) la acumulación de biomasa seca total de las plantas disminuye al aumentar el contenido de fibra de coco, especialmente en el sustrato con 100% de fibra de coco (Figura 4).

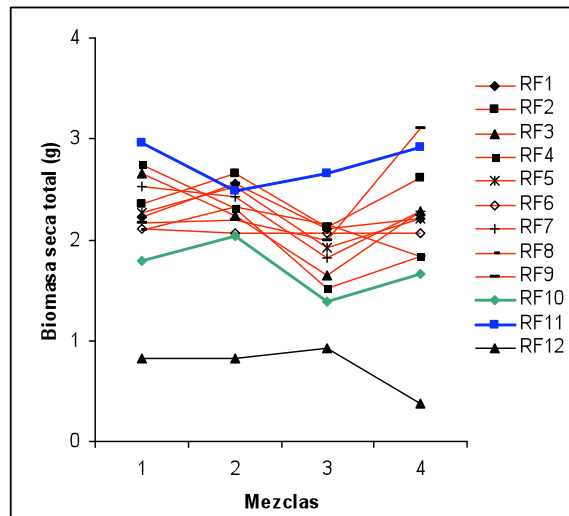


Figura 4. Interacción entre rutinas de fertilización y mezclas de sustratos para la variable biomasa seca total en el crecimiento inicial de *Pinus patula* en vivero.

Para la biomasa seca de raíz, en plantas fertilizadas (RF1 a RF11) al aumentar el contenido de 40 a 100% de fibra de coco en la mezcla, aumenta la biomasa seca de raíz; en plantas no fertilizadas (RF12) hay un efecto negativo con 100% de contenido de fibra de coco en el sustrato (Figura 5).

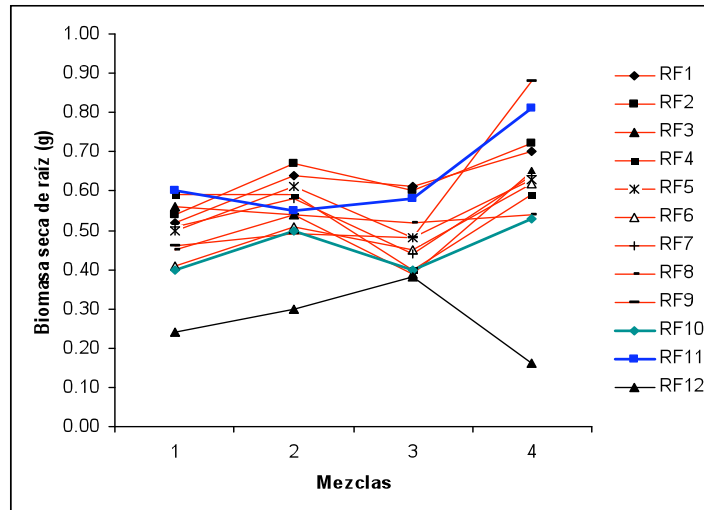


Figura 5. Interacción entre rutinas de fertilización y mezclas de sustratos para la variable biomasa seca de raíz en el crecimiento inicial de *Pinus patula* en vivero.

Para la variable relación parte aérea/raíz, en las plantas fertilizadas (RF1 a RF11) disminuye esta variable al aumentar el contenido de fibra de coco (mezcla 4); en plantas no fertilizada (RF 12) ocurre lo mismo (Figura 6).

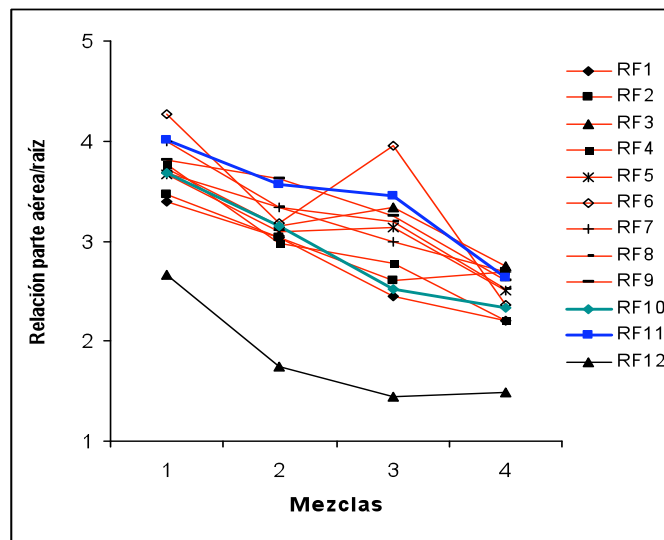


Figura 6. Interacción entre rutinas de fertilización y mezclas de sustratos para la variable relación parte aérea/raíz en el crecimiento inicial de *Pinus patula* en vivero.

