



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO
DE HIDALGO**

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA FORESTAL

**PRODUCCION DE *Pinus patula* Schl. et Cham. EN
SUSTRATOS A BASE DE ASERRÍN CRUDO Y
DOSIS DE FERTILIZACIÓN**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO EN MANEJO DE RECURSOS
FORESTALES**

PRESENTA

JUAN JESUS MÉJIA SOTO

TULANCINGO DE BRAVO, HIDALGO

NOVIEMBRE DE 2007

La presente tesis titulada **“PRODUCCION DE *Pinus patula* Schl. et Cham. EN SUSTRATOS A BASE DE ASERRÍN CRUDO Y DOSIS DE FERTILIZACIÓN”** realizada por el alumno **JUAN JESUS MÉJIA SOTO**, bajo la direccion del comité asesor indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el titulo de:

INGENIERO EN MANEJO DE RECURSOS FORESTALES

Director:

Dr. José Justo Mateo Sánchez

Asesor:

Dr. Juan Capulín Grande

Asesor:

Dr. Leopoldo Mohedano Caballero

Asesor:

Dra. Juana Fonseca González

Asesor:

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo, por haberme permitido realizar mis estudios.

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) por el financiamiento económico de la investigación, mediante el convenio PROMEP. Protocolo No 25229

Al Dr. Jose Justo Mateo Sanchez, por la direccion y apoyo incondicional para realizar y concluir el presente trabajo.

Al Dr. Juan Capulín Grande, por su paciencia, y apoyo constante para la conclusión de esta meta.

Al Dr. Leopoldo Mohedano Caballero, por su revision, sugerencias, correcciones, paciencia y valiosos consejos durante el desarrollo de esta tesis.

A la Dra. Juana Fonseca Rodríguez, por sus atinadas sugerencias en el desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna, por sus atinadas sugerencias y correcciones realizadas, contribuyendo a mejorar el contenido del presente trabajo.

Al Ing. Francisco Godinez molina, por sus grandes consejos ¡Muchas gracias!

Al Dr. Joel Meza Rangel, por sus valiosos consejos, sugerencias y buen sentido del humor.

A mis amigos Hector, Danny, Vianey, Teo y Angela

A mis amigos con quienes comparti un sin fin de aventuras Carlos, Marcelo y Victor.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo.

CONTENIDO TEMATICO

	Paginas
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN GENERAL	xiii
CAPITULO 1. INTRODUCCION GENERAL	1
1.1 REVISION DE LITERATURA	4
1.1.1. Sustratos	4
1.1.2. Características de los sustratos	5
1.1.2.1. Propiedades Físicas	5
• Granulometría	6
• Espacio poroso	7
• Densidad aparente y densidad real	8
• Porosidad de aire	8
• Capacidad de retención de agua	9
• Potencial osmótico	10
1.1.2.2. Propiedades Químicas	10
• Conductividad eléctrica	11
• pH y Nutrimentos disponibles	11
• Capacidad de intercambio cationico	12

• Relación carbono/nitrógeno	13
1.1.3 Materiales utilizados en la elaboración de sustratos	13
1.1.4 Descripción de algunos materiales utilizados como sustrato	16
• Turba	16
• Turba de musgo sphagnum	16
• Aserrín	17
• Corteza de pino	18
• Agrolita o Perlita	19
• Vermiculita	20
1.1.5 Fertilización	21
1.1.5.1 Función de los macroelementos y microelementos	23
1.1.6 Criterios para evaluar la planta	25
1.1.6.1 Criterios morfológicos	26
1.1.7 Generalidades del <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	28
1.2 LITERATURA CITADA	29
CAPITULO 2. PRODUCCIÓN DE <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. EN	
SUSTRATO A BASE DE ASERRIN CRUDO EN SISTEMA TECNIFICADO	34
RESUMEN	34
2.1 INTRODUCCION	36
2.2. OBJETIVO	37
2.3. HIPOTESIS	38
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	38
2.4.1. Ubicación del experimento	38

2.4.2. Beneficio a la semilla y aserrín	38
2.4.3. Preparación del sustrato para almacigo	39
2.4.4. Preparación del sustrato para el crecimiento de las plantas	39
2.4.5. Trasplante de plantas	40
2.4.6. Diseño experimental	41
2.4.7. Variables evaluadas en la planta	41
2.4.8. Análisis estadístico	43
2.5. RESULTADOS Y DISCUSION	43
2.5.1 Altura	45
2.5.2. Diámetro	46
2.5.3. Peso seco de la parte aérea	47
2.5.4. Peso seco de la raíz	48
2.5.5. Peso seco total	49
2.5.6. REL (PSPa/PSR)	57
2.5.7. Índice de esbeltez	58
2.5.8. Índice de calidad de Dickson	60
2.6 CONCLUSIONES	62
2.7 LITERATURA CITADA	63
CAPITULO 3. PRODUCCIÓN DE <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. EN ASERRÍN	
CRUDO Y DOSIS DE FERTILIZACIÓN	67
RESUMEN	67
3.1. INTRODUCCIÓN	68
3.2. OBJETIVO	69

3.3. HIPOTESIS	69
3.4. MATERIALES Y METODOS	70
3.4.1. Ubicación del experimento	70
3.4.2. Beneficio a la semilla y aserrín	70
3.4.3. Preparación del sustrato para almacigo	71
3.4.4. Preparación del sustrato para el crecimiento de las plantas	71
3.4.5. Fertilización	71
3.4.6. Trasplante de plantas	72
3.4.7. Diseño experimental	72
3.4.8. Variables evaluadas en las plantas	73
3.4.9. Análisis estadístico	75
3.5 RESULTADOS Y DISCUSION	75
3.5.1. Altura	77
3.5.2. Diámetro	78
3.5.3 Peso seco de la parte aérea	79
3.5.4. Peso seco de la raíz	80
3.5.5. Peso seco total	81
3.5.6. REL (PSTa/PSR)	86
3.5.7. Índice de esbeltez	88
3.5.8. Índice de calidad de Dickson	90
3.6. CONCLUSIONES	93
3.7. LITERATURA CITADA	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pagina
Cuadro 1.	Lista de tratamientos con la combinación de aserrín y la mezcla compuesta por peat moss-agrolita-vermiculita.	40
Cuadro 2.	Distribución de las charolas de los tratamientos dentro del invernadero con tres repeticiones.	41
Cuadro 3.	Análisis de varianza para las variables evaluadas en los tratamientos de porcentajes de aserrín en <i>Pinus patula</i> .	43
Cuadro 4.	Influencia de los tratamientos de porcentajes de aserrín en el crecimiento de las plantas de <i>Pinus patula</i> para las variables evaluadas.	44
Cuadro 5.	Distribución de los tratamientos con los diferentes niveles de fertilización y siete repeticiones.	73
Cuadro 6.	Análisis de varianza para las variables evaluadas en los tratamientos de fertilización.	75
Cuadro 7.	Influencia de los cinco tratamientos de fertilización en el crecimiento de plantas de <i>Pinus patula</i> en las variables evaluadas.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
Figura 1.	Comportamiento de la altura de <i>Pinus patula</i> en las mezclas de porcentajes de aserrín.	45
Figura 2.	Comportamiento del diámetro de <i>Pinus patula</i> en las mezclas de porcentajes de aserrín.	46
Figura 3.	Comportamiento del peso seco de parte aérea de <i>Pinus patula</i> en las mezclas de porcentajes de aserrín.	47
Figura 4.	Comportamiento del peso seco de la raíz de <i>Pinus patula</i> en las mezclas de porcentajes de aserrín.	48
Figura 5.	Comportamiento del peso seco total de <i>Pinus patula</i> en las mezclas de porcentajes de aserrín.	49
Figura 6.	Comportamiento del cociente del peso seco de parte aérea y el peso seco de raíz de <i>Pinus patula</i> en las mezclas de porcentajes de aserrín.	58
Figura 7.	Comportamiento del cociente de la altura y el diámetro de <i>Pinus patula</i> en las mezclas de porcentajes de aserrín	60
Figura 8.	Comportamiento del cociente del peso seco total y el cociente de la altura y el diámetro mas el cociente del peso seco del tallo y el peso seco de la raíz (Índice de calidad de Dickson) de <i>Pinus patula</i> en las mezclas de	

	porcentajes de aserrín.	61
Figura 9.	Comportamiento de la altura de <i>Pinus patula</i> tratado con diferentes dosis de fertilización.	77
Figura 10.	Comportamiento del diámetro de <i>Pinus patula</i> tratado con diferentes dosis de fertilización.	78
Figura 11.	Comportamiento del peso seco de parte aérea de <i>Pinus patula</i> tratado con diferentes dosis de fertilización.	79
Figura 12.	Comportamiento del peso seco de la raíz de <i>Pinus patula</i> tratado con diferentes dosis de fertilización.	80
Figura 13.	Comportamiento del peso seco total de <i>Pinus patula</i> tratado con diferentes dosis de fertilización	81
Figura 14.	Comportamiento del cociente del peso seco de parte aérea y el peso seco de la raíz en <i>Pinus patula</i> tratado con diferentes dosis de fertilización.	86
Figura 15.	Comportamiento del cociente de la altura y el diámetro en <i>Pinus patula</i> tratado con diferentes dosis de fertilización.	89
Figura 16.	Comportamiento del cociente del peso seco total y el cociente de la altura y el diámetro mas el cociente del peso seco de parte aérea y el peso seco de la raíz (Índice de calidad de Dickson) de <i>Pinus patula</i> tratado con diferentes dosis de fertilización.	91

RESUMEN GENERAL

Durante los últimos años el uso de materiales con características capaces de sustituir al suelo en la producción de plantas forestales, en especial la tierra de monte, ha sido muy acelerado. Unos de los materiales que se esta utilizando a nivel nacional, en la producción de planta forestal es el peat moss cuyo consumo ha ido en aumento, aunque este tipo de materiales importados aumenta los costos de producción, por lo que será indispensable buscar nuevos materiales como sustratos alternativos. Aun con una buena mezcla de sustrato, el crecimiento de los brinzales en envase necesita la adición de minerales suplementarios especialmente nitrógeno y potasio. Para evaluar la utilidad del aserrín como sustrato se establecieron dos experimentos: 1) Se evaluó el efecto de once mezclas de sustratos a base de aserrín de *Pinus teocote* + la mezcla de peat moss, agrolita y vermiculita (60:20:20 respectivamente), en proporciones que variaron desde 0 hasta 100% de cada componente, sobre el crecimiento de *Pinus patula*. A los ocho meses después del trasplante todas las mezclas de sustrato que contenían aserrín produjeron plantas de mejor calidad, comparadas con el sustrato recomendado para el sistema tecnificado de producción de planta en vivero, considerada como testigo. 2) Se evaluó el efecto de diferentes niveles de fertilización, utilizando un fertilizante de liberación lenta, sobre el crecimiento inicial de *P. patula*. Se utilizo un diseño completamente al azar donde se estudio un sustrato compuesto por 70% de aserrín + 30% de peat moss, agrolita y vermiculita (60:20:20 respectivamente), con cinco niveles del fertilizante Osmocote plus* (15-9-12) a 0, 3, 6, 9 y 12 kg/m³. A los ocho meses después del trasplante, las plántulas a las que se les aplico el nivel cinco de fertilización

(12kg/m³), presentaron los valores más altos en peso seco de la parte aérea, peso seco total, altura, diámetro, relación parte aérea/ raíz, e índice de esbeltez. El aserrín crudo de *P. teocote* es un subproducto forestal que puede utilizarse satisfactoriamente como medio de crecimiento en el sistema de producción tecnificado, realizando los ajustes correspondientes en la aplicación de nutrimentos.

CAPITULO 1 INTRODUCCION GENERAL

De acuerdo con la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) la producción de plantas forestales en México para el año 2004 fue de 169'884,898 de árboles, en los viveros pertenecientes a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Secretaria de la Defensa Nacional (SEDENA), Gobiernos estatales y municipales, organizaciones sociales, e Instituciones de Enseñanza e Investigación, entre otros (SEMARNAT, 2005).

De esta producción de planta aproximadamente el 50% se realiza bajo el sistema de producción "tradicional", es decir, en bolsa de polietileno, utilizando como sustrato diferentes mezclas de suelo forestal, suelo agrícola y otros subproductos como corteza de pino, aserrín compostado, cascarilla de café y bagazo de caña. Otro 40% de la producción se hace bajo el sistema tecnificado, donde se usan contenedores de poliestireno expandido y plástico rígido, y como sustrato: turba (peat moss), agrolita, perlita y vermiculita. El restante 10% se lleva acabo mediante la técnica de producción a raíz desnuda, utilizando el propio suelo como sustrato (conafor, 2002).

El atlas forestal de México (1999) reporta que el país cuenta con 659 viveros de los cuales 129 pertenecen a la SEMARNAT, 45 a la SEDENA, 122 a gobiernos estatales, 221 a organizaciones sociales y 142 a otros como municipios, Secretaria de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), Secretaria de Educación Publica (SEP), Universidades, Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA), Instituto Nacional Indigenista (INI), Comisión Federal de Electricidad (CFE),

Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), los cuales tienen una capacidad instalada total de producción de 560 000 000 plantas por año.

La SEMARNAT reportó que la producción en el estado de Hidalgo, para el año 2004, fue de 3 536 000 plantas (SEMARNAT, 2005). Por otra parte, la producción forestal maderable para el país en el año 2003 fue de 6 996 770 m³ rollo, el 80% se destinó a la industria del aserrio en aserraderos y talleres de secundarios. Del volumen antes mencionado el 13% fue reducido a aserrín en las operaciones de aserrio (SEMARNAT, 2005) lo que significa que anualmente se acumulan 727 664 m³ de aserrín en el país.

La producción forestal maderable para el estado de Hidalgo en el 2003 fue de 126 022 m³ rollo, el 90% perteneció a coníferas y se destinó a la industria del aserrio (SEMARNAT, 2005). De acuerdo con los datos anteriores en el estado de Hidalgo anualmente se acumulan 14 744.6 m³ de aserrín. Este volumen de aserrín en la actualidad se acumula en tiraderos clandestinos que contaminan el ambiente. Con la presente investigación se pretende dar uso a este desperdicio de la industria maderera.

Considerando una producción nacional anual de 169 884 898 árboles forestales y que un 40% de esta producción se hace bajo el sistema tecnificado, esto arroja una cantidad de 67 953 959 plantas producidas utilizando sustratos importados como la turba (Peat moss). Si además se considera que el volumen promedio del contenedor

es de 0.14 dm³, se obtiene un volumen total de 9 513.5 m³ de sustrato utilizado en el sistema tecnificado.

El costo promedio de los sustratos importados es de \$ 2 500.00 m³, que multiplicado por las necesidades de este material, genera un gasto de \$ 23 783 750 pesos.

Algunos viveristas han comenzado a probar en sus mezclas otros materiales que puedan brindar a las plantas óptimas condiciones para su crecimiento. A pesar de que algunos resultados son alentadores, como es el caso del polvo de coco, la tierra y hojarasca de monte aún siguen siendo un material utilizado en gran escala para elaborar sustratos. Existen otros materiales a los que se les ha prestado poca o ninguna atención y que podrían contribuir en forma importante en la elaboración de nuevos sustratos, como los desechos de la industria maderera (corteza de pino, aserrín y viruta) (García, 1999).

En un estudio realizado por Mateo (2002), en la producción de plantas de *Pinus patula* y *Pinus teocote*, se encontró que las mezclas que contenían entre 70 y 80% de aserrín con fertilizante, produjeron el mayor peso seco, altura y diámetro, en ambas especies, al comparar mezclas de 10 a 100% de aserrín con tierra de monte; concluyendo que el aserrín con fertilizante es un subproducto que se puede utilizar como sustrato para la producción de planta forestal; teniendo un alto potencial por ser un material ligero, de fácil manejo, relativamente barato, con alta retención de humedad, buena aereación, libre de metales pesados y fácilmente disponible en las regiones forestales. De igual forma Martínez (2005), recomienda que los sustratos

compuestos con mezclas a base de aserrín en combinación con otros materiales, producen plantas iguales e inclusive de mejor calidad que las producidas con otros sustratos, con un sistema radical más vigoroso, más balanceado, más fibroso y mejor definido.

1.1 REVISION DE LITERATURA

1.1.1 Sustratos

En horticultura un sustrato es cualquier medio que se utilice para el cultivo de plantas en contenedor, debe proporcionar soporte físico al sistema radicular, tener la capacidad de retener, entre riegos, la cantidad de agua que la planta requiere (Burés, 1997). Los sustratos pueden ser de materiales químicamente inertes o activos, y pueden o no aportar nutrientes al complejo proceso del crecimiento de las plantas, deben tener una alta capacidad de absorción y retención hídrica (Cadahia, 1992).

En la composición de los sustratos se suelen usar dos o tres componentes, aunque hay viveristas que mezclan hasta seis materiales en diferentes proporciones (turba rubia, turba negra, aserrín, arena, vermiculita y perlita). En muchos casos se añaden a la mezcla fertilizantes solubles de liberación lenta e incluso algún hidrogel para aumentar la retención de agua (Ruano, 2003). En la formulación de sustratos para plantas en maceta debe utilizarse al menos un 40% de componente orgánico (Cabrera, 1996). El medio de cultivo deberá tener una estructura tal que permita a las raíces penetrar ampliamente para extraer suficiente agua, oxígeno y nutrimentos,

además deberá tener una densidad aparente que permita que la planta permanezca vertical; deberá también tener buena humectación aún después de haberse secado el contenedor, una estructura permanente con tasas bajas de contracción, y que regule el crecimiento de la planta, dándole apariencia compacta, con una adecuada retención de agua y nutrimentos; así como pureza químico-biológica, bajo costo, homogeneidad, y disponibilidad del material a largo plazo, que también son criterios importantes para la selección de sustratos (García, 1999).

1.1.2. Características de los sustratos

1.1.2.1 Propiedades físicas

La estructura física de un sustrato está formada por un esqueleto sólido que contiene espacios porosos que pueden llenarse de agua o de aire, y que corresponden a los espacios entre las partículas de sustrato y dentro de las mismas (Burés, 1997).

El cuerpo sólido y el espacio poroso de los sustratos están definidos por la naturaleza del material y por el acomodo de las partículas. Generalmente se consideran más importantes las propiedades físicas de los sustratos, ya que una vez seleccionada una mezcla de sustratos, como medio de cultivo es difícil modificar su estructura física, a diferencia de su composición química, que puede alterarse durante el desarrollo de la planta, mediante el riego y la fertilización. Para cumplir correctamente sus funciones de regulación del suministro de agua y aire, los

sustratos deben poseer una elevada porosidad y capacidad de retención de agua, unidos a un drenaje rápido y una buena aireación (Ansorena, 1994).

Las propiedades físicas más importantes que permiten evaluar la capacidad de un material como sustrato, o comparar diferentes materiales son: granulometría, espacio poroso, densidad aparente y densidad real, la porosidad del aire, la capacidad de retención de agua y el potencial osmótico.

Granulometría. Las partículas que componen los sustratos pueden tener tamaños diversos. La importancia de conocer el tamaño de las partículas reside en que éstas definen a su vez el tamaño de los poros situados entre ellas. Normalmente la granulometría se determina por tamizado de muestras de sustrato secadas al aire o en estufa. Para la caracterización de sustratos es frecuente utilizar los tamaños de malla de 0.125; 0.25; 0.5; 1; 2; 4; 8 y 16 mm de abertura. Generalmente se considera que las partículas que pasan a través de un tamiz tienen un tamaño medio igual a la media aritmética de la abertura de malla (Burés, 1997).

García (1999) menciona que para el óptimo crecimiento de las plantas en contenedor es necesario que la distribución del tamaño de poros sea la adecuada, para que el sustrato retenga cantidades convenientes de agua y aire. Un alto contenido de partículas grandes proporciona mucho aire a la mezcla mientras, que una mayor cantidad de partículas pequeñas ocasiona una alta retención de agua. Es necesario considerar que las proporciones “ideales” estarán determinadas por la especie de planta que se desee cultivar.