4.3.4. Eficiencia agronómica

Los valores más altos de eficiencia agronómica (NPK) con la menor dosis de nutrimentos (RF1 y RF2) aplicados se presentaron en la mezcla que incluyó 100% de fibra de coco (Cuadro 13). Sin embargo, el valor absoluto más alto para esta misma mezcla se presentó en la RF11 que incluye la mayor dosis de nutrimentos aplicados.

Cuadro 13. Eficiencia agronómica de rutinas de fertilización y mezclas aplicados a plántulas de *Pinus patula* producidas en vivero.

RF	Tratamientos		Dosis de nutrimentos aplicados			Materia seca total	Eficiencia agronómica
	Fibra de coco (%)	Turba (%)	N(g)	P (g)	K (g)	(g)	NPK
1	0	40	2.40	2.30	4.90	2.22	0.14
2	0	40	3.20	2.44	5.59	2.36	0.13
3	0	40	4.00	2.56	6.23	2.66	0.14
4	0	40	2.80	3.43	7.86	2.75	0.13
5	0	40	3.60	3.52	8.50	2.26	0.09
6	0	40	4.40	3.65	9.14	2.11	0.07
7	0	40	3.20	4.52	10.76	2.52	0.09
8	0	40	4.00	4.61	11.40	2.09	0.06
9	0	40	4.80	4.74	12.04	2.17	0.06
10	0	40	5.60	1.45	3.69	1.79	0.09
11	0	40	5.60	0.84	4.42	2.96	0.19
12	0	40	0.00	0.00	0.00	0.82	-
1	20	20	2.40	2.30	4.90	2.55	0.18
2	20	20	3.20	2.44	5.59	2.65	0.16
3	20	20	4.00	2.56	6.23	2.24	0.11
4	20	20	2.80	3.43	7.86	2.31	0.10
5	20	20	3.60	3.52	8.50	2.53	0.11
6	20	20	4.40	3.65	9.14	2.06	0.07
7	20	20	3.20	4.52	10.76	2.42	0.08
8	20	20	4.00	4.61	11.40	2.33	0.07
9	20	20	4.80	4.74	12.04	2.19	0.06
10	20	20	5.60	1.45	3.69	2.03	0.11
11	20	20	5.60	0.84	4.42	2.49	0.15
12	20	20	0.00	0.00	0.00	0.82	-

Continuación

Tratamientos			Dosis de nutrimentos aplicados			Materia seca total	Eficiencia agronómica
RF	Fibra de coco (%)	Turba (%)	N(g)	P (g)	K (g)	(g)	NPK
1	40	0	2.40	2.30	4.90	2.11	0.12
2	40	0	3.20	2.44	5.59	2.12	0.13
3	40	0	4.00	2.56	6.23	1.65	0.05
4	40	0	2.80	3.43	7.86	1.52	0.04
5	40	0	3.60	3.52	8.50	1.92	0.06
6	40	0	4.40	3.65	9.14	2.07	0.06
7	40	0	3.20	4.52	10.76	1.82	0.04
8	40	0	4.00	4.61	11.40	2.15	0.06
9	40	0	4.80	4.74	12.04	1.99	0.04
10	40	0	5.60	1.45	3.69	1.39	0.04
11	40	0	5.60	0.84	4.42	2.66	0.16
12	40	0	0.00	0.00	0.00	0.93	-
1	100	0	2.40	2.30	4.90	2.21	0.19
2	100	0	3.20	2.44	5.59	2.61	0.19
3	100	0	4.00	2.56	6.23	2.28	0.14
4	100	0	2.80	3.43	7.86	1.84	0.10
5	100	0	3.60	3.52	8.50	2.21	0.11
6	100	0	4.40	3.65	9.14	2.06	0.09
7	100	0	3.20	4.52	10.76	2.28	0.10
8	100	0	4.00	4.61	11.40	1.84	0.07
9	100	0	4.80	4.74	12.04	3.10	0.12
10	100	0	5.60	1.45	3.69	1.66	0.11
11	100	0	5.60	0.84	4.42	2.91	0.23
12	100	0	0.00	0.00	0.00	0.38	-

4.4. CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación mostraron que las rutinas de fertilización y las mezclas de sustrato afectaron de manera significativa ($p < 0.01$) el crecimiento, acumulación y distribución de biomasa y los índices de calidad de planta.

La utilización de diferentes dosis de las formulaciones de fertilizantes aplicadas para las etapas inicio, crecimiento y finalización de las plantas, ocasionaron en promedio una menor respuesta en diámetro, biomasa seca total, biomasa seca aérea, que la aplicación de 100 mg L^{-1} de nitrógeno de la fórmula comercial 20-7-19 desde el inicio de la fertilización hasta el final de ella (RF11). Esta rutina de fertilización homogénea durante todo el periodo de cultivo de las plantas produjo los mejores valores de respuesta en las variables de crecimiento, acumulación de biomasa e índices de calidad, estos valores de respuesta fueron ocasionados con la mayor dosis de nitrógeno aplicada a las plantas, lo cual repercute en los costos de producción. La RF1 con la menor dosis de nutrientes aplicados al cultivo produjo la menor relación parte aérea/raíz de todos los tratamientos de fertilización.

La incorporación de fertilizante de liberación lenta al sustrato (RF10) con los componentes evaluados produjo los menores valores promedios en todas las variables incluidas en el estudio en comparación con los esquemas de fertilización en el agua de riego. Debido a lo anterior, es importante tomar en cuenta estos resultados para futuras evaluaciones.

El contenido de fibra de coco en el sustrato tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$). El medio de crecimiento con 100% de fibra de coco obtuvo 1.48 g de biomasa seca aérea y el mayor valor (0.63 g) de biomasa seca de raíz, ocasionando la menor relación parte aérea/raíz, dando como resultado un mejor balance en el crecimiento de la planta.

La interacción de las rutinas de fertilización y composición del sustrato (contenido de fibra de coco) tuvo un efecto significativo sobre el crecimiento y acumulación de biomasa, en *Pinus patula*. El efecto más notorio de esta interacción es que en las plantas no fertilizadas la adición de fibra de coco tuvo un efecto detrimental sobre el crecimiento de las plantas, mientras que en las plantas fertilizadas el efecto de la fibra de coco fue menor o incluso positivo.

De acuerdo con estos resultados y considerando que el costo de la fibra de coco (material nacional) es aproximadamente 70% menor que el costo de la turba (material de importación) se recomienda emplear la fibra de coco como medio de crecimiento para la producción de *Pinus patula* en vivero y la aplicación de 50 mg L⁻¹ de nitrógeno para la etapa de inicio y crecimiento rápido, y 25 mg L⁻¹ para la etapa de finalización.

CAPÍTULO 5

LITERATURA CITADA

Abad, M. 1991. Los sustratos hortícolas y las técnicas de cultivo sin suelo. *In: La Horticultura Española en la C.E. Rallo, L. y F. Nuez (eds.) de Horticultura S.L., Reus. Madrid, España. pp: 270-280.*

Abad, M., P.F. Martínez, M.D. Martínez y J. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura 11: 141-154.*

Abad, M. 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. *In: Nuez, F. (ed.). El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 131-265.*

Abad, M., P. Noguera, y V. Noguera. 1996. Turbas para semillero. *In: II Jornadas sobre Semillas y Semilleros Hortícolas. Congresos y Jornadas, 35/96. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla, España. pp: 79-101.*

Aldhous, J. R. 1972. Nursery practice. Her Majesty's Stationery Office. London. For. Com. Bull. 43. 184 p.

Ansorena, M. J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 380 p.

Arias S., E. 1998. Sustratos para la producción de plántulas de lechuga "Great Lakes 407" bajo invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 89 p.

- ASCE (American Society of Civil Engineers). 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. (Ed.) Tanji, K. K. ASCE Manuals and Reports on Engineering. Practice No. 71. ASCE, New York, N. Y. 619 p.
- Awang, Y., and I. M. Razi. 1997. The growth and flowering of some anual ornamentals on coconut dust. *Acta Horticulturae* 450: 31-37.
- Azamar O., M. 2000. El mejoramiento genético forestal "Una realidad en los bosques del Estado de México" . *Forestal XXI* 3(4): 18-19.
- Baker, K. F. 1985. Development of nursery techniques. *International Plant Propators Society Combined Proceedings* 34: 152-164.
- Barnett, J. P., and J. C. Brissette. 1986. Producing southern pine seedlings in containers. *Gen Tech. Rep SO-59*. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station. New Orleans. 71 p.
- Beardsell, D. V., D. G. Nichols, and D. L. Jones. 1979. Physical properties of nursery potting-mixtures. *Scientia Horticulturae* 11: 1-8.
- Bethke, C. L. 1986. Systematic approach solves grower problems. *Greenhouse Manager* 4(11): 171-177.
- Bhatnagar, H. P. and K. K. Talwar. 1979. Effect of macroelement deficiencies on growth and tracheid characters of *Pinus caribae* seedlings. *J. For* 2(2): 171-180.
- Birchler, T., A. Rose, y M. Pardos. 1998. La planta ideal: revisión del concepto, parámetro definitorios e implementación práctica. *Invest. Agr. Sist. Recur. For.* 7(1 y 2): 110-121.