Espacio poroso. Los sustratos están formados por la mezcla de partículas o fibras de diferentes tamaños. Cada una de estas partículas tendrá en su interior poros de diferentes tamaños, que constituyen la porosidad interna o intrapartícula, dependiendo de la naturaleza del material. Pero además, quedaran huecos entre las partículas que dan lugar a la porosidad interpartícula o externa (Ansorena, 1994). La porosidad externa es la que se genera por el propio acomodo de las partículas y depende del modo de empaquetamiento, tamaño del contenedor, forma, tamaño y naturaleza de las partículas. La porosidad interna depende de la naturaleza de las partículas, estado e interconexión de los poros (Burés, 1997). Los poros internos, generalmente de tamaño reducido, son capaces, en la mayoría de los materiales utilizados como sustratos, de retener agua a tensiones más elevadas que la que determina la altura del sustrato. De este modo, un tamaño mayor de partículas y una porosidad interna elevada aseguran un reservorio de agua importante en el sustrato, a la vez que gran parte del agua es liberada a tensiones muy bajas.

Las partículas de mayor tamaño en un sustrato no se agrupan tan densamente como las pequeñas; macroporos y microporos tienen una relación complementaria: cuando el tamaño de la partícula se incrementa, los microporos decrecen y los macroporos aumentan. Los materiales orgánicos son usados en los sustratos porque proporcionan una gran cantidad de microporos, lo que se traduce en una alta capacidad de retención de agua, siendo además bastante elásticos para resistir la compactación. Los materiales orgánicos tienen, además, una alta capacidad de intercambio cationico y pueden, por consiguiente, retener iones de nutrimentos

contra la lixiviación y proporcionar al mismo tiempo un amortiguamiento contra los cambios de salinidad (Ruano, 2003).

Densidad aparente y densidad real. 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, en condiciones estándar previamente establecidas (Bunt, 1988). La densidad real (D_r) se define como el cociente entre la masa de las partículas del sustrato y el volumen que ocupan, sin considerar los poros y huecos (Ruano, 2003), su valor es muy constante pues la mayoría de los minerales arcillosos presentan una densidad que está alrededor de 2.65 g/cm^3 .

Porosidad de aire. La porosidad de aire es la medida de la parte del total de espacios porosos ocupados con aire luego de que el medio de crecimiento es saturado con agua y facilita el libre drenaje de esta (Landis *et al.*, 1990).

Para materiales que tienen un rango muy estrecho de tamaño de partículas, es posible predecir el volumen de los poros grandes, los cuales crean la porosidad de aire. Si las partículas son pequeñas, los poros lo serán también y por tanto la porosidad de aire tendrá un valor bajo. Cuando el tamaño de partículas alcance un diámetro crítico, el tamaño del poro y la porosidad de aire se incrementaran considerablemente. Sin embargo, la mayoría de los sustratos para maceta están compuestos por diversos materiales con un amplio rango de tamaño de partículas. Debido a que la forma, textura y porosidad interna de las partículas varía tanto como

su tamaño, usualmente se acepta que la porosidad de aire de una mezcla no puede ser predicha con exactitud sino que debe determinarse empíricamente (Bunt, 1988).

Capacidad de retención de agua. Para el óptimo crecimiento de las plantas en contenedor es necesario que la distribución de tamaños de poros sea la adecuada, para que el sustrato retenga cantidades convenientes de agua y aire. Pero no es suficiente con que la cantidad total de agua contenida en un medio de cultivo sea la necesaria para la planta, ya que puede estar retenida con una fuerza muy elevada, superior a la de succión que es capaz de ejercer la planta (García, 1999). Por lo anterior se tiene que conocer la capacidad de retención de agua disponible. Se denomina agua fácilmente disponible a la diferencia en la cantidad de agua retenida por el sustrato después de haberlo saturado y drenado libremente a 10 cm de tensión mátrica, menos la cantidad de agua presente en dicho medio a una tensión de 50 cm. Por lo tanto, un sustrato será considerado adecuado, cuando el agua fácilmente disponible fluctué entre 20 a 30% del volumen total del agua del medio (De Boodt y Verdonck, 1972).

Ruano (2003) menciona que la cantidad de agua retenida por un sustrato depende de los microporos y del volumen del sustrato en el envase. Cuanto menor sea este ultimo, mayor será la cantidad de agua retenida por unidad de volumen de sustrato. No obstante, aunque la cantidad de agua retenida sea muy elevada puede ocurrir que no sea susceptible de aprovechamiento por la planta, por el tamaño de los poros o la concentración de sales, la fuerza de succión de las raíces puede no superar a la de retención de los microporos.

Potencial osmótico. El fenómeno de osmosis se presenta cuando dos soluciones acuosas de distinta concentración de sales se encuentran separadas por una membrana. La tendencia natural es a igualarse por difusión, la concentración de las dos soluciones que se ponen en contacto. Se produce un flujo de agua desde el lado de la solución más diluida al de la concentrada. Este flujo crea una diferencia entre los potenciales del agua hacia ambos lados de la membrana, que se manifiesta en una diferencia de niveles del líquido a ambos lados de la membrana, y que se conoce como presión osmótica (García, 1999) y es muy importante para la asimilación del agua por las plantas. El potencial osmótico se debe mantener entre 0.5 y 2 atmósferas de presión, y un 50% de humedad. Por lo tanto, si la presión osmótica es muy baja las plantas pueden sufrir deficiencias de nutrimentos aunque toda la solución del sustrato sea asimilable (Organismo Integrado de información en Sanidad Agropecuaria (OIRSA), 2002).

1.1.2.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas del sustrato se refieren, de manera general, a las reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales, el intercambio de iones o mineralización de la materia orgánica (Burés, 1997). La forma en que dichas propiedades se manifiestan es a través de variables del sustrato que influyen en el crecimiento de las plantas como: conductividad eléctrica, pH, nutrimentos solubles, capacidad de intercambio catiónico y relación carbono/ nitrógeno.

Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica o conductancia eléctrica específica es el valor recíproco de la resistencia eléctrica, que es la resistencia de una columna de líquido de sección 1 cm^2 y longitud 1 cm . La conductividad eléctrica se expresa en decisimenes (dSm^{-1}) o milimohs (mmhcm^{-1}) y representa, de manera aproximada, la concentración de sales ionizadas en la solución del sustrato (Burés, 1997).

La asimilación del agua por la planta depende fundamentalmente de la conductividad eléctrica del sustrato. Esto significa que cuanto mayores son las necesidades de agua para la planta (mayor tasa de transpiración e intensidad de luz) debe ser menor la conductividad eléctrica en el medio de nutrición (OIRSA, 2002).

pH y nutrientes disponibles. El pH es la medida de la acidez o la alcalinidad relativa de una sustancia, con base en una escala logarítmica de 0 a 14; los valores menores a 7.0 son ácidos y los valores superiores a 7 son alcalinos. La comparación del efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes en suelos minerales y orgánicos (como en muchos medios de crecimiento en maceta) muestra que la máxima disponibilidad de los nutrientes minerales para suelos orgánicos se da en valores de 5.5 y en los suelos minerales de 6.5 (Landis *et al.*, 1990). Con valores de pH inferiores a 5 pueden aparecer síntomas de deficiencia de N, K, Ca, Mg y B. Con valores superiores a 6 se producen problemas en la disponibilidad de Fe, P, Mn, Zn y Cu (OIRSA, 2002).

El pH afecta al desarrollo de los cultivos modificando las formas asimilables de los distintos elementos nutritivos, de tal modo un pH adecuado en el sustrato indica que los nutrimentos están en formas asimilables y, por lo tanto, existe una buena disponibilidad de nutrimentos para la planta. En general para los materiales orgánicos el margen de pH óptimo se halla entre 5.0 y 5.8 (Burés, 1997).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Es la capacidad de un sustrato para absorber e intercambiar iones. Se expresa generalmente en miliequivalentes por 100 gramos de sustrato. La capacidad de intercambio catiónico es la suma de todos los cationes intercambiables en el complejo de cambio (Burés, 1997).

Valores elevados de CIC son deseables para los medios de crecimiento, puesto que mantienen una reserva del potencial de fertilidad que abastece al crecimiento de la planta entre aplicaciones de fertilizantes (Landis *et al.*, 1990). Muchos cationes son lixiviados debido a los frecuentes riegos a que son sometidas las plantas en los viveros forestales. Ciertos componentes de los sustratos resisten mejor la lixiviación que otros, en general el valor más alto para la CIC de un sustrato es el que presenta mayor resistencia a la lixiviación (Ruano, 2003).

Burés (1997) menciona que una capacidad de intercambio catiónico elevada incrementa la eficiencia en la adición de fertilizantes durante el período de mantenimiento, mientras que cuando se utilizan materiales con baja capacidad de intercambio catiónico los fertilizantes se aplicarán sólo a través del sistema de riego (fertirrigación), puesto que el sustrato no es capaz de retener los nutrimentos y por lo

tanto, no están disponibles para las plantas. Por su parte Ruano (2003) menciona que el viverista puede conocer y controlar las concentraciones de nutrimentos en el sustrato a través de sus formulaciones y fertilizaciones. Por otra parte García (1999), afirma que cuando las plantas en contenedores son fertilizadas por fertirrigación o fertilizantes de lenta liberación, el sustrato necesita tener baja capacidad de intercambio catiónico.

Relación carbono/nitrógeno. Es importante el contenido de nitrógeno (N) en relación con el del carbono (C) en el medio de crecimiento. La materia orgánica se descompone principalmente por la acción de microorganismos. El C es el mayor componente de la materia orgánica (50% o más) (OIRSA, 2002.)

La relación C/N se ha utilizado ampliamente como indicador del origen, del grado de madurez, y de la estabilidad de la materia orgánica, puesto que su valor nutrimental depende del material y este valor decrece a medida que fermenta la materia orgánica; un material composteado presenta valores entre 5 y 30. Una relación C/N inferior a 20 se suele tomar como indicadora de madurez y estabilidad (Burés, 1997), y proporcionará nitrógeno para el crecimiento de las plantas.

1.1.3 Materiales utilizados en la elaboración de sustratos

Dado que difícilmente un material reúne por si solo las características adecuadas para las plantas, es una práctica frecuente el uso de mezclas que permitan satisfacer

los niveles de las propiedades físicas y químicas adecuadas, para el crecimiento de las plantas.

Los componentes de suelo más utilizados en los viveros forestales se pueden clasificar en dos grandes grupos: componentes orgánicos y componentes inorgánicos.

La clasificación que se presenta a continuación es la propuesta por Burés, (1997).

1) Materiales orgánicos

- a) De origen natural. Están sujetos a descomposición biológica y en general, pueden ser utilizados como sustratos después de sufrir una serie de procesos biológicos de transformación artificial, por ejemplo, mediante el composteo, o bien natural, como el caso de las turbas.
- b) De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables que se obtienen mediante procesos químicos, como el poliestireno o las espumas de poliuretano, que por sus características se han clasificado erróneamente como inorgánicos.

Según Ruano (2003), los materiales orgánicos son usados en los sustratos porque proporcionan una gran cantidad de microporos, lo que se traduce en una alta capacidad de retención de agua, además presentan gran capacidad de amortiguamiento para resistir la compactación. Los materiales orgánicos tienen, además, una alta capacidad de intercambio catiónico y pueden, por consiguiente, retener nutrientes contra la lixiviación y proporcionar al mismo tiempo un amortiguamiento contra los cambios rápidos de salinidad inicial. En síntesis

aumentan considerablemente la porosidad, la conductividad eléctrica, la CIC, bajo costo y disponibilidad en el mercado actual.

2) Materiales inorgánicos

Son los materiales no sujetos a descomposición.

a) de origen natural

b) de materiales alterados

Los materiales inorgánicos se obtienen a partir de rocas o minerales de distintos orígenes e incluyen a los suelos naturales. Estos materiales pueden modificarse ligeramente sin alterar la estructura interna del material, mediante tamizado o fragmentación, o bien pueden transformarse mediante procesos físicos o químicos que transforman las propiedades intrínsecas del material de origen. Estos materiales pueden ser resultantes de otras actividades (por ejemplo, residuos de minería) o bien pueden ser elaborados *ex-profeso* para obtener materiales de características particulares, por ejemplo perlitas expandidas y vermiculitas exfoliadas, entre otros.

c) Materiales mixtos.

Comprende subproductos minerales de diversas industrias, como los residuos de filtración que suelen ser materiales inorgánicos acompañados por residuos orgánicos de origen diverso, según el proceso industrial del cual se derivan.

1.1.4 Descripción de algunos materiales utilizados como sustrato

Turba. Se forma por la descomposición parcial de plantas acumuladas bajo el agua en zonas con bajas temperaturas, poca oxigenación y niveles bajos de nutrimentos (Ruano, 2003). Puede estar compuesta de varias especies de plantas, incluyendo musgos, juncos y pastos. La especie de planta, su grado de descomposición, el clima local y la calidad del agua, contribuyen a proporcionar diferencias en la calidad de la turba y determinan su valor como un componente del medio de crecimiento (Mastalerz, 1977).

La turba puede ser clasificada en cuatro tipos distintos: turba de musgo *Sphagnum*, turba de musgo *Hypneum*, turba de cañuela y junco, y turba de humus o estiércol. De los tipos de turba la de musgo es la menos descompuesta, y proviene de *Sphagnum*, *Eriophorum* y otros géneros de musgos. La turba que proviene de otras clases de musgos se deshace con facilidad, comparada con la originada por *Sphagnum*. Las turbas de cañuela y otras plantas acuáticas se descomponen rápidamente. La mayoría de las turberas tienen edades comprendidas entre los 6 000 y 18 000 años, constituyendo recursos no renovables a corto plazo, por lo que actualmente se está limitando su explotación (OIRSA, 2002).

Turba de musgo *Sphagnum*. *Sphagnum* es un musgo que presenta crecimiento por yemas apicales mientras que las partes bajas de la planta mueren, así se van depositando capas de este musgo que van creciendo sobre sus propios restos, conformando finalmente las turberas. Las paredes celulares del sistema de

transporte son porosas, permitiendo el movimiento vertical y horizontal del agua y de los solutos, incluso si la planta está muerta. Esta característica es la que proporciona la propiedad más apreciada de las turbas de *Sphagnum* en horticultura: su gran capacidad de retención de agua (Burés, 1997).

Normalmente se suelen distinguir dos tipos de turbas: turba rubia o clara y turba negra u oscura. Son muy diferentes tanto en color como en peso. Las turbas negras son más pesadas, tienen menos cantidad de poros y, en consecuencia, la porosidad es menor; sin embargo, tienen casi el doble de capacidad de intercambio cationico. Se usan en pequeñas proporciones, pues son menos duraderas y menos elásticas que las turbas de colores claros (Ruano, 2003).

Aserrín. El aserrín es el desperdicio que resulta del proceso de aserrio de la madera (Diccionario de la lengua española, 1992). En las regiones forestales se produce en grandes cantidades y en la mayoría de los casos representa un problema de contaminación, por lo que es importante darle uso a este material.

El aserrín posee características que lo hacen deseable para la preparación de sustratos. La especie de árbol del cual deriva influye en la durabilidad del aserrín y en la cantidad de nitrógeno complementario requerido para mantener un crecimiento normal de las plantas. Algunas especies contienen toxinas que pueden tener efectos negativos sobre las plantas cultivadas (OIRSA, 2002)

El aserrín y las virutas se descomponen muy lentamente debido al elevado contenido de lignina y compuestos lignocelulósicos, es decir su alta relación C/N. Presenta problemas por exceso de humedad, por lo que debe mezclarse con materiales de partículas más gruesas que aporten aireación, tanto durante el compostaje como en el cultivo, puesto que el material puede compactarse produciendo procesos anaeróbicos de fermentación que dan lugar a algunos ácidos orgánicos (Burés, 1997).

Existen referencias que indican que para algunas especies como la *Sequoia sempervirens* y *Sequoiadendron giganteum*, no es necesario realizar un compostaje previo a su uso como sustrato, puesto que tarda mucho en descomponerse. Si bien algunos de estos materiales pueden utilizarse frescos, es conveniente que el nitrógeno en la fertilización sea elevado (Burés1997).

Por lo anterior el aserrín se considera una opción importante. Martínez (2005), menciona que se descarta el hecho de que las plantas producidas a base de aserrín crudo puedan presentar efectos de fitotoxicidad, por lo que su utilización representa un material alternativo para el viverista forestal, además, es de fácil manejo y en muchos aserraderos lo consideran como un desperdicio del cual quisieran deshacerse, y en caso de comprarse es de bajo costo, pero es necesario señalar que requiere ajustes para la aplicación de nutrimentos.

Corteza de pino. Burés (1997) afirma que la corteza de pino puede ser un sustrato cuando se cultiva directamente en ella, mientras que es una materia prima, “material

o componente” para la preparación de sustratos cuando se utiliza mezclada con perlita, turba u otros materiales en distintas proporciones. Por su parte, Ruano (2003) menciona que la corteza de pino tiene excelentes cualidades para mezclarse con otros sustratos ya que es naturalmente ácida, tiene una baja fertilidad inicial, aumenta considerablemente la porosidad, es de conductividad eléctrica baja, una CIC muy aceptable y tiene un bajo precio. Reis (1995) señaló que la corteza de pino puede usarse de un 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 agua.

García (1999), evaluó algunos subproductos orgánicos agroindustriales (corteza de pino, cascarilla de arroz, polvo de coco y composta de jardinería) en combinación con materiales inorgánicos (piedra pómez y tezontle) en la producción comercial de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii*, el autor concluye que desde el punto de vista económico, el polvo de coco, y polvo de coco mezclado con corteza de pino compostada resultaron ser los mejores sustratos para obtener el mayor peso fresco de *E. aureum*. También encontró que el polvo de coco, así como su combinación con corteza de pino, son materiales que pueden ser sustitutos de la tierra de monte y la turba, obteniendo iguales o mejores resultados en la producción de plantas en contenedor.

Agrolita o perlita. La perlita natural es una roca volcánica vítrea formada por enfriamiento rápido. Este mineral, en su manipulación industrial, se granula y

precalienta de 300 a 400 ° C y se vierten en hornos a 1 000° C, por efecto de las altas temperaturas el agua atrapada se evapora rápidamente, expandiéndose para formar una espuma de densidad aproximada a 120 kg/m³. La perlita expandida se extrae de los hornos por aspiración y se transporta a los procesos de molienda y cribado, donde se obtiene la granulometría deseada (Burés, 1997). Es estéril, químicamente inerte, tiene una capacidad de intercambio catiónico insignificante de 0.15 meq/100 cc, y es casi neutra con un valor de pH de 7.0 a 7.5. Su efecto sobre el pH del sustrato no es apreciable (OIRSA, 2002).

Vermiculita. Es un silicato de aluminio-hierro-manganeso que se obtiene en minas de Norteamérica y África, el cual consiste de una serie de placas delgadas y paralelas. Después de que la vermiculita es extraída es sometida a un intenso calor (superior a los 1 000 °C), lo cual provoca la expansión de sus partículas hasta 15 ó 20 veces más en comparación a su volumen original, y les provee de una estructura tipo acordeón (Bunt, 1988).

Este material puede proporcionar la mayoría de las propiedades que se buscan y se usa en el cultivo de hortalizas. Es de peso ligero y con una estructura en forma de lámina que genera una gran relación en volumen, lo que produce una alta capacidad de retención de agua. Las laminas o placas tienen numerosos puntos donde fijar cationes tanto interior como exteriormente, lo que produce una alta CIC. La vermiculita contiene algo de potasio y magnesio, que son absorbidos muy lentamente por las plantas (Ruano, 2003).

1.1.5 Fertilización

En México la fertilización de especies forestales es una actividad que ha sido confinada básicamente a la producción de brinzales en los viveros, empleando diferentes dosis y tipos de fertilizante. Los fertilizantes pueden ser aplicados en diferentes periodos o etapas de desarrollo de la plántula en vivero, con el fin de reducir el tiempo de estancia en el mismo y proporcionarle las características deseables de vigor y resistencia a los efectos adversos del ambiente (Álvarez y Bautista, 1999).

En etapa de vivero es necesario suplir las necesidades de nutrimentos del brinzal en las cantidades que éste lo requiera, ya que el exceso o deficiencia de algún elemento presenta alteraciones específicas o combinadas en el desarrollo del brinzal. La producción de brinzales sanos depende de un adecuado suministro de nutrimentos. Aún con una buena mezcla de suelo el crecimiento de los brinzales en envase necesita la adición de minerales suplementarios, especialmente nitrógeno y potasio (Hartmann y Kester, 1990).

Se disponen de varios tipos de fertilizantes los cuales se seleccionan de acuerdo a sus requerimientos y preferencias.

Fertilizantes orgánicos: Están compuestos por multielementos, pero los elementos esenciales están presentes en pequeñas cantidades, necesitándose una gran

cantidad de material para obtener cantidades significativas, según las necesidades de las plantas.