- Bluhm, W. L. 1978. Peat, pest, and propagation. International Plant Propagators Society Combined Proceedings 28: 66-70.
- Borgo, G. 2000. El pino patula en la Región de Sabie, NE de la República de Sudáfrica. Forestal XXI 3(4): 20-21.
- Boule, H. y Fricker, C. 1970. The fertilizers treatment of forest trees. Traslated by C. L. Whittles, F. I. boil., BVÑ. Verlagsge Sellschaft Munchend, Germany. 259 p.
- Bragg, N. C. and B. J. Chambers. 1988. Interpretation and advisory applications of air-filled porosity (AFP) measurements. Acta Horticulturae 221: 35-44.
- Brix, H. and van den Driessche, R. 1974. Mineral nutrition of container-grow tree seedlings. *In*: Tinus, R.W. Stein, W.I. Balmer, W.E. eds. Proceedings of the North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium; 1974 August 26-29; Denver, CO. Great Plains Agricultural Council Publ. 68. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. pp: 77-83.
- Bugbee, G. J., and C. R. Frink. 1986. Aeration of potting media and plant growth. Soil Science 141(6): 438-441.
- Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container grow plants. Unwin Hyman Ltd, London. 25 p.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. S.S.L. Madrid, España. 342 p.
- Cabrera R, I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Rev. Chapingo S. Hortic. 5(1): 5-11.

- Cadahía L., C., E. Eymar A., J.J. Lucena M., T. Montalvo L., M. L. Segura P., M. Abad B., N. Castilla. P., D. López V. y P. Noguera M. 2000. Fertilización. Cultivos hortícolas y ornamentales. 2ª Ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 475 p.
- Capó A., M.A. 2001. Establecimiento de Plantaciones Forestales: Los Ingredientes del Éxito. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento Forestal. Dirección de Investigación. pp: 91-101.
- Carlson, L. W. 1983. Guidelines for rearing containerized conifer seedlings in the Prairie Provinces. Inf. Rep. NOR-X-214E. Edmonton, AB: Canadian Forestry Service, Northern Forest Research Centre. 64 p.
- Carlson, W. C. 1986. Root system considerations in the quality of loblolly pine seedlings. South. J. Appl. For. 10: 87-92.
- Castaños M., J.L. 1962. Evaluación de la calidad de estación de *Pinus patula* en el Norte de Oaxaca. Bol. Téc. No. 2. SARH-INIF. México, D.F. 17 p.
- Chong, C., R. A. Cline, and D. L. Rinker. 1994. Bark and peat-amended spent mushroom compost for containerized culture of shrubs. HortScience 29(7): 781-784.
- Cleary, B.D., R.D. Greaves, and R.K. Hermann. 1978. Regenerating Oregon's Forests. A Guide for Regeneration Forest. Oregon State University, School of Forestry. Oregon, USA. 242 p.
- De Boodt, M. and O. Verdonck . 1972. The physical properties of substrates in horticulture. Acta Horticulture 26:337-344.

- De Boodt, M., O. Verdonck and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37:2054-2062.
- Dixon, R.K., G.T. Behms, H.E. Garret, G.S. Cox, and I.L. Sander. 1985. Synthesis of ectomicorrhizae on container grown oak seedlings. *South. J. Appl. For.* pp: 95-99.
- Dickson, A., A.L. Leaf and J.F. Hosner. 1960. Seedling quality-soil fertility relationships of White Spruce and Red and White Pine in nurseries. *For. Chron.* 36: 237-241.
- Domínguez L., S., I. Carrasco M., N. Herrero S., L. Ocaña B., J. L. Nicolás P. y J. L. Peñuelas R. 2000. Las características de los contenedores influyen en la supervivencia y crecimiento de las plantas de *Pinus pinea* en campo. 1er Simposio Sobre el Pino Piñonero. Valladolid, España. 1: 203-209.
- Duryea, M.L. and T.D. Landis. 1984. Nursery Cultural: Impacts on Seedling Quality. *In: Forest Nursery Manual: Production of Barerrot Seedlings.* Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Oregon. USA. pp: 143-164.
- Duryea, M. L. 1985. Evaluating Seedling Quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis. Oregon. USA. pp: 1-4.
- Duryea, M.L. and P. Dougherty. 1991. *Forest Regeneration Manual.* Kluwer Academic Publishers, Or. USA. 385 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köeppen 2ª. Ed. Instituto de Geografía. UNAM. México. D.F. pp: 39-40.

- García M., J. J. 1985. Efecto de la fertilización química sobre el desarrollo de *Pinus douglasiana* en vivero. *In: Memoria de la Tercera Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales*. SARH, INIF. México. pp: 47-48.
- García C., O. 1999. Materiales orgánicos como sustratos para la producción de *Epipremnum aereum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en macetas. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialidad en Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 92 p.
- Gingrich, D. 1984. Enrich media through well planned fertilizer program. *Greenhouse Manager* 3(5): 130-143.
- Goh, M.K. and J. Haynes. 1977. Evaluation of potting media for commercial nursery production of container grown plants. *New Zeland J. of Agri. Res.* 20: 363-370.
- Gladon, D. 1988. Amendments and media. *Container grower: news and notes*. Fall 1988. Ames, IA: Iowa State University of Science and Technology, Department of Forestry. 10 p.
- Glen, M. L. 1991. Anáhuac Nursery Report for Ponderosa Industrial. México. 64 p.
- Gómez V., J. 1996. Sanidad fúngica de los semilleros. En II Jornadas sobre semillas y semilleros hortícolas. Junta de Andalucía. 1996. Colección: Congresos y Jornadas. 36/96. pp: 195-208.
- Hahn, P.F. 1978. Nutrients requirements of containerized nursery stock. *In: Gustafson, R. W. (ed.). Proceedings of the Western Forest Nursery Council and Intermountain Nurseryman's Association Meeting; 1978 August. 7-11; Eureka, CA. San Francisco: USDA. Forest Service, State and Private Forestry. pp: 7-15.*

- Handreck, K. A. and N. D. Black. .1984. Growing media for ornamental plants and turf. New South Walles University Press. Australia. 401 p.
- Haasey, L. D. and R. Rose. 1993. Soil moisture stress induces transplant shock in stored and unstored 2+0 Douglas fir seedlings of varying rot volumes. For. Sci. 39: 275-294.
- Havis, J.R., and W.W. Hamilton. 1976. Physical properties of container media. Journal of Arboriculture 2(7): 139-140.
- Husted, L. D. 1988. Douglas-fir dieback. *In*: Landis, T.D. (tech coord). Proceedings Combined Meeting of the Western Forest Nursey Associations: 1988 August 8-11; Vernon, BC. Gen Tech. Rep. RM-167. USDA Forest Service, Rocky Mount in Forest and Range Experiment Station. Ft. Collins, CO. pp: 161-163.
- Iglesias G., L. 1987. Dosis y frecuencias de fertilización en *Pinus radiata*. *In*: Avances de la Investigación Forestal en el Estado de Chihuahua. SARH-INIFAP. México. 110 p.
- Ingestad, T. 1979. Mineral nutrients requeriments of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiol. Plantarum* 45:373-380.
- Ishikawa, C. M. and C. S. Bledsoe. 2000. Seasonal and diurnal patterns of soil water potential in the rizosphere of blue oaks: evidence for hydraulic lift. *Oecologia* 125(4): 459-465.
- James, B. L. 1987. Propagation media: what a grower needs to know. Combined Proceedings, International Plant Propagators Society Meeting 36:396-399.

- Jarvis, R. W. 1997. Managing disease in greenhouse crops. APS press, Minnesota, USA. pp: 19-189.
- Johnson, P. 1968. Horticultural and agricultural uses of sawdust and soil amendments. National City, CA: Paul Johnson. 46 p.
- Johnson, J.D. and M.L. Cline. 1991. Seedling quality of southern pines. *In*: Duryea M.L. and P. M. Dougherty (eds.). Forest Regeneration Manual. Kluwer Academic Publishers. pp: 143-159.
- Jones, Jr. J. 1983. A guide for the hydroponic and soilless culture grower. Timber Press. Portland, OR. 124 p.
- Krasowski, M. J. and J. N. Owens. 2000. Morphological and physiological attributes of root systems and seedling growth in three different *Picea glauca* reforestation stock. Can. J. For. Res. 30: 1669-1681.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. Mc Donald, and J. P. Barnett. 1989. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 4. Seedling nutrition and irrigation. Agric. Handbook 674. USDA, Forest Service. Washington, DC. 119 p.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. Mc Donald, and J. P. Barnett. 1990. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 2. Containers and growing media. Agric. Handbook 674. USDA, Forest Service. Washington, DC. 88 p.
- Lemaire, F., A. Dartigues, L. Riviere, and S. Charpentier. 1989. Culture en Pots et Conteneurs. INRA – PHM Revue Horticole. Paris-Limoges. 184 p.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. 2nd. Ed. Vol. 1. Chilling, Freezing and High Temperature Stresses. Academic Press. New York. 477 p.