Fertilizantes inorgánicos: Son la fuente más disponible para suplir los elementos esenciales. Éstos pueden ser compuestos naturales que han sido procesados con otros fertilizantes, o bien son productos de una reacción sintética para un propósito específico.

Los fertilizantes de lenta liberación o liberación controlada son los más utilizados en la producción de brinzales en envases rígidos. Estos son más caros que los fertilizantes inorgánicos naturales por su rango de liberación, las ventajas de los fertilizantes de lenta liberación son las siguientes (Harold *et al.*, 1988):

- Pueden ser aplicados en el momento de plantación y suplir las necesidades de nutrientes en la estación de crecimiento, eliminando la necesidad de aplicar otros fertilizantes.
- Su uso puede reducir la pérdida de materiales solubles a través de la lixiviación y en la misma manera minimizar la contaminación del ambiente.

Osmocote® es un fertilizante de liberación controlada, su presentación es en gránulos homogéneos cubiertos con una resina plástica. Los gránulos no son disueltos en agua, pero al hidratarse liberarán nutrientes como resultado de la presión osmótica. El proceso depende de la humedad y la temperatura, por lo tanto los nutrientes no son disponibles cuando el suelo está seco o frío. El Osmocote es disponible en

diferentes formulaciones de N-P-K, con rangos de liberación de 3 a 14 meses (Landis *et al.*, 1990).

1.1.5.1 Función de los macroelementos y microelementos

Los elementos minerales esenciales, pueden ser divididos en dos grupos, los macronutrientes que incluyen el N, P, K, Ca, Mg y S. El segundo grupo llamado micronutrientes son necesarios en cantidades muy pequeñas; estos son: B, Cu, Fe, Mn, Zn, Cl y Mo.

Nitrógeno: Desempeña funciones fundamentales en la planta, como la participación esencial en la formación de los compuestos orgánicos como son las proteínas, los nucleótidos y la clorofila, y su influencia es notable en el crecimiento vegetativo (Zottl y Tschinkel, 1971). La deficiencia de este elemento causa clorosis debido a la pérdida de clorofila.

Fósforo: Es componente indispensable de los núcleos de las células vegetales (fosfolípidos y ácidos nucleicos) es parte importante de los fermentos de importancia central (ATP) en síntesis, es un elemento de las proteínas y de sus ciclos de asimilación y desasimilación. Los síntomas de deficiencia de fósforo se pueden confundir con la deficiencia de nitrógeno, pero dichos síntomas no son tan pronunciados. Esta deficiencia puede causar la caída prematura de las hojas y una pigmentación por antocianina en color rojo o morado (Devlin y Witham, 1983).

Potasio: El potasio juega un papel importante como activador de enzimas para la síntesis de péptidos, así como activador del metabolismo de las proteínas. La deficiencia de potasio se puede reconocer en las hojas de la planta, primero aparece una clorosis moteada, seguida por el desarrollo de áreas necróticas en la punta y márgenes de la hoja. Los síntomas aparecen primero en las hojas maduras.

Calcio: Es un elemento necesario para la división celular (mitosis), además es uno de los componentes de la lamina media de la pared celular. Su deficiencia puede causar la muerte de tejidos meristémicos en el tallo, hoja y raíz.

Magnesio: Una de sus principales funciones es la fotosíntesis (ya que forma parte de la clorofila). Su deficiencia se observa como una clorosis intervenial, apareciendo primero en las hojas basales.

Azufre: Es un componente de la estructura de las proteínas, aunque también interviene en la fotosíntesis, su deficiencia causa clorosis general.

Hierro: Es un elemento necesario para el transporte de electrones en las mitocondrias, en la formación de ferredoxina necesaria para las funciones luminosas de la fotosíntesis. Su principal deficiencia causa clorosis excesiva afectando principalmente a las hojas jóvenes.

Manganeso: Es un elemento esencial en la respiración y en el metabolismo del nitrógeno. La falta de éste se caracteriza por la aparición de zonas cloróticas y necroticas en el área intervenial de las hojas.

Cobre: La función del cobre es como parte de una proteína que es esencial en el transporte de electrones en la fotosíntesis, su deficiencia se caracteriza por una gomosis (exudación de goma).

Zinc: Interviene en la biosíntesis de ácido Indol-Acético. Su deficiencia se observa por el color amarillento de las hojas maduras.

Boro: Interviene en el transporte de carbohidratos, su deficiencia puede ser observada con la muerte de la yema apical.

Molibdeno: Implicado en la fijación y asimilación de nitrógeno.

1.1.6 Criterios para evaluar la calidad de la planta

Existen varios métodos para evaluar la calidad de la planta en vivero, estos deben ser rápidos y fáciles de aplicar e interpretar. La mayoría de ellos están basados en criterios morfológicos y fisiológicos. La calidad de planta es un término complejo en el cual convergen muchos factores, incluyendo no solamente las características morfológicas de la planta, si no también el “potencial fisiológico” el cual permite que éstas sobrevivan después de su establecimiento (Mexal y Landis, 1990). El

desempeño de una planta en campo está relacionado, por lo tanto, a una serie de características internas y externas de las mismas que a su conjunto se le otorga el término “calidad de planta”.

1.1.6.1 Criterios morfológicos

Altura. Es la característica morfológica más fácil de determinar en un brinzal. Tiene poco valor como indicador único de la calidad de brinzal, pero combinado con el diámetro adquiere mayor importancia. Un brinzal pequeño tiene poca superficie fotosintética, esto puede ocasionar que su crecimiento y adaptabilidad sea lento, mientras que un brinzal grande tiene mayores probabilidades de crecer más rápido; sin embargo, tiene mayor transpiración y en condiciones adversas de sitio tiene mayor riesgo de morir (Cano, 1998).

Diámetro: El diámetro se encuentra comúnmente relacionado con la altura, el tamaño del sistema radical, supervivencia, crecimiento, biomasa total, cantidad de sustancias de reserva y área de conducción. Por lo tanto, las plantas con diámetros más grande presentan resistencia al acame por el viento, daños por insectos, entre otros (Thompson, 1985).

Peso seco de parte aérea y raíz. El peso seco de la parte aérea representa la cantidad de la materia seca que se formó durante el crecimiento de la planta y puede correlacionarse con la sobrevivencia en campo, pues es un indicador de la eficiencia

fisiológica durante el desarrollo de la planta; a mayor peso seco de la planta deberá tener una mejor eficiencia fisiológica (Thompson, 1984).

El peso seco de la raíz muestra el comportamiento fisiológico que llevo a cabo la planta y se refleja en la acumulación de la materia seca. Dependiendo de la cantidad de materia seca se puede comparar la facilidad o dificultad que tuvo la planta para absorber elementos nutritivos. El peso seco radical puede relacionarse con la sobrevivencia en campo de forma que a mayor peso seco radical, mayor sobrevivencia en campo (Segura y García, 2000).

La relación altura/diámetro a la base o Índice de esbeltez. Es otro indicador que combina los valores de dos variables, con el fin de tener una mejor predicción de la calidad de la planta. Se calcula mediante la división de la altura, en centímetros, entre el diámetro, en milímetros.

El **índice de calidad de Dickson** es más confiable debido a que está basado en una serie de criterios que involucran, altura, diámetro y peso seco total de raíz y parte aérea (Dickson *et al.*, 1960); se calcula con la siguiente formula:

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

Otro criterio morfológico que evalúa la **relación parte aérea/raíz**, es el desarrollo de la planta para comparar el balance entre el área de transpiración y la de absorción.

Esta variable es importante ya que permite conocer el equilibrio fisiológico del brinjal en relación a la parte aérea y la radical (Haase y Rose, 1990).

1.1.7 Generalidades del *Pinus patula* Schl. et Cham.

La distribución natural de esta especie se restringe a una franja angosta orientada de NW a SE a lo largo de la sierra Madre Oriental. Comprende la parte oriental del estado de Hidalgo y Puebla, occidental del estado de Veracruz, noroeste del estado de Oaxaca y Tlaxcala, así como algunas poblaciones aisladas de menor extensión en los estados de Querétaro, San Luis Potosí y Tamaulipas (Vela, 1980; Perry, 1991).

En su hábitat natural el *P. patula* crece en altitudes entre 1 500 y 3 100 m y en latitudes que varían de 17° a 24° N. La mayoría de los árboles presentan fustes rectos y sin ramas hasta los 20 m, lo cual hace que la especie sea altamente codiciada para su explotación comercial. Es un árbol que alcanza alturas de 30 a 35 m y diámetros a la altura de pecho (DAP) de 50 a 90 cm. Su madera se utiliza en la construcción (madera aserrada), para la fabricación de plataformas, postes y como leña (Perry, 1991). Los productos cosechados son distribuidos para satisfacer varias industrias. Trozos de 2.55 m de longitud y con diámetros límite de hasta 20 cm se envían a aserraderos o para la fabricación de chapa. Trozos de diámetro entre 20 y 12 cm se cortan a 1.5 m de longitud para la fabricación de plataformas de carga para cajas de empaque. Material de ramas y fuste con diámetros de 12 y 5 cm, se usan como leña o para pulpa para la fabricación de papel (Valdez y Lynch, 2000).

1.2 LITERATURA CITADADA

- Álvarez, C., L.; Bautista, Z., N. 1999. Análisis de la calidad de brinzales de *Pinus durangensis* Mtz. y *Pinus engelmannii* Carr., a través de su producción en tres tipos de envases. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 76 p.
- Ansorena, M., J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi - prensa. Madrid. España. 380 p.
- Bunt, A.C. 1988. Media and Mixes for container-grown plants. Unwin Hyman Ltd London.
- Bures, I., S. 1997. Sustratos. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. pp. 7-238.
- Cabrera, R. 1996. Manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Departamen of plant science and Rutgers cooperative extension. Foran Hall, cookk Collage, Rutgers University. 151 p.
- Cadahia, L., C. 1992. Caracterización química y físico-química de sustratos. Jornadas de sustratos. Actas de Horticultura 11: 19-25.
- Cano, P., A. 1998. Tamaño y calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm., en dos sistemas de producción en vivero. Tesis de Maestría. Colegio Postgraduados. Montecillos, México. 80 p.
- Conafor. 2002. Programa nacionales forestales. {En línea}. Disponible en http://www.Conafor.gob.mx.programas_nacionales_forestales/pronare/resultados_2002.htm (Revisado el 17 de enero de 2006)

- De Boodt, M.; Verdonck, O. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*. 26: 37-44.
- Devlin, R., M.; Witham, F.H. 1983. Plant physiology. Fourth edition. Wadsworth Publishing Co., Belmont California, U.S.A. 577 p.
- Diccionario de la lengua Española. 1992. Real Academia Española. 21 ed. Espasa-Calpe, S.A., Madrid, España. 1513 p.
- Dickson, A.; Leaf, A.L.; Hosner, J.F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *For. Chron.* 36: 10-13.
- García, C., O. 1999. Materiales orgánicos como sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *spathyllum wallisii* cultivadas en maceta. Tesis de Maestría. Colegio Postgraduados, Montecillos, México. 115 p.
- Haase, D., L.; Rose, R. 1990. Moisture and Root Stress Volume Influence Transplant Shock. Preliminary Results. Pp: 201-206. *In*: Target seedling Symposium. Proceedings Combined meetings of the Western Forest Nursery Associations. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report RM-200. Edited by Robin Rose, Sally J. Campbell y Thomas D. Landis, Ft. Collins, Co.
- Harold, D.; Peterson, C.; Mecklenburg, R. 1988. Nursery management: administration and culture. Second Edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs. New Jersey, USA. Pp. 186-237
- Hartmann, H.T.; Kester, D.E. 1990. Propagación de plantas (principios y prácticas). Prentice Hall. New Jersey, USA. 647 p.

- Landis, T.D.; Tinus, R.W.; Mc Donald, S.E.; Barnett, J.P. 1990. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor: medios de crecimiento. Manual agrícola 674, Washington, DC:U.S. pp 47-67.
- Martinez, R., M. 2005. Inoculación con hongos comestibles ectomicorrizicos, poda química y sustratos en el mejoramiento de calidad de *Pinus patula* en vivero. Tesis de Maestría. Colegio Postgraduados, Montecillos, México. 87 p.
- Mastalerz, J.W. 1977. The greenhouse environment. John wiley and sons New York. USA. 629 p.
- Mateo, S., J. J. 2002. Potencial del aserrín como alimento para rumiantes y sustrato para plantas. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 92 p.
- Mexal, J.G.; Landis, T.D. 1990. Target seedlings Concepts. Height and Diameter. Pp: 17-36. *In*: Target seedling Symposium. Proceedings Combined meetings of the Western Forest Nursery Associations. Rocky Mountain forest and Range Experiment station. General Technical Report RM-200. Edited by Robin Rose, Sally J. Cambell y Thomas D. Landis, Ft. Collins, Co.
- Organismo Integrado de información en Sanidad Agropecuaria. 2002. Sustrato para vivero. {En línea}. Disponible en <http://www.ns1.oirsa.org.sv/publicaciones/VIFINEX/Manuales/Manuales2002/Costa-rica/Sustratos-para-vivero> (Revisado el 17 de enero de 2006).

- Perry, J., S. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber press. Portland Oregon. pp. 168-193.
- Reis, M. 1995. Evaluation of composted pine bark and carob pods as components for horticultural substrates. *Acta Horticulturae* 401: 243-249.
- Ruano, M., J. R. 2003. Viveros forestales: Cultivo de brinzales forestales en envase. Sustrato o medio de cultivo. Mundi-prensa. España. pp 126-143.
- Segura, R., O.; García, R., L. 2000. Evaluación de algunas variables morfológicas y fisiológicas para determinar la calidad de brinzales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus leiophylla* Sch. et champ., producidos en tres tamaños de envases rígidos. Tesis de licenciatura. División de ciencias forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 145 p.
- SEMARNAP. 1999. Atlas forestal de México. SEMARNAP-Universidad Autónoma Chapingo. 101 p.
- SEMARNAT. 2005. Informe de la situación de Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales.
- Thompson, B.E. 1984. Seedling morphological evaluation what you can tell by looking. P. 59-71. *In* (Duryen, M.L. Ed). *Proceedings: evaluating seedlings quality: principles, procedures and predictive abilities of major test.* Workshop held October 16-18 1984. Forest research laboratory. Oregon State University. Corvallis, Oregon. USA.
- _____. 1985. Seedling morphological evaluation: What you can tell by looking. *In*: *Evaluating seedling quality; Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Test.* M. L. Duryea (ed.). Forest Res. Lab., Oregon State University, Corvallis, Or. USA. pp: 59-71.

- Valdez, L., J.R.; Lynch, T.B. 2000. Ecuaciones para estimar volumen comercial y total en rodales aclareados de *Pinus patula* en Puebla, México. *Agrociencia* 34(6): 747-758.
- Vela, G., L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Publicaciones Esp. No. 19. México. 109 p.
- Zottl, H.W.; Tschinkel, H. 1971. Nutrición forestal, una guía práctica FAO. Universidad Nacional California, USA. 577 p.

CAPITULO 2. PRODUCCION DE *Pinus patula* Schl. et Cham. EN SUSTRATO A BASE DE ASERRIN CRUDO, EN SISTEMA TECNIFICADO

RESUMEN

En México la tierra de monte es el sustrato que más comúnmente se emplea para la producción de planta forestal en los viveros. Sin embargo, su utilización genera un impacto ambiental indeseable. Por otro lado, otra opción para producir plantas de buena calidad es el empleo de sustratos comerciales (peat moss-agrolita-vermiculita), no obstante el costo es muy elevado, lo cual es una limitante para su utilización; por lo anterior se necesita buscar sustratos alternativos. El aserrín de pino es un subproducto de la industria forestal barato y disponible en áreas forestales. En los últimos años se ha utilizado como sustrato generando buenos resultados. En el presente trabajo se evaluó el efecto de diferentes mezclas de aserrín de *Pinus teocote* sobre el crecimiento de plantas de *P. patula* producidas con el sistema tecnificado en invernadero. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar donde se estudiaron once combinaciones a base de aserrín + la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita en proporciones que variaron desde cero % hasta 100% de aserrín y la mezcla de sustratos comerciales. A los ocho meses de edad las plántulas que se desarrollaron en el sustrato con la mezcla de 80% de aserrín + 20% de la mezcla peat moss agrolita-vermiculita, generaron los valores más altos para las variables, peso seco de la raíz y la altura. La mezcla que contenía 70% de la mezcla peat-moss-agrolita-vermiculita + 30% de aserrín, obtuvo los valores más altos para las variables, peso seco total, peso seco de parte aérea, y diámetro. Para la relación

de calidad altura/diámetro las mezclas que presentaron los valores más altos fueron las que contenían 20%, 70% y 100% de aserrín. Para el índice de esbeltez el mejor valor lo obtuvo la mezcla que contenía 40% de aserrín y para el índice de calidad de Dickson el valor más alto lo presentó la mezcla que contenía 80% de aserrín. Los resultados obtenidos demuestran que el aserrín no tiene efectos tóxicos y puede producir plantas sanas, por lo tanto representa un material alternativo al peat moss-agrolita-vermiculita, aunque se requiere determinar la cantidad de nutrimentos adecuados.

2.1 INTRODUCCION

Durante los últimos años el desarrollo del uso de materiales con características capaces de sustituir al suelo, en la producción de plantas forestales y en especial a la tierra de monte, ha sido muy acelerado, de tal manera que la producción más importante en materia forestal, a nivel mundial, se cultiva bajo esquemas de producción donde se utilizaron materiales reciclables y con orientación ecológica (Santiago, 2002).

Un buen sustrato es esencial para la producción de plantas de alta calidad. Dado que el volumen de un contenedor es limitado, el sustrato y sus componentes deben poseer propiedades físicas y químicas que, combinadas con un programa integral de manejo, permitan un crecimiento óptimo (Cabrera, 1999). Para la producción comercial de plantas ornamentales en México tradicionalmente se emplea como sustrato, tierra y hojarasca provenientes de bosques templados, por ser un medio de cultivo barato, con propiedades físicas y químicas apropiadas para el crecimiento de las plantas. Éste ha sido un factor que contribuye al deterioro de los bosques de forma acelerada al eliminar la capa de mantillo que protege el suelo. No obstante, aunque se han establecido políticas gubernamentales para controlar la comercialización de la tierra y hojarasca de monte, cierta venta clandestina aún prevalece (García, 1999).

En algunas regiones del país existen subproductos de la industria maderera, y otros materiales naturales, que podrían usarse como una alternativa para mejorar los

sustratos y sustituir el uso de la tierra de monte y de los sustratos importados, como el peat moss. Dentro de estos componentes alternativos, que actualmente son considerados desperdicios de otras actividades productivas, se encuentran el aserrín y la corteza de pino, los cuales pueden ser combinados con otros materiales y así disminuir el uso de la tierra de monte ya que, como se mencionó anteriormente, el uso de ésta ocasiona un gran impacto ambiental (Mateo, 2002).

El aserrín es el desperdicio que resulta del proceso de aserrio y en la mayoría de las industrias madereras constituye un problema por el espacio que ocupa. De acuerdo con información publicada por la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2005) la producción de plantas forestales en México para el año 2004 fue de 169 884 898 árboles en vivero. Aproximadamente el 50% se realiza bajo el sistema de producción “tradicional” en bolsa de polietileno y utilizando como sustrato principal la tierra de monte. Otro 40% de la producción se hace bajo sistema tecnificado, donde se utilizan contenedores de poliestireno expandido y plástico rígido, utilizando como sustrato turba, agrolita y vermiculita. El restante 10% se lleva acabo mediante la técnica de producción a raíz desnuda, utilizando el propio suelo como sustrato. En atención a los párrafos anteriores se ha establecido el objetivo siguiente:

2.2 OBJETIVO: Determinar el porcentaje de turba que es posible sustituir por aserrín en la elaboración del sustrato para el crecimiento de planta de *Pinus patula* Schl. et Cham. en vivero empleando el sistema de producción tecnificado.

2.3 HIPOTESIS: Al utilizar altos porcentajes de aserrín es posible producir planta forestal de buena calidad.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Ubicación del experimento

El experimento se instaló en el invernadero del Área Académica de Ingeniería Forestal del Instituto de Ciencias Forestales, de La Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, que se encuentra ubicado entre las coordenadas 20° 05' latitud norte y 98° 22' longitud oeste, a una altitud de 2 140 msnm, en la ciudad de Tulancingo de Bravo, Hidalgo.