- Mastalerz, J. W. 1977. The greenhouse environment. John Wiley and Sons. New York. 629 p.
- Matkin, O. A., and P. A. Chandler 1957. The U.C.-Type soil mixes. *In*: Baker, K. F. (ed.). The U.C. System for producing healthy container-grown plants. Ext. Ser. Man. 23. Parramatta, Australian Nurserymen's Association [First printed by the University of California, Division of Agricultural Sciences, California Agricultural Experiment Station]. pp: 68-85.
- Matthews, R. G. 1982. Contrasting approaches to containerized seedling production: 1. British Columbia *In*: Scarratt, J. B., C. Glerum, Plexman, C.A. (eds.). Proceedings of the Canadian Containerized Tree Seedling Symposium; 1981 September 14-16; Toronto, ON. COJRC Symposium Proceedings O-P-10 Sault Ste. Marie, ON: Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre. pp: 115-122.
- Mengel, K. and E. A. Kirby. 1987. Principles of plant nutrition. Int. Potash. Inst., Worblaufen-Bern, Switzerland. 249 p.
- Mexal, J. 1997. Forest nursery activities in México. *In*: National Proceeding, Forest and Conservation Nursery Association. Landis, T. D. and D. B. South (Coord.). Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-389. Portland. OR. USDA. Forest Service Pacific North west Research Station. pp: 228-232.
- Milks, R. R., W. C. Fontero, and R. A. Larson. 1989. Hydrology of horticultural substrate; II. Predicting physical properties of media in container. Journal of the American Society for Horticultural Science 114 (1): 53-56.
- Monroy, R. C. y H. Trinidad. 1993. Plantaciones comerciales a turnos cortos de *Pinus patula* en el Noroeste de Veracruz. Folleto Téc. No. 22. SARH/CIRGOC-INIFAP. Veracruz, México. 24 p.

- Monroy R., C.R. 1995. *Pinus patula* Schl. et Cham. en México. Folleto Téc. No. 29. División Forestal. INIFAP. Campo Experimental Ixtacuaco, Tlapacoyan, Veracruz, México. 145 p.
- Morrison, I.K. 1974. Mineral nutrition of conifers with special referente to nutrient status interpretation: a review of literatura. Publ. 1343. Ottawa: Department of the Environment, Canadian Forestry Service. 73 p.
- Mullin, T. J. and R.D. Hallett. 1983. Fertilization of containerized tree seedlings by the replacement method. Tech. Note 93. Canadian Forestry Service, Maritimes Forest Research Centre Fredericton, NB. 8 p.
- Nappi, P. 1993. Compost as growing medium: chemical. physical and biological aspects. Acta Horticulturae 342: 249-256.
- Nelson, W. R. 1978. Greenhouse operation and management. Prentice-Hall, Inc. Reston, VA. USA. 518 p.
- Niemiera, A. X., T. E. Bilder and C. E. Leda. 1994. Pine bark physical characteristics influence pour through nitrogen concentrations. HortScience 29(7): 789-791.
- Nienstaedt, H. 1981. "Super" spruce seedlings continue superior growth for 18 years. U.S.D.A. Forest Serv. North Central Forest Exp. Sta. St Paul, Minn. Res. Note NC-265. 4 p.
- Oliet, J., M. L. Segura, F. Martín D., E. Blanco, R. Serrada, M. López A. y F. Artero. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada aplicados a la producción de planta forestal en vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. Investigación Agraria: Sistemas Recursos Forestales 8 (2): 335-359.

- Peñuelas R., J.L. y B.L. Ocaña. 1996. Cultivo de Plantas Forestales en Contenedor. 2ª Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 190 p.
- Perry Jr., J. P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon, USA. 231 p.
- Prasad, M. 1997. Physical chemical and biological properties of coir dust. Acta Horticulturae 450: 21-29.
- Prieto R., J.A., G. Vera C. y E. Merlin B. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico No. 12. Campo Experimental Valle de Guadiana. INIFAP. Durango. México. 23 p.
- Prieto R., J., C.P. Dominguez, O.E. Cornejo, J. Návar CH., J. Jiménez P. y J. Marmolejo M. 2003. Efecto de la fertilización en la producción de planta de *Pinus engelmannii* en vivero, Rev. Ciencias Forestal. México. Vol. 27. Núm. 92. pp: 80-94.
- PRONARE, 2003. Comisión Nacional Forestal.
http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/index.html
- Puustjarvi, V. R., and R. A. Robertson. 1975. Physical and chemical properties. *In*: Peat in horticulture. London Academic Press. 170 p
- Quiñones, P. R. 1995. Influencia del sustrato y fertilización en el crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* bajo condiciones de vivero. Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 82 p.

- Rasanen, P.K. 1982. Containerized forest tree seedling production and development prospects in Finland and Scandinavia. *In*: Scarratt, J.B., C. Glerum, C.A. Plexman, (eds.). Proceedings, Canadian Containerized Tree Seedling symposium; 19881 September 14-16; Toronto, ON. COJFRC Symp. Proc. O-P-10. Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre. Sault Ste. Marie, ON. pp: 9-17.
- Raviv, M., Y. Chen., and Y. Inbar. 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container grown plants. *In*: the role of organic matter in modern agriculture. By Chen Y., Avnimelech, Y. Dordrecht (eds.). Martinus Nijhoff Publishers, Netherlands. pp: 257-287.
- Rebolledo C., V. 1995. Evaluación en vivero de la progenie de un área semillera de *Pinus patula* Schl. et Cham., localizada en el ejido Ingenio El Rosario, Municipio de Xico, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Veracruz, Ver. 60 p.
- Reese, K.H. 1974. The Ontario Tube. *In*: Tinus, R.W., W.I. Stein, and W.E. Balmer. Proceedings, North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium; 1974 August 26-29; Great Plains Agricultural Council. Denver, CO. Publ. 68. pp: 211-213.
- Reis, M. 1995. Evaluation of composted pine bark and carob pods as components for horticultural substrates. *Acta Horticulturae* 401: 243-249.
- Ritchie, G. A. 1984. Assesing seedling quality *In*: Duryea M.L. y T. Landis eds. Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. pp: 243-259.

- Ritchie, G.A. and Y. Tanaka. 1990. Root growth potential and the target seedling. *In: Rose R., S.J. Campbell y T. D. Landis (eds.). Target Seedling Symposium: Prodedings, Combineed Meeting of the Western Forest Nursery Associations. General Technical Report RM-200. pp: 37-51.*
- Rowan, S.J. 1986. Seedbed density effects performance of slash and lobolly pine in Georgia. *In: South, D.B, (ed.). International Symposium on Nursery management practices for the Southern pines. Alabama Agric. Exp. Sta., Auburn Univ., Auburn, Alabama. pp: 126-135.*
- Russell, J. F. y W. Russell. 1967. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Ed. Rev. La Habana, Cuba. pp: 308-342.
- Sáenz R., C. 1991. Control genético de algunas características de progenies de medios hermanos de *Pinus patula* Schiede y Deppe. procedentes de Sudáfrica y probadas en Veracruz, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 67 p.
- Sánchez C., T. 2006. Caracterización de sustratos y su influencia en la producción de plántulas de *Pinus patula* SCHL. et CHAM. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa Forestal. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 80 p.
- Sanderson, K. 1987. Selecting the right fertilizers for container grow woody ornamentals. *American Nurseryman* 165(1): 160-181.
- Sandoval M., C., V.M. Cetina A., R. Yeaton, y L. Mohedano C. 2000. Sustratos y polímeros en la producción de planta de *Pinus cembroides* Zucc. bajo condiciones de invernadero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 6(2): 143-150.

- SAS Institute. 1999. SAS User's Guide, version 8.0 SAS Institute Inc., Cary, N. C. 595 p.
- Scarratt, J.B. 1986. An evaluation of some commercial soluble fertilizer for culture of jack pine container stock. Inf. Rep. O-X377. Sault Ste. Marie, ON: Canadian Forestry Service. Great Lakes Forestry Centre. 21 p.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1996. Plan sectorial forestal del estado de Veracruz (1996-2034) documento extenso. Veracruz, México. 159 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional Forestal. 2003. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. México. D.F. 50 p.
- Sinclair, W. A., D.P. Cowles and S.M. Hee. 1975. Fusarium root rot of *douglas fir* seedlings suppression by soil fumigation, fertility management, and inoculation with spores of the fungal symbiont *Laccaria laccata*. For. Sci. 21: 390-399.
- Steiner, A. A. 1980. The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. In: Hurd, R. G. P. Adams, D.M. Massey, and D. Price, (eds.). Symposium on research on recirculating water culture. Acta Horticulturae 98: 37-97.
- Shepard, R. K. 1982. Response to fertilization of a white pine (*Pinus strobus*) plantation year betkel. CFRV. Progress Report. School of Forestry Resources, University of Maine No. 20. 21 p.
- Tello, J. C. 1991. Enfermedades criptogámicas en hortalizas. Phytoma España 31: 43-50.

- Timmer, V. R. and W.J. Parton. 1982. Monitoring nutrient status of containerized seedlings. *In: proceedings, Ontario Ministry of Natural Resources Nurseryman's Meeting; 1982 June; Thunder Bay, ON. Toronto: Ontario ministry of Natural resources: 48-58.*
- Timmer, V. R. and G. Armstrong. 1987. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings: comparative plant analyses. *Soil Science Society of America Journal 51: 1082-1086.*
- Tinus, R.W. and S.E. McDonald. 1979. How to grow tree seedlings in containers in greenhouse. General Technical Report RM-60. USDA Forest Service. Ft. Collins, CO. 256 p.
- Thompson, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation: what you can tell by looking. *In: Duryea, M.L. (ed.). Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of mayor tests. For. Res. Lab., Oregon State University, Corvallis, Oregon, U.S.A. pp: 59-71.*
- Trinidad, H. A. y C.R. Monroy. 1992. *Pinus patula* Schl. et Cham. Productor de madera dimensionada, noreste de Veracruz. Folleto Téc. No. 4. SARH/CIRGOC-INIFAP. Veracruz, Ver. 32 p.
- Vela G., L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula* Schl. et Cham. Publicación Especial No. 19. INIF/SARH. México, D.F. 109 p.
- Walter, J. 1974. Engineering for injection planning. *In: Tinus, R.W., W.I. Stein, and W.E. Balmer, (eds.). Proceedings, North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium; 1974 August 26-29; Great Plains Agricultural Council. Denver, CO. Publ. 68. pp: 241-243.*

Warncke, D. D. and D.M. Krauskopf. 1983. Greenhouse growth media: testing & nutrition guidelines. Cooperative Extension Service. Extension Bulletin E- 1736. Michigan State University. 6 p.