2.4.2 Beneficio a la semilla y aserrín

La colecta de conos de *P. patula* se realizó en el mes de noviembre del 2004, en un predio particular, en el Municipio de Zacualtipán, estado de Hidalgo. Posteriormente se trasladaron en costales al invernadero del Área académica de Ingeniería Forestal para ser puestos al sol por 10 días, hasta que abrieron las escamas y soltaron las semillas, después se limpió la semilla quitándole el ala por fricción en forma manual, a través de corrientes de aire se separó la semilla de la parte del ala, quedando en condiciones para ser sembrada.

El aserrín fresco de *P. teocote* se obtuvo de un aserradero ubicado en el poblado de San Alejo municipio de Tulancingo, Hgo. Se homogeneizo con una criba de 6 mm de abertura por lo que las partículas de aserrín que se utilizaron para el presente experimento fueron menores a 6 mm; el aserrín no recibió ningún tratamiento de composteo utilizándolo tal como se extrajo del aserradero por lo cual se le denominó aserrín crudo.

2.4.3 Preparación del sustrato para almacigo

El sustrato del almacigo estuvo compuesto por la mezcla de peat moss, agrolita y vermiculita en proporción 60:20:20 respectivamente. Las semillas se sembraron al boleó y se taparon con la misma mezcla, quedando a una profundidad de 6 mm. Los riegos fueron ligeros, aplicando un riego diario hasta que las plántulas emergieron, se aplicó 1.5 g de captan M-50 por litro de agua una vez a la semana para evitar la aparición del Damping-off. Se realizó el trasplante anticipado que consistió en trasplantar las plántulas de *P. patula* a los 7 días después de la emergencia cuando la radícula tenía de 2 a 4 cm.

2.4.4 Preparación del sustrato para el crecimiento de las plantas

Se hizo una mezcla de sustratos ocupando Peat moss, agrolita y vermiculita en proporciones de 60:20:20. Las mezclas que se prepararon consistieron de aserrín y la mezcla mencionada anteriormente en proporciones de cero % a 100% con rangos de 10% como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Lista de tratamientos con la combinación de aserrín y la mezcla compuesta por peat moss agrolita y vermiculita.

No. de Tratamiento	Aserrín	Mezcla de peat moss, agrolita y vermiculita (60:20:20)
1	10%	90%
2	20%	80%
3	30%	70%
4	40%	60%
5	50%	50%
6	60%	40%
7	70%	30%
8	80%	20%
9	90%	10%
10	100%	0%
11	0%	100%

A todas las mezclas se les adicionó un fertilizante comercial de liberación lenta, (Osmocote plus*, 15-9-12 más micro elementos) con un tiempo de liberación de nueve meses. La dosis utilizada fue de ocho Kg/m³. De cada tratamiento se llenaron tres charolas, de 49 cavidades (diámetro de 4 cm, altura de 19.5 cm y una capacidad de 140 cm³), dando un total de 33 charolas.

2.4.5 Trasplante de plantas

En cada una de las cavidades de las charolas se trasplantaron plántulas de *P. patula*, cuidando que la altura y el vigor aparente fueran semejantes. La cantidad de plantas fue de 147 plantas por tratamiento y 1 617 plantas para el total del experimento. El

trasplante se hizo en febrero del 2005 y el manejo fue bajo condiciones de invernadero, durante ocho meses.

2.4.6 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con una asignación de tratamientos utilizando tablas de números aleatorios. La distribución de los tratamientos y la forma en que estos quedaron distribuidos se muestra en la Cuadro 2.

Cuadro 2. Distribución de las charolas de los tratamientos dentro del invernadero con tres repeticiones.

5	11	7	10
8	4	2	11
4	6	9	7
2	8	5	9
7	5	10	3
1	11	3	6
10	3	9	6
1	2	8	1
4			

Las plantas permanecieron en el invernadero durante ocho meses, aplicándoles riegos diarios en el primer mes. A partir del segundo mes se les aplicó un riego cada tercer día y cuatro días, durante los siete meses restantes del experimento.

2.4.7 Variables evaluadas en las plantas

Concluido el tiempo de crecimiento se evaluaron mediante muestreo tres plantas por charola en cada una de las repeticiones del experimento, seleccionándolas

aleatoriamente. Para medir las variables se procedió a desprender las plantas de la cavidad y exponer la parte radical que se encontraba en el sustrato a un chorro con agua de la llave para desprender el sustrato y medirlas. Las variables que se midieron en el mismo día que se saco el experimento fueron: altura y diámetro en la base del tallo. Para la medición de la altura se utilizó una regla graduada en centímetros y para medir el diámetro se utilizo un vernier digital con aproximación a centésimas de mm. A todas las plantas se les coloco una etiqueta para su identificación.

Posteriormente las plantas fueron llevadas al Laboratorio de Semillas Forestales del Centro de Investigaciones Forestales (CIF) y les fue separada la raíz de la parte aérea, teniendo ambas partes separadas fueron depositadas en bolsas de papel en una estufa marca Grieve modelo LW-120C a 70°C donde se mantuvieron durante 72 horas. Concluido este tiempo se peso la parte radical y aérea para obtener el peso seco. Con los datos anteriores se estimaron el índice de esbeltez, la relación parte aérea/raíz y el índice de calidad de Dickson. El índice de esbeltez se calculo mediante el cociente de la altura en cm entre el diámetro del tallo en mm. La relación parte aérea/raíz se estimo como el cociente entre el peso de la parte aérea en gramos y el peso seco de la raíz en gramos. El índice de calidad de Dickson (ICD) resulto de integrar los valores de biomasa total, el índice de esbeltez y la relación parte aérea/raíz (Dickson *et al.* 1960), donde los valores más altos indicaron plantas de mejor calidad (Thompson, 1985).

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

2.4.8 Análisis estadístico.

Los datos de las variables respuesta se sometieron a un análisis de varianza tradicional, también se realizó una comparación de medias a través de la prueba de Tukey. Para ello se utilizó el software Statistical Analysis System (SAS, 1996).

2.5 RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de varianza obtenido es altamente significativo para la variable, altura (ALT) con un valor de 245.31; Diámetro (DIAM) con un valor de 0.50; Peso seco de la parte aérea (PSPa) con un valor de 1.28; Peso seco de la raíz (PSR) con un valor de 0.19; Peso seco total (PST) con un valor de 2.1; Relación peso seco de la parte aérea entre peso seco de la raíz (PSPa/PSR) con un valor de 2.63; para el índice de esbeltez (IESB) con un valor de 13.94 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza para las variables evaluadas en los tratamientos de porcentajes de aserrín en *Pinus patula*.

F.V.	G.L.	Cuadrado medio de significancia							
		ALT	DIAM	PSPa	PSR	PST	PSPA/PSR	IESB	ICD
Tratamientos	10	245.31**	0.50**	1.28**	0.19**	2.1**	2.63**	13.94**	0.00**
Error	88	4.22	0.09	0.14	0.3	0.2	0.58	1.49	0

Cuadro 4. Influencia de los tratamientos de porcentajes de aserrín en el crecimiento de plantas de *Pinus patula* para las variables evaluadas.

Tratamientos	ALT (cm)	DIAM (mm)	PSPa (g)	PSR (g)	PST (g)	PSPA/PSR	IESB	ICD
0	17.11 c	2.48 d	0.81 c	0.42 c	1.24 d	2.16 bc	6.89 d	0.13 b
10	24.11 b	2.69 d	1.57 b	0.77 ab	2.34 abc	2.08 c	9.11 bc	0.18 ab
20	25.66 b	2.73 bd	1.69 b	0.48 bc	2.17 bc	3.51 a	9.51 abc	0.17 ab
30	32.11 a	3.25 a	2.29 a	0.83 a	3.12 a	3.07 abc	9.96 abc	0.24 a
40	31.44 a	2.81 bc	1.7 ab	0.55 abc	2.25 bc	3.12 abc	11.23 a	0.15 b
50	31.44 a	2.90 bc	1.77 ab	0.54 abc	2.32 abc	3.32 ab	10.91 ab	0.16 ab
60	31.77 a	3.02 abc	1.9 ab	0.6 abc	2.51 abc	3.14 abc	10.56 abc	0.17 ab
70	31.77 a	3.06 abc	1.97 ab	0.58 abc	2.55 abc	3.58 a	10.52 abc	0.18 ab
80	33.55 a	3.16 ab	1.95 ab	0.8 a	2.75 ab	2.52 abc	10.62 abc	0.21 ab
90	25.55 b	2.68 d	1.45 b	0.47 bc	1.93 cd	3.30 ab	8.86 c	0.16 ab
100	24.28 b	2.70 bd	1.49 b	0.43 c	1.92 cd	3.57 a	9.07 bc	0.15 b

2.5.1 Altura

La altura presentó diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 3). De acuerdo a la prueba de medias de Tukey se forman tres grupos (Cuadro 4). El mayor crecimiento en altura (33.55 cm) se presentó en las plantas que se desarrollaron en la mezcla compuesta por 80% de aserrín + 20% de la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita, seguido por los tratamientos que contenían 30, 70, 60, 50 y 40% de aserrín con valores de 32.11, 31.77, 31.77, 31.44 y 31.44 cm. respectivamente, no siendo estadísticamente diferentes entre estos seis ($p = 0.05$); el segundo grupo lo formaron los tratamientos que contenían 20, 90, 100 y 10% de aserrín con valores de 25.66, 25.55, 24.28 y 24.11 cm. respectivamente. Las plantas que menor crecimiento en altura presentaron (17.11 cm) fue en el tratamiento que no contenía aserrín, compuesto sólo por la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita (Figura 1).

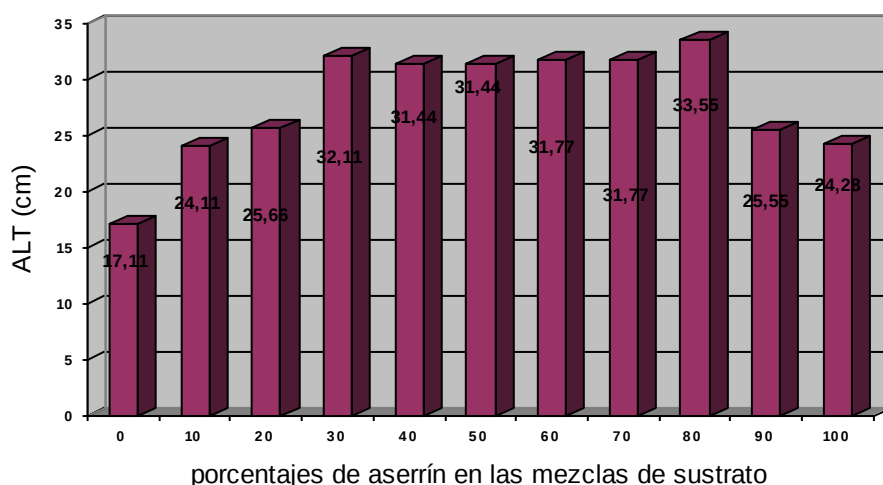


Figura 1. Comportamiento de la altura de *Pinus patula* en las mezclas de porcentajes de aserrín.

2.5.2 Diámetro

El diámetro presentó diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 3). El análisis de comparación de medias de Tukey agrupa el diámetro en cuatro grupos (Cuadro 4). Las plantas de *Pinus patula* alcanzaron el mayor diámetro (3.25 mm) cuando se desarrollaron en el tratamiento que contenía 30% de aserrín, aunque fueron estadísticamente iguales ($p = 0.05$) a las que se desarrollaron en los tratamientos que contenían 80, 70 y 60% de aserrín con valores de 3.16, 3.06 y 3.02 mm respectivamente. El segundo grupo estuvo formado por los tratamientos con 50 y 40% de aserrín, con valores de 2.90 y 2.81 mm; Al tercer grupo lo formaron los tratamientos con 20 y 100% de aserrín con valores de 2.73 y 2.70 mm. El menor diámetro se presentó cuando las plantas se desarrollaron en los tratamientos compuestos por 10, 90 y 0% de aserrín con valores de 2.69, 2.68 y 2.48 mm. Respectivamente. (Figura 2).

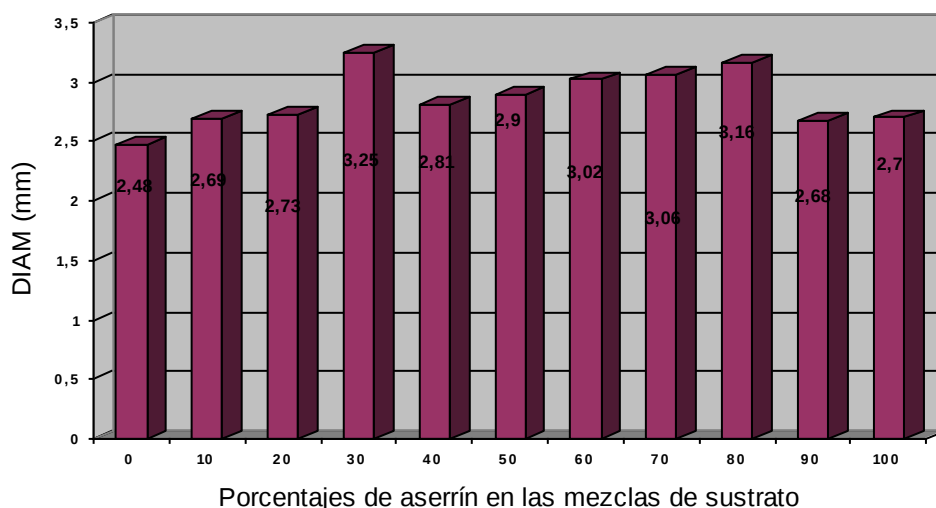


Figura 2. Comportamiento del diámetro de *Pinus patula* en las mezclas de porcentajes de aserrín.

2.5.3 Peso seco de la parte aérea

El peso seco de la parte aérea presenta diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 3). De acuerdo con la comparación de las medias de Tukey se formaron tres grupos (Cuadro 4). El mayor peso seco de la parte aérea se presentó en las plantas que tuvieron el tratamiento compuesto por 30 % de aserrín + 70% de la mezcla de peat moss-agrolita- vermiculita, que alcanzo un peso de 2.29 g, seguido por los tratamientos que contenían 70, 80, 60, 50 y 40% de aserrín con valores de 1.97, 1.95, 1.90, 1.77 y 1.70 g. respectivamente, no siendo estadísticamente diferentes entre estas seis ($p = 0.05$); Al segundo grupo lo formaron los tratamientos con 20, 10, 100 y 90% de aserrín con valores de 1.69, 1.57, 1.49 y 1.45 g. respectivamente; El menor peso seco de la parte aérea (0.81 g), lo presentaron las plantas con el tratamiento que no contenía aserrín y contenía la mezcla de peat moss- agrolita-vermiculita (Figura 3).

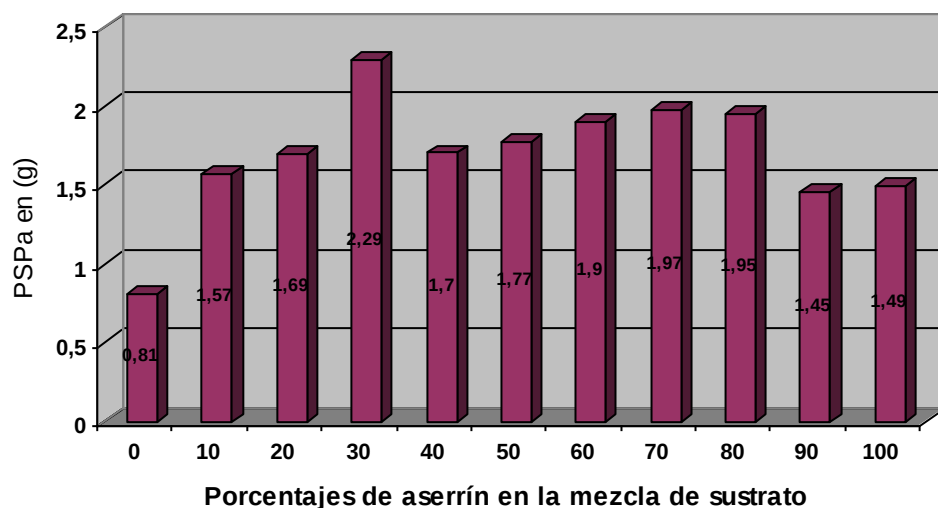


Figura 3. Comportamiento del peso seco de parte aérea de *Pinus patula* en las mezclas de porcentajes de aserrín.

2.5.4 Peso seco de la raíz

El peso seco de la raíz al igual que el peso seco de la parte aérea presenta diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 3). De acuerdo a la comparación de las medias de Tukey se forman tres grupos (Cuadro 4). El tratamiento que contenía la mezcla de 30% de aserrín + 70% de la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita alcanzó el mayor valor de peso seco de raíz (0.83 g) seguido de los tratamientos con 80, 10, 60, 70, 40 y 50% de aserrín con valores de 0.8, 0.77, 0.58, 0.55 0.54 g. respectivamente, no siendo estadísticamente diferentes entre estos siete ($p = 0.05$); El segundo grupo lo forman los tratamientos con 20 y 90% de aserrín con valores de 0.48 y 0.47 g; Los valores mas bajos para esta variable lo presentaron los tratamientos con 100 y 0% de aserrín con valores de 0.43 y 0.42 g (Figura 4).

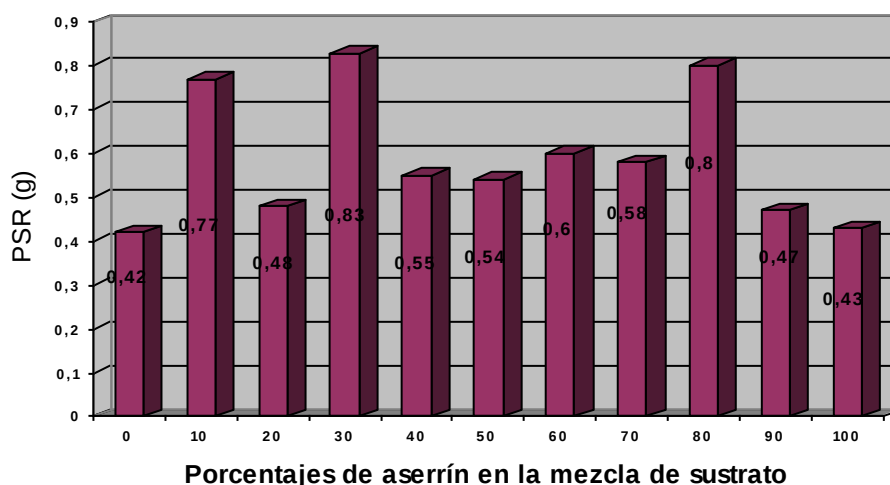


Figura 4. Comportamiento del peso seco de la raíz de *Pinus patula* en las mezclas de porcentajes de aserrín.

2.5.4 Peso seco total

La variable peso seco total presenta diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 3). El análisis de comparación de medias de Tukey agrupa el peso seco total en cuatro grupos (Cuadro 4). El tratamiento que alcanzo el mayor valor de peso seco total fue el de 30% de aserrín con un valor de 3.12 g, seguido de los tratamientos con 80, 70, 60, 10 y 50% de aserrín con valores de 2.75, 2.55, 2.51, 2.34 y 2.32 g. respectivamente, no siendo estadísticamente diferentes entre estos seis ($p = 0.05$); El segundo grupo estuvo formado por los tratamientos con 40 y 20% de aserrín con valores de 2.25 y 2.17 g. respectivamente; Al tercer grupo lo forman los tratamientos con 90 y 100% de aserrín con valores de 1.93 y 1.92 g; El valor mas bajo para esta variable (1.24 g), lo presento la mezcla que solo contenía peat moss-agrolita-vermiculita (Figura 5).

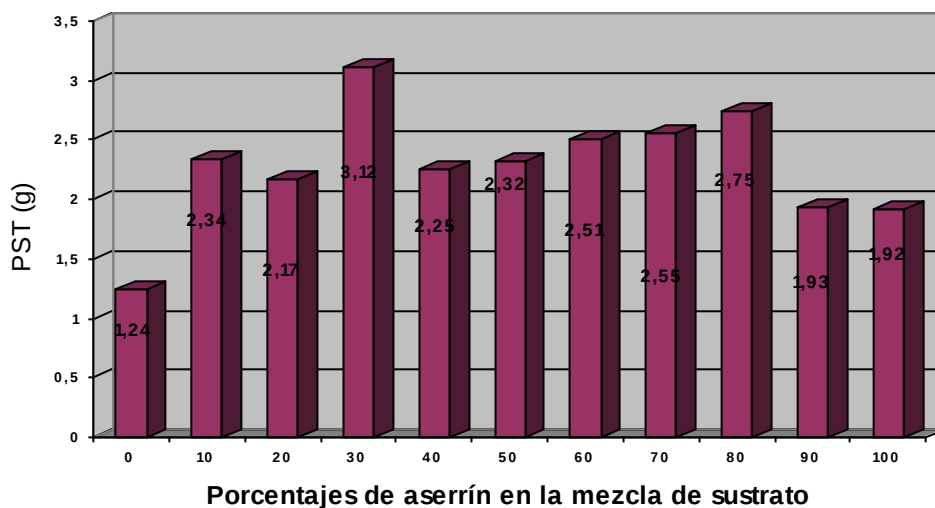


Figura 5. Comportamiento del peso seco total de *Pinus patula* en las mezclas de porcentajes de aserrín.

De manera general, las variables descritas anteriormente tuvieron un comportamiento similar, los mejores resultados se obtuvieron cuando las plantas crecieron en el tratamiento de 30% de aserrín + 70% de la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita; sin embargo, la reducción de sustratos importados no se disminuye significativamente. No obstante, resultó estadísticamente igual a los tratamientos que contenían de 40 a 80% de aserrín, y es en estos tratamientos donde el ahorro por concepto de sustratos es importante (80%), considerando que al utilizar la mezcla con 80% de aserrín los costos de producción de planta se reducirían sustancialmente. Además, no se detectó que el aserrín en la mezcla compuesta por 80% de aserrín generara plantas de calidad inadecuada en comparación con la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita, por el contrario, fue el segundo mejor sustrato en producir las plantas con las mejores características (sólo por debajo del tratamiento con 30% de aserrín aunque no presentaron diferencia estadística entre ellas). Estos resultados confirman los datos de Boodley (1998), quien asegura que el aserrín crudo puede ser utilizado como medio de crecimiento si se agrega cierta cantidad de fertilizante.

De igual forma Starck y Lukaszuk (1991) reportaron que con altas dosis de fertilizante es posible incluir aserrín crudo hasta en un 75%, y que con esta mezcla se obtienen los más grandes tallos y diámetros de especies ornamentales. Pudelski (1983) encontró que la mezcla de aserrín crudo y turba en volumen de 75 y 25% respectivamente, dio buenos resultados en especies ornamentales. Con los resultados obtenidos se descarta el hecho de que el aserrín presente efectos tóxicos en la producción de plantas, por lo que su utilización representa un material

alternativo para el viverista forestal, tomando en cuenta que es de fácil manejo, barato y además, que se encuentra disponible en grandes cantidades, sin olvidar que se deben realizar los ajustes correspondientes con la aplicación de nutrimentos.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde las mezclas con altas concentraciones de aserrín dieron los mejores resultados son alentadores, Mastalerz (1977) afirma que el aserrín es el sustrato más común y ampliamente utilizado porque tiene muchas características que lo hacen deseable para la preparación de los medios de crecimiento. De acuerdo con este autor todos los tipos de aserrín mejoran las características físicas de los medios de crecimiento; además, el tamaño de las partículas de aserrín es tal que es fácilmente manejable con otros componentes del medio; esto confirma lo que sucedió en este trabajo ya que las mejores plantas se presentaron cuando crecieron en altos porcentajes de aserrín, no obstante, el complemento para la mezcla fue de productos importados que contribuyeron a mejorar las características del sustrato para que las plantas crecieran satisfactoriamente.

Una de estas propiedades fue el tamaño de las partículas ya que el aserrín es el complemento perfecto para llenar los huecos que quedan en la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita, con esto se incrementa la capacidad de retención de agua. Caron *et al.* (2001) descubrieron que si se elimina el tamaño de partícula pequeño disminuye la capacidad de retención de agua en el sustrato. Esto sugiere que el tamaño de la partícula tiene una gran importancia en las propiedades físicas del sustrato y por lo tanto en el desarrollo de la planta, lo que explica en parte el

comportamiento que tuvieron los tratamientos que contenían aserrín. Por otra parte De Boodt y Verdonck (1972) encontraron que el espacio poroso total del aserrín es de 84.65% lo que lo acerca al sustrato ideal, comparándolo con la turba negra que presenta 86%, lo anterior es importante tomando en cuenta que las mezclas que contenían de 40 a 80% de aserrín presentaron una equilibrada estructura de poros, lo que proporcionó un buen intercambio gaseoso para el sistema radicular, lo cual afectó directamente a todas las funciones de la planta como la absorción de agua y nutrimentos.

Las plantas que crecieron en las mezclas que contenían altos porcentajes de aserrín presentaron aspectos de mayor vigor con colores verdes más oscuros y plantas mejor conformadas, a medida que avanzaba su estancia en el invernadero. Beardsell *et al.* (1979) Encontraron que en el aserrín, el agua disponible como una medida de porcentaje de humedad en volumen, es muy similar al de la turba (51.9% contra 50.2% respectivamente); sin embargo, el aserrín mantiene a la planta sin marchitarse por un periodo más largo (14 días), que el esperado de acuerdo a la capacidad de retención de agua disponible, contrario a la turba que únicamente mantiene a la planta sin marchitarse por 7.3 días bajo las mismas condiciones ambientales.

Las plantas que tuvieron una mejor disponibilidad de nutrimentos fueron las que presentaron los mayores valores de las variables altura, diámetro, PSPa, PSR y PST y estas fueron las que se desarrollaron en las mezclas que contenían de 30 a 80% de aserrín, esto podría ser explicado por el pH resultante del aserrín + la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita ya que el principal efecto del pH es su influencia en la

disponibilidad de los nutrimentos, especialmente en los micronutrimentos, ya que muchos nutrimentos son inaccesibles a las raíces o a veces tóxicos con pH extremos. De acuerdo con Ruano (2003), el viverista debe mantener los valores de pH en el sustrato con un rango ligeramente ácido entre 5.5 y 6.5. Mateo (2002) encontró que las mezclas con más del 50% de aserrín presentaron un pH menor a 6.0, el pH disminuyó a medida que aumentó la cantidad de aserrín, hasta valores de 4.7 y 4.5, en la mezcla con 100% de aserrín. Esto es de gran importancia ya que el pH resultante de las mezclas que arrojaron los mejores resultados estuvieron dentro de los rangos óptimos de pH de acuerdo con el autor.

Los peores resultados se presentaron en los tratamientos que contenían cero y 100% de aserrín, es decir que uno de los tratamientos que presento los valores más bajos correspondió a la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita, que es el tratamiento recomendado para el sistema tecnificado de producción de planta en vivero. Para esta mezcla de sustratos el fabricante recomienda fertilizante de lenta liberación, fertilizante soluble aplicado al sistema de riego y aplicaciones foliares, en el presente trabajo estas aplicaciones extras de fertilización no se realizaron, lo que podría explicar el pobre desarrollo de las plantas en este tratamiento.

En cuanto al tratamiento que contenía 100% de aserrín los malos resultados podrían ser explicados por el exceso de humedad que presento este sustrato, generado por el tamaño de partículas, ya que suele comportarse con mejores resultados cuando se mezcla con materiales de partículas más gruesas que aporten una mayor aireación, como es el caso de los sustratos importados. Otro de los factores que podrían afectar

el crecimiento de las plantas es la relación C/N ya que en el aserrín crudo el contenido de carbono es muy elevado, reteniendo cantidades importantes de nitrógeno lo que influye negativamente en su crecimiento al retener el aserrín iones de nitrógeno que le servirían a la planta.

La información acerca de la producción de especies forestales creciendo en sustratos a base de aserrín es muy limitada, por lo que se recurrió al cultivo de hortalizas que es donde más trabajos se han realizado. Adamson y Maas (1971) mencionan que los jitomates (*Lycopersicon esculentum* Mill) pueden crecer exitosamente en medios sin suelo compuestos completamente de aserrín crudo si se enriquecen adecuadamente con los nutrimentos minerales esenciales. En este trabajo al utilizar aserrín el rendimiento incrementó en casi 50% con respecto al testigo.

Pudelski (1978) utilizó una mezcla con 75% de aserrín fresco + 25% de turba y logró un rendimiento superior al testigo compuesto únicamente de turba. Concluyó que el aserrín crudo tomado directamente del aserradero es efectivo para el crecimiento de jitomate y pepino. El mismo autor, pero en 1980, menciona que es posible usar aserrín y corteza de pino no composteados de especies de coníferas como sustrato para el crecimiento de hortalizas. D'angelo *et al.* (1993) encontraron que en plantas ornamentales el aserrín crudo puede sustituir hasta en un 66% al peat moss en mezclas de sustratos para la producción de plantas de calidad. Ismaili *et al.* (1996), en trabajos realizados en la producción de melón (*Cucumis melo* L.) utilizando como sustrato aserrín crudo del árbol de hule (*Ficus elastica*), encontraron mejores

resultados cuando aumentaron la proporción de aserrín crudo a un 60%, además mencionan que no se observaron síntomas de toxicidad en las plantas. Beltran y Rembao (1996), en una investigación con *Petunia híbrida*, reportan que el aserrín crudo en porcentajes de 55, 65 y 75% puede competir con la turba canadiense en peso seco de la planta y tiempo de floración. Jarvis (1997) reporta que el aserrín crudo ha sido efectivo en el cultivo de jitomate y lechuga en la Columbia Británica (Canadá).

Andrade y Valenzuela (2002) realizaron un estudio con plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en sustratos a base de aserrín de *Pinus radiata* D. Don. Los tratamientos que se utilizaron fueron aserrín sin tratar, suelo rojo arcilloso y una mezcla de ambos. Encontraron que las plantas de tomate cultivadas en sustratos que incluyeron aserrín tratado con mezclas fungicidas presentaron los mejores resultados.

Los resultados del presente trabajo, de manera general, coinciden con lo realizado por Mateo (2002) en la producción de planta de *Pinus patula* y *P. teocote*, donde encontró que mezclas que contenían entre 70 y 80% de aserrín con fertilizante produjeron el mayor peso seco, altura y diámetro de las plantas de ambas especies al comparar mezclas de 10 a 100% de aserrín con tierra de monte. Por otra parte Martínez (2005), evaluó el efecto de diferentes combinaciones de sustratos (aserrín, arena de río y tierra de monte) sobre el crecimiento y calidad de planta de *P. patula* en vivero. Encontró que el mayor valor para las variables PSPa, PSR, ALT y DIAM se

presentaron cuando las plantas se desarrollaron en el sustrato que contenía entre 80 y 90% de aserrín.

Reyes (2005) evaluó el efecto de diferentes mezclas de aserrín (cuatro mezclas de sustratos compuestos de aserrín, tierra de monte, corteza de pino, peat moss y agrolita) sobre el crecimiento inicial de *Pinus pseudostrobus* var. *Apulcensis*, producidas con el sistema tradicional en vivero. Utilizó cuatro tratamientos, mezclando 80% de aserrín + 20% de cada uno de los demás componentes: tierra de monte, corteza de pino, peat moss y agrolita. A cada mezcla de sustrato se le aplicó el fertilizante de liberación lenta Multicote[®] (18-6-12) en una dosis de cinco kg/m³. El investigador encontró que la mezcla que contenía 80% de aserrín + 20% de peat moss, resultó ser la mejor para las variables PSPa, PSR, ALT y DIAM.

Los experimentos antes citados reportan resultados muy similares a los del presente trabajo ya que, de manera general, los tres autores reportan los mayores valores para las mezclas de aserrín que contenían 80%. Por lo que al sustituir 80% de los sustratos importados por aserrín implicaría una reducción en los costos de producción de plantas en vivero. Por otro parte también es importante mencionar que se reduciría la salida de divisas, dado que la turba es un sustrato de importación. El aserrín es un desperdicio de la industria forestal y su costo es muy bajo y en muchas regiones forestales no tiene valor. Por lo anterior se puede decir que el aserrín fresco en combinación con otros materiales, representa un medio de crecimiento alternativo a los sustratos importados en la producción de especies forestales.

2.5.5 Relación (PSPa/PSR)

Uno de los indicadores de la calidad de planta producida en vivero es el cociente que resulta de dividir el peso seco de parte aérea (PSPa) entre el peso seco de raíz (PSR). Para esta variable obtuvimos una diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 3). De acuerdo a la prueba de medias de Tukey se formaron tres grupos (Cuadro 4). Los mayores valores para esta relación se presentaron en las plantas que se desarrollaron en los tratamientos que contenían de 20 a 100% de aserrín con un valor promedio de (3.34), no siendo estadísticamente diferentes entre estos tratamientos ($p = 0.05$). El segundo grupo lo forma el tratamiento con cero % de aserrín con un valor de 2.16; El tercer grupo lo formó el tratamiento con 10% de aserrín con un valor de 2.08 (Figura 6).

En especies de coníferas la relación PSPa/PSR no debe sobrepasar el valor de 2.5 cuando la planta esté destinada para sitios con problemas de disponibilidad de agua (Thompson, 1985). La mejor calidad de planta se obtiene cuando la parte aérea es relativamente pequeña y la raíz grande, lo que puede garantizar una mayor supervivencia ya que evita que la transpiración exceda a la capacidad de absorción. Por lo tanto las plantas obtenidas bajo esta metodología tendrían ciertos problemas de supervivencia en sitios secos, pero dado que el hábitat natural del *Pinus patula* es de alta humedad las plantas producidas serían adecuadas para los lugares en que normalmente se desarrolla esta especie.

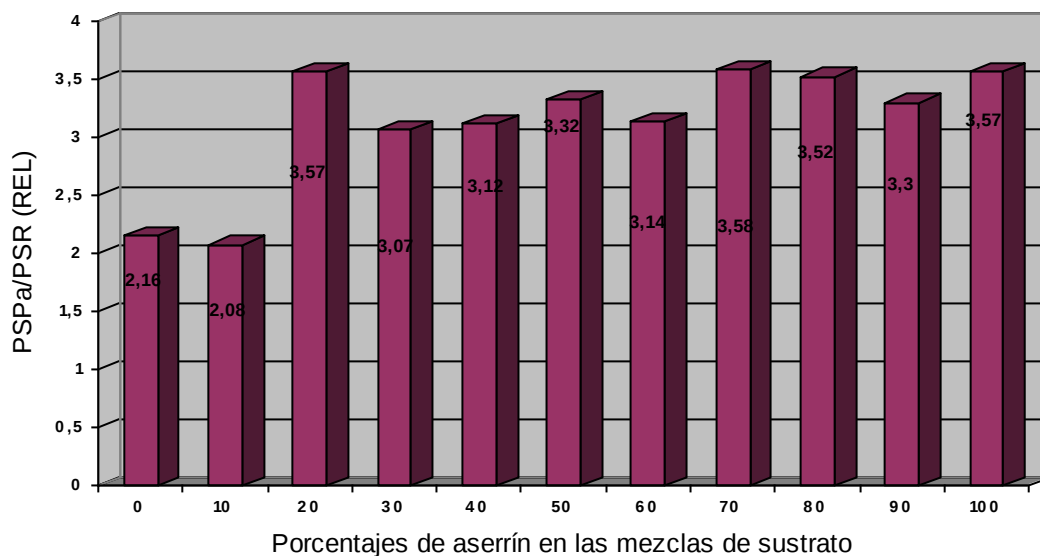


Figura 6. Comportamiento del cociente del peso seco de parte aérea y peso seco de la raíz de *Pinus patula* en las mezclas de porcentajes de aserrín.

Los valores de la relación PSPa/PSR del presente trabajo resultaron similares a otras especies con sustrato a base de aserrín, como los reportados por Reyes (2005) con *Pinus pseudostrobus*, con valores de 2.33. Martínez (2005) por su parte trabajando con *Pinus patula* encontró que el mayor valor para esta relación se obtuvo en una mezcla que contenía 60% de aserrín + 40% de tierra de monte; sin embargo, los segundos mejores valores correspondieron a las mezclas que contenían 80 y 90% de aserrín.

2.5.7 Índice de esbeltez

La relación altura/ diámetro o índice de esbeltez, es otro indicador que combina los valores de las variables altura y diámetro, con el fin de tener una mejor predicción de

la calidad de la planta. Para esta variable se obtuvo una diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 3). De acuerdo con la prueba de comparación de medias, de Tukey, se formaron cuatro grupos (Cuadro 4). Los tratamientos que presentaron los mayores valores para el índice de esbeltez se presentaron en las plantas que crecieron en los tratamientos que contenían de 20 a 80% de aserrín con un valor promedio de (10.47). El segundo grupo lo formaron los tratamientos con 10 y 100% de aserrín con valores de 9.11 y 9.07 respectivamente. El tercer grupo lo formó el tratamiento con 90% de aserrín con un valor de 8.86, y el valor mas bajo (6.89) fue para el tratamiento con cero % de aserrín. (Figura 7).

Este índice relaciona la resistencia de la planta con su capacidad fotosintética (Toral, 1997). Se recomienda que los valores sean bajos, lo que indica una planta más robusta y con menos probabilidad de daño físico por la acción del viento, sequía o heladas en el sitio de plantación (Thompson, 1985). Sin embargo, los valores obtenidos en el presente trabajo indican que las plántulas crecieron en altura y su crecimiento en diámetro fue menor, por lo que se obtuvieron plantas delgadas. Cano *et al.* (1998) mencionan que en el sistema actual de producción de los viveros en México, las plantas producidas en contenedores cónicos o bloques de unicel son en general altas y delgadas, debido a que las practicas culturales utilizadas en el sistema tecnificado favorecen más el desarrollo de la parte aérea que el de la raíz en comparación con el sistema tradicional.

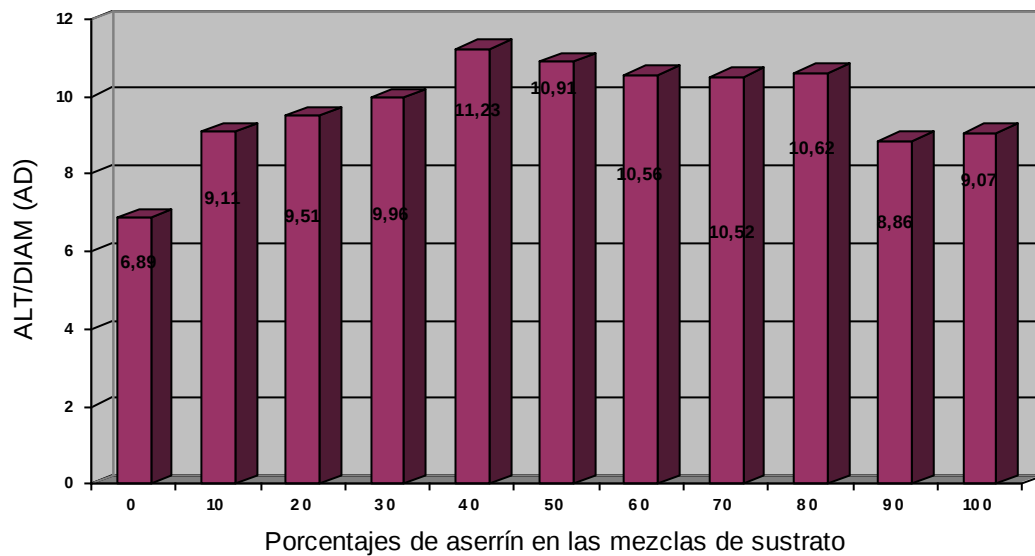


Figura 7. Comportamiento del cociente de la altura y el diámetro de *Pinus patula* en las mezclas de porcentajes de aserrín.

2.5.8 Índice de calidad de Dickson

Para esta variable se obtuvo una diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 3). De acuerdo con la prueba de comparación de medias, de Tukey, se formaron tres grupos (Cuadro 4). El mayor valor para este índice (0.24) se presentó en las plantas que se desarrollaron en el tratamiento con 30% de aserrín, seguido de los tratamientos con 80, 10, 70, 60, 20, 90 y 50% de aserrín con valores de 0.21, 0.18, 0.18, 0.17, 0.17, 0.16 y 0.16 respectivamente, no siendo estadísticamente diferentes entre estos tratamientos ($p = 0.05$). El segundo grupo lo formaron los tratamientos con 100, 40 y 0% de aserrín con valores de 0.15, 0.15 y 0.13 respectivamente (Figura 8).

Este índice combina la información de los dos índices anteriores y los ajusta por el efecto del tamaño de la planta, por lo que un aumento en el índice representa plantas de mejor calidad, lo cual implica que, por una parte, el desarrollo de la planta es grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radical están equilibradas (Oliet, 2000).