Wenny, D.L., Y. Liu., R.K. Dumroese, and H.L. Osborne. 1988. First year field growth of chemically root pruned containerized seedlings. *New Forest* 2(2): 111-118.

Whitcomb, C. 1988. Plant production in containers. Stillwater, OK: Lacebark Publications. 633 p.

Wormald, P. J. 1975. *Pinus patula*. Tropical Forestry No. 7. Tropical Forestry Institute. Commonwealth Forestry Institute. Oxford, England. 172 p.

Zamora B., P. 2005. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 85 p.

Cuadro 10. Análisis de varianza para las variables de crecimiento altura (ALT) diámetro (DIAM), biomasa seca total (BST), biomasa seca aérea (BSA), biomasa seca de raíz (BSR), relación parte aérea/raíz (RPAR), índice de esbeltez (IE) e índice de calidad de Dickson (ICD) en respuesta a 12 rutinas de fertilización y cuatro mezclas de sustratos

Factor de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio y significancia									
		ALT	DIAM	BST	BSA	BSR	RPAR	IE	ICD		
Bloque (B)	3	17.75	0.32	1.45	0.75	0.12	0.60	1.82	0.02		
Rutina de fertilización (RF)	11	91.23*	2.39**	3.91**	2.56**	0.15**	2.97**	3.20**	0.03**		
Contrastes											
C ₁ RF1 A RF9 vs RF10	1	75.90**	1.92**	3.72**	2.37**	0.14**	0.63**	0.01ns	0.03**		
C ₂ RF1 A RF9 vs RF11	1	0.37ns	0.72**	3.99**	2.97**	0.08**	1.15**	4.07**	0.04**		
C ₃ RF10 vs RF11	1	48.32**	2.78**	8.57**	5.92**	0.24**	1.94**	2.58**	0.08**		
C ₄ RF1, RF4, RF7 vs RF11	1	3.93ns	0.50**	3.52**	2.82**	0.05*	2.21**	1.34*	0.02**		
C ₅ RF2, RF5, RF8 vs RF11	1	0.01ns	0.45**	2.98**	2.25**	0.05*	1.37**	3.02**	0.03**		
C ₆ RF3, RF6, RF9 vs RF11	1	0.11ns	0.90**	3.48**	2.37**	0.10**	0.07ns	6.90**	0.05**		
C ₇ RF1, RF2, RF3 vs RF11	1	0.65ns	0.34**	2.41**	2.04**	0.01ns	2.18**	1.82**	0.01**		
C ₈ RF4, RF5, RF6 vs RF11	1	0.90ns	1.75**	4.58**	3.21**	0.12**	0.80**	8.99**	0.05**		
C ₉ RF7, RF8, RF9 vs RF11	1	0.01ns	0.23*	3.15**	2.25**	0.09**	0.31ns	1.38*	0.03**		
C ₁₀ RF2, RF5, RF8 vs RF3, RF6, RF9	1	0.27ns	0.15ns	0.03ns	0.01ns	0.02ns	1.60**	1.58*	0.00ns		
C ₁₁ RF4, RF5 RF6 vs RF7, RF8, RF9	1	2.00ns	1.75**	0.26ns	0.16ns	0.01ns	0.21ns	6.64**	0.00ns		
BxRF (error a)	33	7.11	0.08	0.20	0.12	0.01	0.15	0.76	0.00		
Mezcla (M)	3	202..80**	1.85**	1.40**	1.36**	0.22**	12.95**	5.19**	0.01**		
Contrastes											
C ₁ M1 vs M2+M3	1	312.61**	1.61**	1.14**	1.54**	0.02ns	13.90**	11.63**	0.00ns		
C ₂ M1 vs M4	1	165.65**	0.43**	0.29ns	1.56**	0.47**	38.05**	10.18**	0.01**		
C ₃ M1+M2+M3 vs M4	1	10.63ns	0.01ns	0.01ns	0.42*	0.53**	24.19**	2.23**	0.01**		
RFxM	33	5.95*	0.10**	0.30*	0.17ns	0.02**	0.21**	0.42ns	0.00ns		
Error (error b)	108	3.46	0.47	0.19	0.11	0.01	0.09	0.31	0.00		

**Significativo con p< 0.01; * Significativo p< 0.05; ns= no significativo..