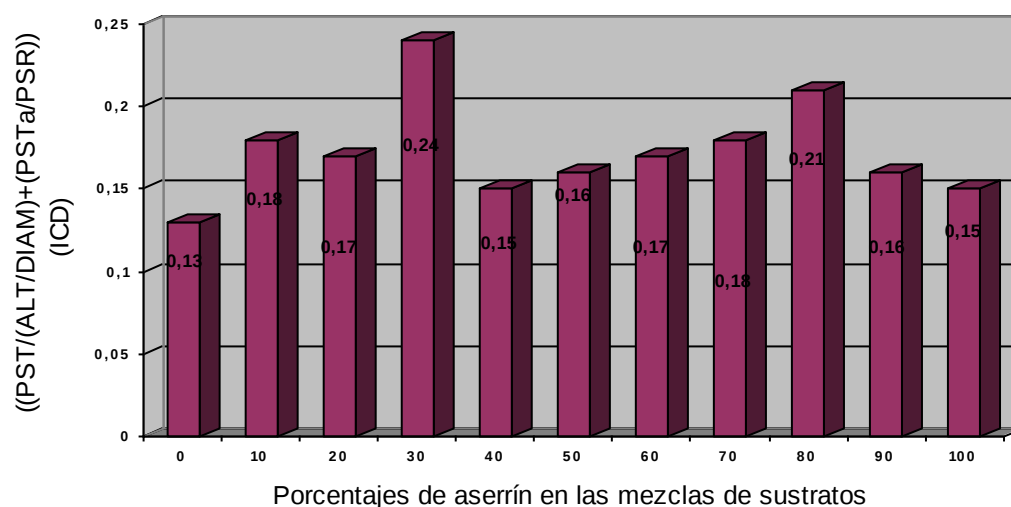


Figura 8. Comportamiento del cociente del peso seco total y el cociente de la altura y el diámetro mas el cociente del peso seco del tallo y el peso seco de la raíz (Índice de calidad de Dickson) de *Pinus patula* en las mezclas de porcentajes de aserrín.

Los valores de índice de esbeltez y del índice de Dickson (ICD) resultaron similares a los reportados por Reyes (2005) con plantas de *Pinus patula*, con valores altos para los índices de esbeltez (entre 6.55 y 5.74) y bajos para el ICD, entre 0.48 y 0.25. De igual forma resultaron similares a otras especies con otros sustratos, como los encontrados por Román *et al.* (2001) con *Pinus greggii* Engelm. (Var. *Australis* Donahue & Lopez) con valores entre 11.48 y 12.08, para el índice de esbeltez, y

valores bajos para el ICD (entre 0.4 y 0.6); el autor atribuyó estos resultados a la presencia de un gran crecimiento aéreo con respecto al radical debido a un exceso de nutrimentos. Martínez (2005) reportó el mayor ICD cuando las plantas de *Pinus patula* se desarrollaron en un sustrato compuesto por 80 y 90% de aserrín. Cobas *et al.* (2001) con *Hibiscus elatus* Sw, utilizando como sustrato una mezcla de 20% corteza de pino compostada + 40% humus de lombriz + 40% turba, encontraron valores de 0.1 y 0.2 para el ICD, lo que no es adecuado. Barajas *et al.* (2004) trabajando con *Pinus greggii* (var. *Australis*), utilizaron un sustrato que consistió en una mezcla de suelo forestal y arena (3:1); obtuvieron valores de ICD menores a 0.5 a los diez meses de edad. Por lo tanto los sustratos compuestos con las mezclas a base de aserrín en combinación con sustratos importados, producen plantas iguales e inclusive de mejor calidad que los producidos con otros.

2.6 CONCLUSIONES

- Todas las mezclas de sustrato que contenían aserrín produjeron plantas de mejor calidad, comparadas con la mezcla de sustratos recomendados para el sistema tecnificado de producción de planta en vivero (considerada como testigo).
- El aserrín crudo de *Pinus teocote* puede sustituir hasta un 80% a la mezcla de peat moss, agrolita y vermiculita, generando plantas de buena calidad.

2.7 LITERATURA CITADA

- Adamson, R., M.; Mass, F., E. 1971. Sawdust and other soil substitutes and amendments in greenhouse tomato production. *Hortscience* 6: 397-399.
- Andrade, S., N.; Valenzuela, F., E. 2002. Aserrín de pino petrado con cepas fungicidas como sustrato para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agrosur* 30 (2): 22-30.
- Barajas, R., J.E.; Aldrete, A., J.J.; Vargas, H.; López U., J. 2004. La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38: 545-553.
- Beardsell, D.V.; Nichols, G., D.; Jones, L., D. 1979. Water relations of nursery potting-media. *Scientia Horticulturae*. 11: 9-17.
- Beltrán, V., C.H.; Rembao, J., A. 1996. Evaluación de diferentes sustratos orgánicos para la producción de planta en vivero. XXVII Congreso nacional de la ciencia del suelo. Cd. Obregón Sonora, México. P. 192.
- Boodley, W.J. 1998. *The Commercial Greenhouse*. 2nd. Edition. Del mar publishers, Washington, USA. Pp. 146-148.
- Cabrera, R., I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo serie Horticultura* 5 (1): 5-11.
- Cano, P., A.; Vargas, H., J.J.; González, H., V.A.; Vera, C., G.; Cetina, A., V.M. 1998. Caracterización morfológica de plántulas de *Pinus greggii* Engelm. En dos sistemas de producción en vivero. *Ciencia Forestal en México* 23 (84): 19-27.

- Caron, J.; Morel, N., P.; Riviere, M., L. 2001. Aereation in growing media containing large particle size: *Acta Horticulturae*. 548: 229-233.
- Cobas, L., M.; Castillo, I.; González, I., E. 2001. Comportamiento de diferentes parámetros morfológicos en la calidad de la planta de *Hibiscus elatus* sw. Cultivada en viveros sobre tubetes en la provincia de Pinar del Río. *Revista Avances* 3(1): 17-21.
- D' angelo, G.; Calstelnuovo, F., M.; Galli, O., A.; Vallagussa, F. 1993. Relations between physical and chemical propertis of the substrate and growth of some pot ornamentals. *Acta Horticulturae*. 342: 313-323.
- De Boodt, M.; Verdonck, O. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*. 26: 37-44.
- Dickson, A.; Leaf, A.L.; Hosner, J.F. 1960. Quality appraisal of write spruce and white pine seedling stock in nursecies. *For. Chron.* 36: 10-13.
- García, C., O. 1999. Materiales orgánicos como sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *spathyllum wallisii* cultivadas en maceta. Tesis de Maestría. Colegio Postgraduados, Montecillos, México. 115 p.
- Ismail, M.R.; Rahmani, Y.; Awang, Y. 1996. The use of ruberwood sawdust (RS): peat mix in the soilles cultivation of melon (*Cucumis melo* L.). *Acta Horticulturae*. 450: 149-154.
- Jarvis, R.W. 1997. Managing disease in greenhouse crops. APS press, Minnesota, USA. pp 19-189.
- Martínez, R., M. 2005. Inoculación con hongos comestibles ectomicorrizicos, poda química y sustratos en el mejoramiento de calidad de *Pinus patula* en

- vivero. Tesis de Maestría. Colegio Postgraduados, Montecillos, México. 83 p.
- Mastalerz, J.W. 1977. The greenhouse environment. John Wiley and sons New York. USA. 629 p.
- Mateo, S., J.J. 2002. Potencial del aserrín como alimento para rumiantes y sustrato para plantas. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 92 p.
- Oliet, J. 2000. La calidad de la postura forestal en vivero. Escuela Técnica Superior de ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba. España. 93 p.
- Pudelski, T. 1978. Using waste products of wood industry and paper mills as substrates and organic fertilizers in growing vegetables under protection. Acta Horticulturae. 82: 67-74.
- _____.1980. Common beech bark compost as growing medium and soil improver in growing vegetables under protection. Acta Horticulturae. 99: 105-113.
- _____.1983. Composted and non composted wood wastes in growing vegetables under protection in poland. Acta Horticulturae. 133: 237-257.
- Reyes, R., J. 2005. Practicas culturales para mejorar la calidad de plantas de *Pinus patula* y *P. Pseudostrobus* var. *Apulcensis* en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de postgraduados, Montecillos, México. 95 p.
- Román, J., A.R.; Vargas, H., J.J.; Baca, C., G.A.; Trinidad, S., A.; Alarcón, B., M.P. 2001. Crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* Engelm. En respuesta a la fertilización. Ciencia Forestal en México 26(89): 19-43.
- Ruano, M., J.R. 2003. Viveros forestales: Cultivo de brinzales forestales en envase. Sustrato o medio de cultivo. Mundi-prensa. España. Pp 126-143.

- Santiago, T., O. 2002. Evaluación del crecimiento en vivero de plántulas de cinco especies de coníferas producidas en tres mezclas de sustratos y tres tamaños de contenedor. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 241 p.
- SAS. 1996. Statical Analysis Sistem. User's Guide: Basics SAS System Institute Inc. Cary, N.C: USA.
- SEMARNAT. 2005. Informe de la situación de Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales.
- Starck, J.R.; Lukaszuk, K. 1991. Effect of fertilizer nitrogen and potassium upon yield and quality of carnations grown in peat and sawdust. *Acta Horticulturae*. 294: 289-296.
- Thompson, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation: What you can tell by looking. *In*: Evaluating seedling quality; Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Test. M. L. Duryea (Ed.). Forest Res. Lab., Oregon State University, Corvallis, Or. USA. pp: 59-71.
- Toral, I.M. 1997. Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento Técnico 1. Programa de Desarrollo forestal integral de Jalisco. SEDER., Fundación Chile, Consejo Agropecuario de Jalisco. México. 28 p.

CAPITULO 3. PRODUCCION DE *Pinus patula* Schl. et Cham. EN ASERRÍN

CRUDO Y DOSIS DE FERTILIZACIÓN.

RESUMEN

Entre los principales problemas que se presentan en la producción de planta en vivero está el uso adecuado de sustratos y rutinas de fertilización que conduzcan a lograr la calidad tanto morfológica como fisiológica de la planta, para resistir y superar las condiciones del sitio donde serán establecidas. En este trabajo se evaluaron los efectos de diferentes niveles de fertilizante de liberación lenta sobre el crecimiento inicial de *Pinus patula* Schl. et cham. Producidas en contenedor. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar donde se utilizó un sustrato a base de 70% de aserrín + 30% de peat moss-agrolita- vermiculita (60:20:20) respectivamente, con cinco niveles de fertilizante de liberación lenta Osmocote plus* (15-9-12) 0, 3, 6, 9 y 12 Kg/m³. A los ocho meses de edad, las plantas a las que se les aplicó el nivel de fertilización cinco (12kg/m³ del fertilizante) presentaron los valores más altos para las variables peso seco de parte aérea, peso seco total, altura, diámetro, relación parte aérea/raíz e índice de esbeltez. El nivel de fertilización tres (seis Kg/m³ de fertilizante) presentó los valores más altos para las variables peso seco de raíz e índice de calidad de Dickson. De acuerdo a los resultados obtenidos se presentó una relación directa entre la dosis de fertilización y las variables evaluadas, es decir a medida que se aumentó la cantidad de fertilizante se incrementó el valor de las variables evaluadas. Sin embargo, la aplicación de 12 kg/m³ de fertilizante ocasionó un desarrollo desequilibrado entre la parte aérea y la parte radical; la mejor calidad de planta se presentó con la aplicación de seis kg/m³.

3.1 INTRODUCCION

La producción de planta forestal en México para el ciclo 2004 fue de 169 884 890 árboles (SEMARNAT, 2005). Esas plantas se utilizaron principalmente en programas masivos de reforestación en áreas rurales donde la calidad de planta producida en vivero influye en la sobrevivencia en campo. Las prácticas culturales inapropiadas en vivero afectan la sobrevivencia en campo (Jonson y Cline, 1991). Estas prácticas afectan directamente las características morfológicas y fisiológicas de las plantas, tanto en la parte aérea como radical, en las cuales se expresa la calidad de la planta. A pesar de que éste es un factor importante durante el proceso de producción en vivero, la calidad de planta ha recibido poca atención en México (Aldrete, 2001).

El uso apropiado de fertilizantes en los viveros forestales es vital para incrementar la calidad de la planta, ya que un régimen de nutrición correcto mejora su calidad y favorece su nivel de desempeño en condiciones de campo (Landis, 1989). No obstante, aún no se han estudiado los requerimientos nutrimentales en particular para cada especie forestal.

La producción de planta sana depende de un adecuado suministro de nutrimentos. Aún con una buena mezcla de suelo, el crecimiento de los árboles en envase necesita la adición de minerales suplementarios, especialmente nitrógeno y potasio (Hartmann y Kester, 1990). Una dosis balanceada o con los requerimientos apropiados de nutrimentos, mejora la morfología y fisiología de las plantas de acuerdo con los estándares establecidos en cada vivero (Cano *et al.*, 1998), lo que

reduce el tiempo de mantenimiento y proporciona características de vigor y calidad a las plantas (Arteaga y Bautista, 1999). Los viveros que utilizan fertilizantes de liberación lenta utilizan la dosis de 5 Kg/m³ de sustrato, que es la recomendada por la compañía que distribuye el producto. Sin embargo, en forma adicional se aplica fertilizante soluble que se incluye en el riego.

En los últimos años el aserrín se ha utilizado como sustrato generando buenos resultados, sin embargo cuando se utilicen altas cantidades de este subproducto de la industria maderera, deben aplicarse los requerimientos nutricionales adecuados (Mateo, 2002; Reyes, 2005). Por lo tanto, en el presente trabajo se pretende evaluar diferentes dosis de fertilizante de liberación lenta, en un sustrato compuesto por 70% de aserrín + 30% de peat moss-agrolita-vermiculita (60:20:20) respectivamente, sobre el crecimiento inicial de plantas de *Pinus patula* producidas con el sistema tecnificado.

3.2. OBJETIVO: Determinar el nivel óptimo de fertilizante por aplicar en un sustrato a base de aserrín crudo para la producción de *Pinus patula*.

3.3. HIPOTESIS: El aserrín al tener una relación carbono/nitrógeno alta, requiere niveles de fertilización mayores que las recomendadas para los sustratos importados.

3.4 MATERIALES Y METODOS

3.4.1 Ubicación del experimento

El experimento se instaló en el invernadero del Área Académica de Ingeniería Forestal del Instituto de Ciencias Forestales de La Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, que se encuentra ubicado entre las coordenadas 20° 05' latitud norte y 98° 22' longitud oeste, a una altitud de 2140 msnm, en la ciudad de Tulancingo de Bravo, Hidalgo.

3.4.2 Beneficio a la semilla y aserrín.

La colecta de conos de *P. patula* se realizó en el mes de Noviembre del 2004 en un predio particular en el municipio de Zacualtipán, estado de Hidalgo. Posteriormente se trasladaron en costales al invernadero del Área académica de Ingeniería Forestal para ser puestos al sol por 10 días, hasta que abrieron las escamas y soltaron las semillas, después se limpió la semilla quitándole el ala por fricción en forma manual, a través de corrientes de aire se separó la semilla de la parte del ala, quedando en condiciones para ser sembrada.

El aserrín fresco de *P. teocote* se obtuvo de un aserradero ubicado en el poblado de San Alejo municipio de Tulancingo, Hgo. Se homogeneizó con una criba de 6 mm de abertura por lo que las partículas de aserrín que se utilizaron para el presente experimento fueron menores a 6 mm; el aserrín no recibió ningún tratamiento, se utilizó tal como se extrajo del aserradero por lo cual se le denominó aserrín crudo.

3.4.3 Preparación del sustrato para almacigo

El sustrato del almacigo estuvo compuesto por la mezcla de peat moss, agrolita y vermiculita en proporción 60:20:20 respectivamente. Las semillas se sembraron al boleó y se taparon con la misma mezcla, quedando a una profundidad de 6 mm. Los riegos fueron ligeros, aplicando un riego diario hasta que las plántulas emergieron, se aplicó 1.5 g de captan M-50 por litro de agua una vez a la semana para evitar la aparición del damping-off. Se realizó el trasplante anticipado que consistió en trasplantar las plántulas de *P. patula* a los 7 días después de la emergencia cuando la radícula tenía de 2 a 4 cm.

3.4.4 Preparación del sustrato para el crecimiento de las plantas

Los componentes que se utilizaron en la elaboración del sustrato fue Peat moss, agrolita y vermiculita en proporciones de 60:20:20 respectivamente, y aserrín, de la siguiente manera: 70% de aserrín y 30% del sustrato comercial. De cada tratamiento se llenaron 7 charolas de 49 cavidades (diámetro de 4 cm, altura de 19.05 cm. y una capacidad de 140 cm³) dando un total de 35 charolas.

3.4.5 Fertilización

El experimento consistió en aplicar diferentes dosis de fertilización a la mezcla de sustrato según el nivel de fertilización que le correspondía, el fertilizante que se utilizó fue Osmocote plus®, (15-9-12) más micro elementos, con un tiempo de

liberación de nueve meses. Las dosis de fertilización fueron clasificadas en cinco niveles, empezando en el primer nivel con 0 kg/m³ aumentando 3 kg por cada nivel, hasta llegar al quinto nivel con 12 kg/m³.

NIVEL 1: 0 kg/m³

NIVEL 2: 3 kg/m³

NIVEL 3: 6 kg/m³

NIVEL 4: 9 kg/m³

NIVEL 5: 12 kg/m³

3.4.6 Trasplante de plantas

En cada una de las cavidades de cada charola se trasplantaron plántulas de *P. patula*, cuidando que la altura y el vigor aparente fueran semejantes. La cantidad de plantas fue de 343 plantas por tratamiento y 1 715 plantas para el total del experimento. El trasplante se hizo en febrero del 2005 y el crecimiento de las plantas fue bajo condiciones de invernadero.

3.4.7 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, utilizando tablas de números aleatorios para la distribución de los tratamientos, de modo que estos quedaron distribuidos como se muestra en la Cuadro 5.

Cuadro 5. Distribución de los tratamientos con los diferentes niveles de fertilización y siete repeticiones.

12	0	12	9	3	
9	6	3	6	0	6
12	9	3	3	0	6
12	0	9	3	3	12
9	0	0	6	0	3
12	12	6	9	9	6

Las plantas permanecieron en el invernadero ocho meses, aplicándoles riegos diarios durante el primer mes, a partir del segundo mes se les aplicó un riego cada tercer día, regándolos cuatro días a la semana durante los siete meses restantes del experimento.

3.4.8 Variables evaluadas en las plantas

Después de ocho meses de crecimiento se evaluaron mediante muestreo tres plantas por charola en cada una de las repeticiones del experimento, seleccionándolas aleatoriamente. Para medir las variables se procedió a desprender las plantas de la cavidad y exponer la parte radical, que se encontraba en el sustrato, a un chorro con agua de la llave para desprender el sustrato y medirlas. Las variables que se midieron en el mismo día que se saco el experimento fueron: altura y diámetro en la base del tallo. Para la medición de la altura se utilizo una regla graduada en centímetros y para medir el diámetro se utilizo un vernier digital con aproximación a centésimas de mm. A todas las plantas se les coloco una etiqueta para su identificación.

Posteriormente las plantas fueron llevadas al Laboratorio de Semillas Forestales del Centro de Investigaciones Forestales (CIF) y les fue separada la raíz de la parte aérea, teniendo ambas partes separadas fueron depositadas en bolsas de papel y después en una estufa marca Grieve modelo LW-120C a 70°C donde se mantuvieron durante 72 horas. Concluido este tiempo se peso la parte radical y aérea para obtener el peso seco.

Con los datos anteriores se estimaron el índice de esbeltez, la relación parte aérea/raíz y el índice de calidad de Dickson. El índice de esbeltez se calculo mediante el cociente de la altura en cm entre el diámetro del tallo en mm. La relación parte aérea/raíz se estimo como el cociente entre el peso de la parte aérea en gramos y el peso seco de la raíz en gramos. El índice de calidad de Dickson (ICD) resulto de integrar los valores de biomasa total, el índice de esbeltez y la relación parte aérea/raíz (Dickson *et al.* 1960), donde los valores más altos indicaron plantas de mejor calidad (Thompson, 1985).

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

3.4.9 Análisis estadístico

Los datos de las variables respuesta se sometieron a un análisis de varianza tradicional, también se realizó una comparación de medias a través de la prueba de Tukey, para ello se utilizó el software Statistical Analysis System de (SAS, 1996).

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIONES

El análisis de varianza obtenido es altamente significativo para las variables, altura (ALT) con un valor de 20.26; diámetro (DIAM) con un valor de 175.8; peso seco de la parte aérea (PSPa) con un valor de 7.7; peso seco de la raíz (PSR) con un valor de 0.6; peso seco total (PST) con un valor de 12.5; relación peso seco de la parte aérea entre peso seco de la raíz (PSPa/PSR) con un valor de 24.6; para la relación altura diámetro ó índice de esbeltez (IESB) con un valor de 6.8 y para el índice de calidad de Dickson (ICD) con un valor de 0.3 (Cuadro 6)

Cuadro 6. Análisis de varianza para las variables evaluadas en los tratamientos de fertilización.

F.V.	G.L.	Cuadrado medio de significancia							
		ALT	DIAM	PSPa	PSR	PST	PSPA/PSR	IESB	ICD
Tratamientos	4	20.26**	175.8**	7.7**	0.6**	12.5**	24.6**	6.8**	0.3**
Error	100	9.1	1.3	0.1	0	0.1	0.5	0.1	0

Cuadro 7. Influencia de los cinco tratamientos de fertilización en el crecimiento de plantas de *Pinus patula* en las variables evaluadas

TRATAMIENTOS (NIVELES DE FERTILIZACIÓN)	ALT (cm.)	DIAM (mm.)	PSPa (g.)	PSR (g.)	PST (g.)	PSPa/PSR	(IESB)	(ICD)
0	4,70 d	3,96 d	0,05 d	0,06 c	0,12 c	0,97 d	1,22 d	0,05 c
3	14,75 c	7,18 c	0,57 c	0,31 b	0,88 b	1,86 c	2,08 c	0,22 b
6	23,35 b	9,72 b	1,19 b	0,50 a	1,69 a	2,52 b	2,44 ab	0,35 a
9	24,97 b	10,43 ab	1,36 ab	0,44 a	1,81 a	3,35 a	2,39 b	0,32 a
12	29,50 a	10,94 a	1,50 a	0,43 a	1,93 a	3,61 a	2,7 a	0,31 a

3.5.1 Altura

La altura presenta diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 6). De acuerdo al análisis de comparación de medias de Tukey se forman cuatro grupos (Cuadro 7). El tratamiento que contenía 12 kg/m^3 alcanzo el mayor valor en altura (29.50 cm); el siguiente grupo lo forma el tratamiento con nueve kg/m^3 con un valor de 24.97 cm , aunque resulto estadísticamente igual ($p = 0.05$) al tratamiento con seis kg/m^3 con un valor de 23.35 cm ; el tercer grupo esta formado por el tratamiento con tres kg/m^3 con un valor de 14.75 cm ; y el peor valor para la variable altura fue para el tratamiento con cero kg/m^3 con un valor de 4.70 cm . (Figura 9).

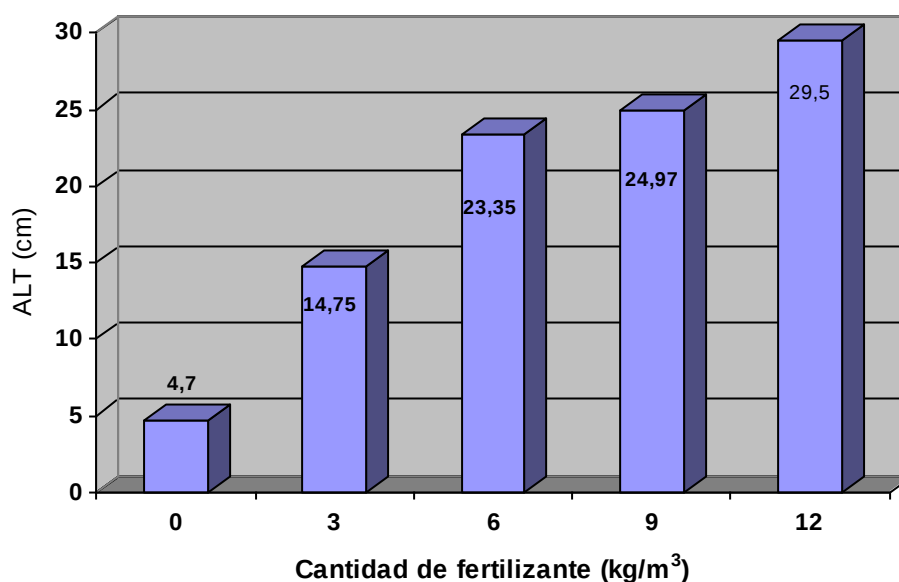


Figura 9. Comportamiento de la altura de *Pinus patula* tratado con diferentes dosis de fertilización.

3.5.2 Diámetro

El diámetro presenta diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 6). De acuerdo con la prueba de comparación de medias, de Tukey se formaron cuatro grupos (Cuadro 7). El tratamiento que presentó el mayor valor para la variable diámetro (10.94 mm) fue el que contenía 12 kg/m³, aunque resultó estadísticamente igual ($p = 0.05$) al tratamiento que contenía nueve kg/m³ con un valor de 10.43 mm; el siguiente grupo lo forma el tratamiento con seis kg/m³ con un valor de 9.72 mm; el menor valor para esta variable (3.96 mm) se presentó en el tratamiento con cero kg/m³ (figura 10).

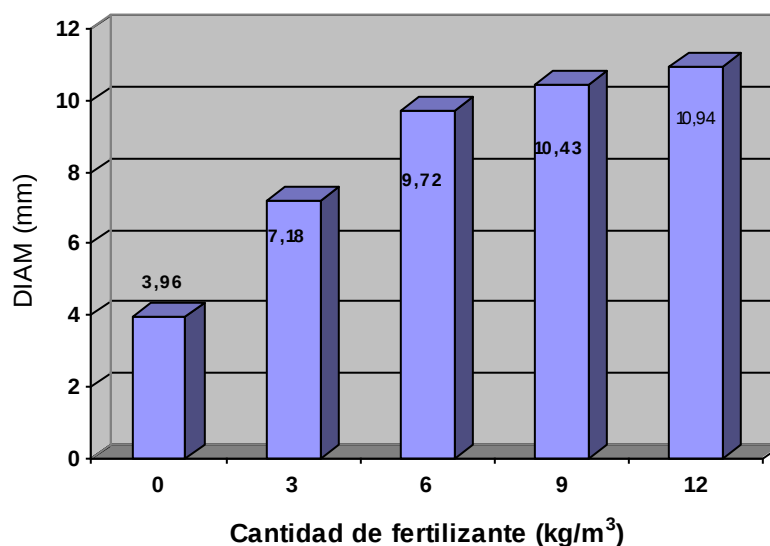


Figura 10. Comportamiento del diámetro de *Pinus patula* tratado con diferentes dosis de fertilización.

3.5.3 Peso seco de parte la aérea

El peso seco de la parte aérea presenta diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 6). El análisis de comparación de medias agrupa el peso seco de la parte aérea (PSPa) en cuatro (Cuadro 7). El tratamiento que presento el mayor valor para esta variable (1.50 g) fue el de 12 kg/m³ de fertilizante, seguido del tratamiento que contenía nueve kg/m³ con un valor de 1.36 g, no siendo estadísticamente diferentes entre ambos ($p = 0.05$); el segundo grupo esta formado por el tratamiento con seis kg/m³ con un valor de 1.19 g; al tercer grupo lo forma el tratamiento con tres kg/m³ con un valor de 0.57 g; y el menor valor para esta variable (0.05 g) se presento con el tratamiento con cero kg/m³ (Figura 11).

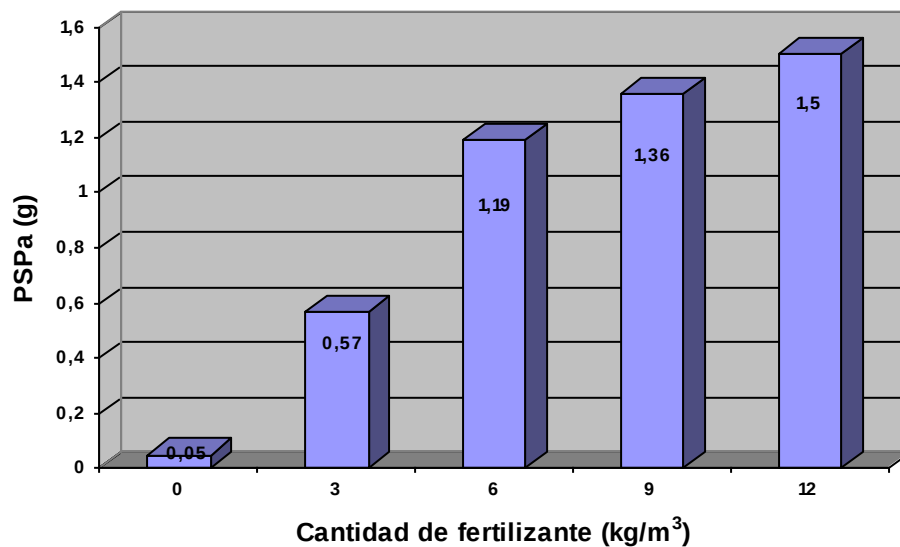


Figura 11. Comportamiento del peso seco de parte aérea de *Pinus patula* tratado con diferentes dosis de fertilización

3.5.3 Peso seco de la raíz

El peso seco de la raíz presenta diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 6). De acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey, se formaron tres grupos (Cuadro 7). El mayor valor para esta variable (0.50 g) se presentó con el tratamiento que contenía seis kg/m^3 , aunque resultó estadísticamente igual a los tratamientos que contenían nueve y 12 kg/m^3 con valores de 0.44 y 0.43 g. respectivamente; el siguiente grupo lo formó el tratamiento con tres kg/m^3 con un valor de 0.31 g.; y el menor valor se presentó con el tratamiento con cero kg/m^3 con un valor de 0.06 g. (Figura 12).

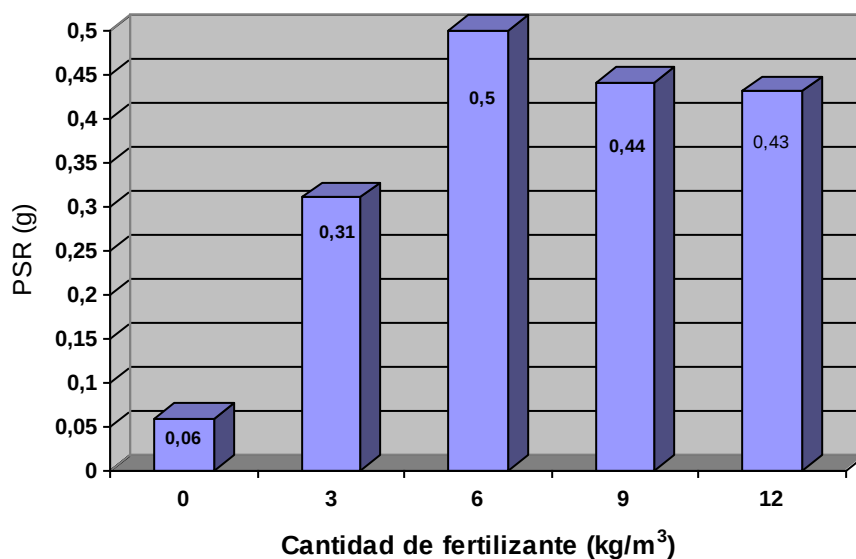


Figura 12. Comportamiento del peso seco de la raíz de *Pinus patula* tratado con diferentes dosis de fertilización.

3.5.5. Peso seco total

El peso seco total presenta diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 6). El análisis de comparación de medias agrupa el peso seco total en tres grupos (Cuadro 7). El tratamiento que presentó el mayor valor para esta variable (1.93 g) fue el que contenía 12 kg/m³, seguido de los tratamientos que contenían nueve y seis kg/m³ con valores de 1.81 y 1.69 g. respectivamente, no siendo estadísticamente diferentes entre estos tres tratamientos ($p = 0.05$); el siguiente grupo lo forma el tratamiento con tres kg/m³ con un valor de 0.88 g.; y el tercer grupo estuvo formado por el tratamiento con cero kg/m³ con un valor de 0.12 g. (Figura 13).

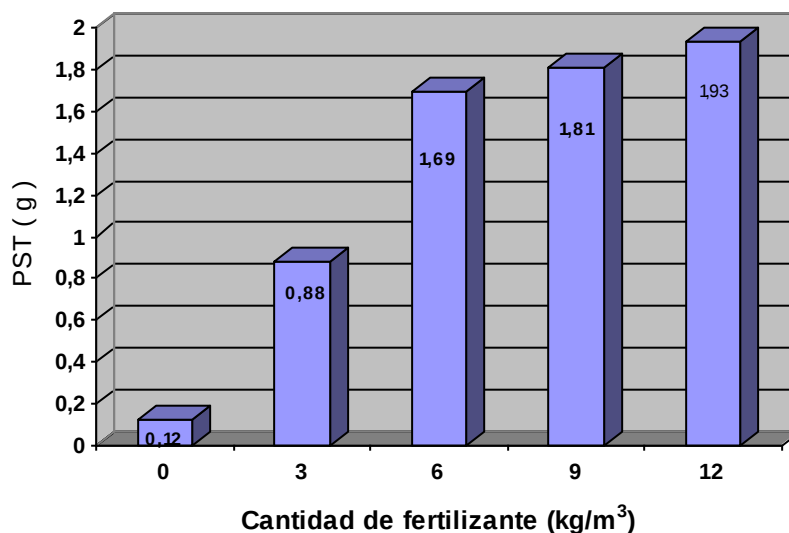


Figura 13. Comportamiento del peso seco total de *Pinus patula* tratado con diferentes dosis de fertilización.

De manera general, en el presente trabajo se presentó una relación directa entre las dosis de fertilización y las variables ALT, DIAM, PSPa y PST (sólo el PSR no presentó esta relación), es decir que a medida que se aumentó la cantidad de fertilizante, los valores para cada variable se incrementaron en la misma forma.

El bajo desarrollo que se presentó en algunas plantas de *Pinus patula* se puede explicar por el sustrato utilizado, ya que contiene un alto porcentaje de aserrín (70%). La característica del aserrín de un alto valor de su relación C/N influye negativamente en el crecimiento de la planta si no se aportan nutrimentos, la planta no se desarrolla satisfactoriamente debido a que bajo condiciones de cero fertilizante el aserrín no proporciona nutrimentos por lo que el desarrollo de las plantas fue mínimo, presentando plantas suprimidas con colores mayormente amarillos con aspectos de debilidad.

La contraparte fue cuando se aplicó fertilizante y se fue incrementando la dosis, ya que las plantas fueron presentando incrementos en altura y diámetro, adquiriendo mejores características de vigor debido a que el fertilizante en el sustrato aporta no sólo nitrógeno si no que otros nutrimentos que son asimilados por la planta; Binkley (1993), asevera que el crecimiento de la planta, puede ser reducido y al mismo tiempo modificado por la retención de algún elemento en particular. La retención de nitrógeno o fósforo tiende a restringir o incrementar el crecimiento en altura más que el crecimiento en la raíz; lo que explica lo sucedido en el presente trabajo ya que los mayores valores para las variables estudiadas se presentaron con la dosis de 12

kg/m³, a excepción de la raíz la cual presentó el mayor valor de peso seco cuando se le aplicaron seis kgm³.

Keller (1967) y Ruano (2003) mencionan que el nitrógeno es el elemento nutritivo que más necesitan las plantas para desarrollarse. Desempeña funciones fundamentales en la planta como la participación en la formación de compuestos orgánicos, como las proteínas, los nucleótidos y la clorofila, e influye de manera notable en el crecimiento vegetativo (Zottl y Tschinkel, 1971). Esto podría explicar los resultados obtenidos en este trabajo, dado que los mejores valores para las variables se presentaron cuando se les adiciono 12 kg/m³ del fertilizante de lenta liberación, siendo en este tratamiento donde las plantas tuvieron la mayor cantidad de nitrógeno disponible reflejándose en el buen crecimiento de las plantas.

La variable PSR fue la única variable que no presentó relación directa entre la dosis de fertilizante y sus valores. El valor más alto para esta variable se presentó con la dosis de seis kg/m³, esto podría indicar que para un óptimo desarrollo fisiológico de la parte radical de la planta en un sustrato con 70% de aserrín basta aplicarle seis kg/m³. Gallegos (1989) y Ruano (2003) mencionan que a pesar de la acción positiva del nitrógeno, es aconsejable evitar dosis excesivas y desequilibradas en relación a otros elementos. Ya que de presentarse provocaría un desarrollo desequilibrado de la parte aérea y radical. Por otra parte Zottl y Tschinkel (1971), mencionan que los elementos nutritivos que influyen mayormente en el desarrollo del sistema radical son el fósforo y el potasio lo que podría explicar el comportamiento de esta variable

debido a que la raíz no necesita altas dosis de nitrógeno y puede provocar fitotoxicidad.

Por otra parte, aunque el N-P-K son macronutrientes esenciales para el buen crecimiento de las plantas no se debe olvidar que los micronutrientes son también importantes en el desarrollo de éstas, tomando en cuenta que desempeñan funciones específicas que de no ser realizadas la planta presentaría deficiencias en su funcionamiento. Ruano (2003) dice que los microelementos son totalmente necesarios para las plantas, pero que, generalmente, están presentes en cantidades suficientes en casi todos los terrenos. Menciona que un suelo tiene que estar excesivamente agotado por numerosos cultivos intensivos durante muchos años, para que le falte algunos de los microelementos. Daniel *et al.* (1982) mencionan que las regiones que son productivas pueden presentar un descenso de la producción o la aparición de síntomas de deficiencia como resultado de la falta o eliminación excesiva de algún elemento menor, en particular. Por lo anterior se consideró importante aplicar también los microelementos debido a que el aserrín crudo por si solo no proporciona nutrientes.

Los resultados obtenidos con la utilización de fertilizante de lenta liberación en altos porcentajes de aserrín, son sobresalientes al comparar los resultados con el tratamiento al que no se le aplicó fertilizante, considerado como testigo. Estos resultados confirman los datos de Pudelski (1978) y Boodley (1998) quienes aseguran que el aserrín crudo puede ser utilizado como medio de crecimiento si se agrega una cantidad de fertilizante nitrogenado como nitrato de amonio. En un

estudio similar realizado por Reyes (2005) se encontró que las plantas de *Pinus patula* que se desarrollaron en los sustratos con una mezcla de 80 y 90% de aserrín, con una dosis de cinco kg/m³ de fertilizante de lenta liberación Multicote (18-6-12) presentaron los valores más altos para las variables diámetro, altura, peso seco de la raíz y peso seco de la parte aérea. Por lo que se puede decir que al utilizar altos porcentajes de aserrín crudo es indispensable realizar los ajustes correspondientes con la aplicación de nutrimentos adecuados.

Otros estudios demuestran que la aplicación de fertilizante mejora la calidad de las plantas en comparación con el testigo. Boule y Fricker (1970) recomiendan la aplicación de NPK en una relación de 10-10-10 ó 19-19-19, que les ha dado buenos resultados en *Abies balsamea* y *Pinus banksiana*. Los mismos autores compararon el vigor y calidad de planta de *Pinus* creciendo bajo diferentes regímenes de nutrimentos, indican que las plantas a las que se les aplicaron todos los elementos esenciales fueron las más vigorosas y presentaron el mayor crecimiento. Según Mead (1975), el nitrógeno influye de manera determinante en el crecimiento de los brinzales de algunas coníferas como *Pinus radiata* en donde encontró que al aplicar urea recubierta con azufre produjo casi un 35% de incremento respecto al testigo. Bangash y Sheik (1981) reportaron que en plántulas de un año, de *Pinus ruxberghii*, aplicando combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio hubo un incremento significativo comparado con el testigo sin aplicación.

3.5.6 Relación (PSPa/PSR)

Uno de los indicadores de la calidad de planta producida en vivero es el coeficiente que resulta de dividir el peso seco de la parte aérea (PSPa) entre el peso seco de la raíz (PSR). Para esta variable obtuvimos una diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 6). De acuerdo con la prueba de comparación de medias, de Tukey, se formaron cuatro grupos (Cuadro 7). El tratamiento que contenía 12 kg/m^3 alcanzó el mayor valor para esta relación (3.61), aunque resultó estadísticamente igual ($p = 0.05$) al tratamiento que contenía nueve kg/m^3 con un valor de 3.35; al siguiente grupo lo forma el tratamiento con seis kg/m^3 con un valor de 2.52; el tercer grupo estuvo formado por el tratamiento con tres kg/m^3 , con un valor de 1.86; y el menor valor para esta variable (0.97) lo presentó el tratamiento con cero kg/m^3 (Figura 14).

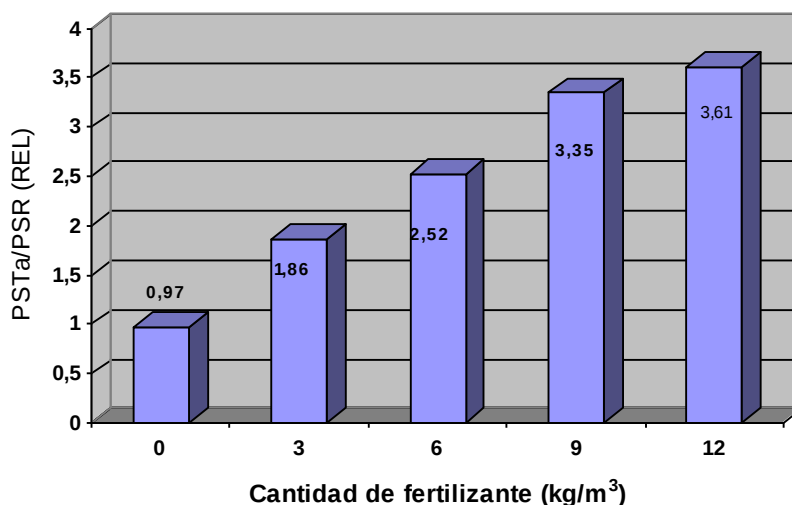


Figura 14. Comportamiento del cociente del peso seco de parte aérea y el peso seco de la raíz en *Pinus patula* tratado con diferentes dosis de fertilización.

Según Thompson (1985), para especies de coníferas la relación PSPa/PSR óptima no debe sobrepasar un valor de 2.5 cuando la planta esté destinada para sitios con problemas de disponibilidad de agua. De igual forma Glen (1991) propone que para el caso de *Pinus Duranguensis* se deben producir plantas en vivero con una alta relación PA/R dentro de un rango de 2.0 a 2.5 para lograr la calidad óptima.

En especies mediterráneas del genero *Pinus* y *Quercus* se ha comprobado que los rangos óptimos de relación PSPa/PSR varían entre especies (Domínguez *et al.*, 2001). No obstante, esta relación debe variar dependiendo del ambiente, especie y sistema de plantación (Romero *et al.*, 1986). Por lo anterior, las plantas que se encuentran dentro del rango óptimo, de acuerdo con Thompson (1985), fueron a las que se les aplicó el nivel tres de fertilización el cual contenía seis Kg/m³. Sin embargo, el valor más alto correspondió al nivel de fertilización cinco el cual contenía 12 Kg/m³ con un valor de 3.61, lo cual rebasa el valor propuesto. Estas plantas tendrán problemas en sitios secos aunque en sitios con suficiente humedad, como es el caso de las condiciones naturales del *Pinus patula* serian adecuadas. Para esta variable, Reyes (2005) reportó valores altos entre 5.93 y 6.08 los cuales según el autor no son apropiados.

La fertilización es, después del riego, la practica cultural que más directamente influye en el desarrollo de las plantas en vivero (Landis *et al.*, 1990) por lo que ha sido objeto de estudio, como el efectuado por García y Muñoz (1998) con *Cornus disciflora* D. C. en vivero, donde los mejores índices en altura, materia seca y diámetro al cuello de la raíz, se obtuvieron adicionando tres kg/m³ de 0-46-0

mezclado con el sustrato solo, o en combinación de 46-0-0 en solución, en cantidades de 10 ó 15 ml mensuales. Villar *et al.* (2000) en un estudio realizado con *Pinus pinea* concluyeron que las plantas más grandes y mejor nutridas, producidas en vivero, son las que mejor desarrollo presentan en campo.

Villar *et al.* (2001) analizaron el efecto de la fertilización de plántulas de *Quercus ilex* L. y su desarrollo en campo, después del primer año de establecimiento las plántulas sin fertilizar presentaron una supervivencia y crecimiento significativamente menor que las altamente fertilizadas, lo cual coincide con lo realizado por Contardí (2003) con *Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws, y *P. palustris* Mill. La supervivencia, el crecimiento en altura y el estado general de las plantas fue mejor para las que recibieron una mayor dosis de fertilización nitrogenada en vivero, después del primer periodo de crecimiento en campo (Rodríguez y Duryea, 2003). En este trabajo, la tendencia fue que la dosis mas alta, de manera general, genero los mejores valores para todas las variables.

3.5.7 Índice de esbeltez

Otro de los indicadores de la calidad de planta producida en vivero es el coeficiente que resulta de dividir la altura (ALT) entre el diámetro (DIAM). Con el fin de tener una mejor predicción de la calidad de la planta. Este índice estima el grado de resistencia de las plantas a factores ambientales adversos (Ritchie, 1984; Mexal y Landis, 1990). No se han establecido estándares para este índice, pero para minimizar el daño físico de las plantas se recomiendan valores pequeños (menores a seis) para

algunas coníferas (Thompson, 1985). Para este índice obtuvimos una diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 6). De acuerdo a la prueba de medias de Tüey se formaron cuatro grupos (Cuadro 7). El tratamiento que presentó el mayor valor (2.7) fue el que contenía 12 kg/m^3 , aunque resultó estadísticamente igual ($p = 0.05$) al tratamiento con seis kg/m^3 con un valor de 2.44; el segundo grupo esta formado por el tratamiento con nueve kg/m^3 con un valor de 2.39.; el tercer grupo lo formó el tratamiento con tres kg/m^3 con un valor de 2.08; y el menor valor para esta relación (1.22) ocurrió en el tratamiento con cero kg/m^3 (Figura 15).

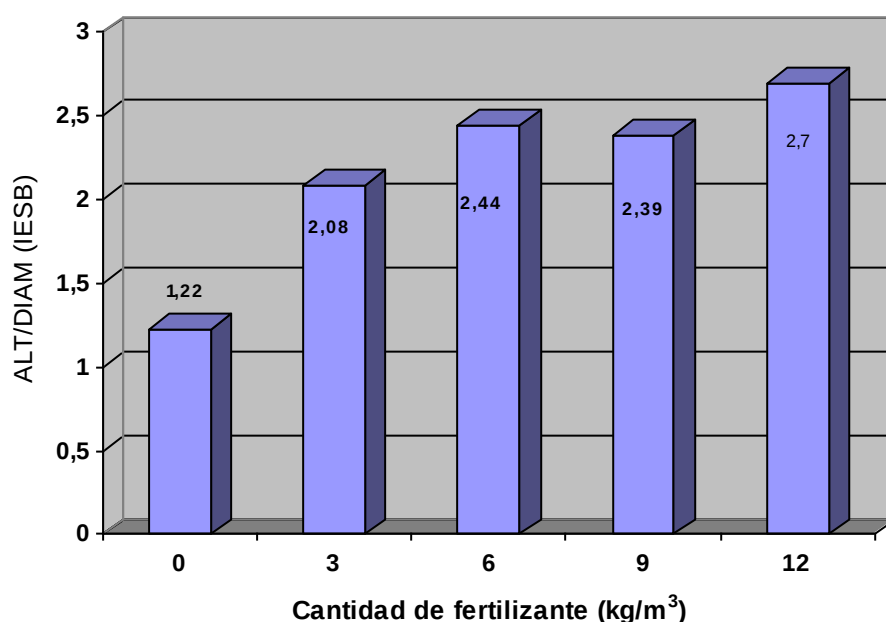


Figura 15. Comportamiento del cociente de la altura y el diámetro en *Pinus patula* tratado con diferentes dosis de fertilización.

Para el presente trabajo la dosis de 12 kg/m^3 y seis kg/m^3 de fertilizante generaron valores apropiados para el índice de esbeltez (2.7 y 2.44); para esta variable lo que interesa es que los valores sean bajos con alto peso radicular. Los valores obtenidos

en esta variable indican que las plantas producidas son de buena calidad, ya que presentaron un equilibrio entre la parte aérea y la parte radicular. Tomando en cuenta que están dentro de los valores recomendados por Thompson (1985). Para el índice de esbeltez, Reyes (2005) reporta que el valor más alto se alcanzó cuando las plántulas se desarrollaron en la mezcla compuesta por 10% de peat moss + 90% de aserrín con la dosis de tres Kg/m³. con un valor de 13.15, de acuerdo con el autor este valor no es apropiado ya que las plantas crecieron en altura, pero el crecimiento en diámetro no fue suficiente y fueron delgadas.

4.5.8 Índice de calidad de Dickson

Para este índice se obtuvo una diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 6). El análisis de comparación de medias de Tukey agrupa este índice en tres grupos (Cuadro 7). El tratamiento que presentó el mayor valor (0.35) fue el que contenía seis kg/m³, seguido de los tratamientos con nueve y 12 kg/m³ con valores de 0.32 y 0.31 respectivamente, no siendo estadísticamente diferentes ($p = 0.05$) entre estos tratamientos; el siguiente grupo lo forma el tratamiento con tres kg/m³ con un valor de 0.22; el menor valor para esta variable (0.05) se presentó en el tratamiento con cero kg/m³ (Figura 16).

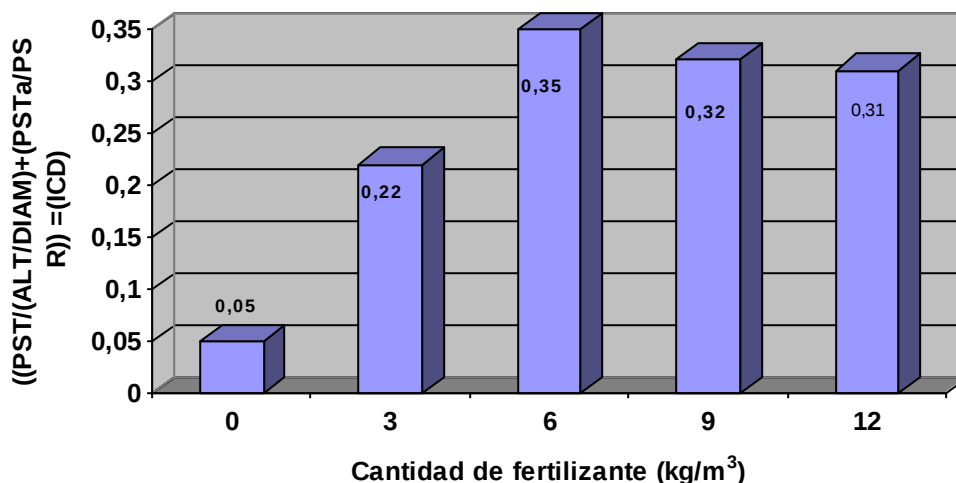


Figura 16. Comportamiento del cociente del peso seco total y el cociente de la altura y el diámetro mas el cociente del peso seco del tallo y el peso seco de la raíz (Índice de calidad de Dickson) de *Pinus patula* tratado con diferentes dosis de fertilización.

En el índice de calidad de Dickson es conveniente que los valores sean altos (Dickson *et al.*, 1960). En el presente trabajo existieron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre las dosis de fertilización. Lo que indica que en altas cantidades de aserrín (>70%) es necesario una fertilización substancial. Para los valores de índice de calidad de Dickson, Reyes (2005) encontró que el valor más alto se presentó en la mezcla con 20% de peat moss + 80% de aserrín con una dosis de cinco Kg/m³, obteniendo un valor de 0.13. Las plantas producidas con este sustrato fueron las de mayor calidad en la etapa de vivero. Román *et al.* (2001) encontraron valores entre 0.04 y 0.06 para el índice de calidad de Dickson para *P. greggii*, lo cual no es adecuado. Las plantas que se produjeron en el presente trabajo superan por mucho a los valores que reportan los autores anteriores.

De manera general se puede decir que las plantas a las que se les aplicó la dosis de seis kg/m³ fueron las de mejor calidad, tomando en cuenta que para la relación PSPa/PSR y para el índice de esbeltez se obtuvieron los valores recomendados por Thompson (1985). Para la relación PSPa/PSR se obtuvo un valor de 2.5 y para el índice de esbeltez 2.44 (< a seis que es lo recomendado), lo que significa que se obtuvieron plantas balanceadas entre la parte área de transpiración y la subterránea de absorción. De igual forma para el índice de calidad de Dickson dicha dosis presentó el valor más alto (0.35). Oliet (2000) menciona que un aumento en este índice representa plantas de mejor calidad, lo cual implica que por una parte el desarrollo de la planta es grande, y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radical están equilibradas. Por lo que se puede decir que al producir planta en sustratos con altos porcentajes de aserrín (70%), basta aplicarle seis kg/m³ de fertilizante ya que de aplicarle más podría presentarse un desarrollo desequilibrado entre la parte aérea y radical.

Los resultados obtenidos utilizando el fertilizante de liberación lenta, coinciden con lo realizado por Oliet *et al.* (1999) al comparar dos clases del fertilizante Osmocote ® en la producción de plantas de *Pinus halepensis* Mill., obteniendo calidad de plantas similares a las producidas por otros sistemas de fertilización. Oliet *et al.* (2003) encontraron que el crecimiento radical respondió significativamente a fertilizantes de liberación lenta, lo que demuestra que éste es apropiado para la producción forestal.

3.6 CONCLUSIONES

- A medida que se aumentó la cantidad de fertilizante se incrementó el valor de las variables estudiadas. Sin embargo, disminuye la calidad de la planta producida.
- Los indicadores de calidad demostraron que para producir planta de buena calidad en un sustrato compuesto por 70% de aserrín + 30% de la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita, basta la aplicación de seis kg/m³ de fertilizante de liberación lenta.

3.7 LITERATURA CITADA

- Aldrete, A., J.J. 2001. Nursery cultural practices that improve seedling quality and outplanting performance in Mexican pines. Ph. O. Thesis. New México State University. Las Cruces, New México. 164 p.
- Arteaga, M., B.; Bautista, T., J. 1999. Influencia del tamaño de envase y fertilización en el crecimiento de *Cupressus guadalupensis* S. wats., en vivero. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 5 (2): 149-153.
- Bangash, S.H.; Sheikh, M.I. 1981. Growth response of *Pinus roxburghii* seedling to NPK fertilizers. Pakistan Journal of forestry 31: (2), 77 p.
- Binkley, D. 1993. Nutrición forestal. Ed. LIMUSA. 1ª edición. México, D.F. 518 p.
- Boodley, W.J. 1998. The Commercial Greenhouse. 2nd Edition. Del mar publishers, Washington, USA. pp. 146-148.
- Boule, H.; Fricker, C. 1970. The fertilizers treatment of forest trees. Traslated by C.L. Whittles, F.I. biol., BVÑ. Verlagsge sellschaft Munchend, Germany. 259 p.
- Cano, P., A.; Vargas, H., J.J.; González, H., V.A.; Vera, C., G.; Cetina, A., V.M. 1998. Caracterización morfológica de plántulas de *Pinus greggii* Engelm. En dos sistemas de producción en vivero. Ciencia Forestal en México 23 (84): 19-27.
- Contardi, L. 2003. Fertilización en vivero de plantines de *Pinus ponderosa*, resultando al primer año de plantación. CIEFAP. Patagonia forestal. Año 8 No. 3. pp: 14-15.

- Daniel, T.W.; Helms, J.A.; Backer, F.S. 1982. Principios de silvicultura. El sitio forestal. Nutrición forestal. McGraw-Hill de México. 2da edición. México. Pp 201-212.
- Dickson, A.; Leaf, A.L.; Hosner, J.F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. For. Chron. 36: 10-13.
- Domínguez, L., S.; Murrias, G.; Herrero, S., N.; Peñuelas, R., J.L. 2001. Cultivo de once especies mediterráneas en vivero: Implicaciones prácticas. Revista Ecológica 15: 213-223.
- Gallegos, M., S. 1989. Influencia del sustrato y dosis de fertilización en el crecimiento de *Pinus cembroides* Zucc., bajo condiciones de vivero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 80 p.
- García, M., J.J.; Muñoz, F., H.J. 1998. Efecto de la fertilización química sobre el desarrollo de *Cornus disciflora* D.C. en vivero. Ciencia forestal en México 23 (83): 41-52.
- Glen, L. 1991. Anahuac nursery report. PICHISA. Chihuahua. 198 p.
- Hartmann, H.T.; Kester, D.E. 1990. Propagación de plantas (principios y prácticas). Prentice Hall. New Jersey, USA. 647 p.
- Johnson, J.D.; Cline, M.L. 1991. Seedling quality of southern pines. In: M. L. Duryea and P. M. Dougherty (eds.). Forest Regeneration Manual. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/London, pp: 117-141.
- Keller, T.H. 1967. The influence of fertilization on gaseous exchange of forest tree species, Pp. 69 In: Colloquium of Forest Tree Species. Proceedings of the 5th colloquium of the International Potash Institute. J. y Waskyla, Finland.

- Landis, T.D. 1989. The biological component: nursery pest and mycorrhizae. USDA. Agric. Handbook, n. 674, Washington.
- _____.; Tinus, R.W.; Mc Donald, S.E.; Barnett, J.P. 1990. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor: medios de crecimiento. Manual agrícola 674, Washington, DC:U.S. pp 47-67.
- Mateo, S., J.J. 2002. Potencial del aserrín como alimento para rumiantes y sustrato para plantas. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 92 p.
- Mead, D.J. 1975. Trails whit sulfur coaled urea and other nitrogenous fertilizers and *Pinus radiata* in New Zeland soils Science Society America procceding 39 (5): 978-980.
- Mexal, J.G.; Landis, T.D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: R. Rose, S.J. Campbell, and T.D. Landis (eds.) Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Nursery Associations, August 13-17, 1990, Roseburg, Or. USDA, Forest Service. Gen. Tech. Rep. RM-200. fort Collins, CO. pp: 17-35.
- Oliet, J. 2000. La calidad de la postura forestal en vivero. Escuela Técnica Superior de ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba. España. 93 p.
- _____.; Segura, F., M.L.; Martín, D.; Blanco, E.; Serrada, R.; Lopez, A., M.; Artero, F. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicadas a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulación sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. Investigación Agraria: Sistemas Recursos Forestales 8 (2): 335-359.

- _____.; Planelles, R.; Artero, F.; Martínez, M., E.; Alvarez, L., L.; Alejano, R.; Lopez, M. 2003. El potencial de crecimiento radical en planta en vivero de *Pinus halepensis* Mill. Influencia de la fertilización. Investigación Agraria: Sistemas Recursos Forestales 8 (2): 335-359.
- Pudelski, T. 1978. Using waste products of wood industry and paper mills as substrates and organic fertilizers in growing vegetables under protection. Acta Horticulturae. 82: 67-74.
- Reyes, R., J. 2005. Practicas culturales para mejorar la calidad de plantas de *Pinus patula* y *P. Pseudostrobus* var. *Apulcensis* en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de postgraduados, Montecillos, México. 95 p.
- Ritchie, G.A. 1984. Assessing seedling quality. In: M.L. Duryea and T.D. Landis (eds.) Forestry Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague/Boston/Lancaster, Forest Res. Lab., Oregon State University, Corvallis, Or. USA. 65 p.
- Rodríguez, T., D.A.; Duryea, M.L. 2003. Indicadores de calidad de planta en *Pinus palustris* Mill. Agrociencia 37(3): 299-307.
- Román J., A.R.; Vargas, H., J.J.; Baca, C., G.A.; Trinidad, S., A.; Alarcón, B., M.P. 2001. Crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* Engelm. En respuesta a la fertilización. Ciencia Forestal en México 26(89): 19-43.
- Romero, A.E.; Ryder, J., J.; Fisher, T.; Mexal, J.G. 1986. Root system modification of container stock for arid land plantings. For. Ecol. Manage. 16: 281-290.
- Ruano, M., J.R. 2003. Viveros forestales: Cultivo de brinzales forestales en envase. Sustrato o medio de cultivo. Mundi-prensa. España. pp 126-143.

- SAS. 1996. Statical Analysis Sistem. User's Guide: Basics SAS System Institute Inc.
Cary, N.C: USA.
- SEMARNAT. 2005. Informe de la situación de Medio Ambiente en México.
Compendio de Estadísticas Ambientales.
- Thompson, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation: What you can tell by
looking. *In*: Evaluating seedling quality; Principles, Procedures, and
Predictive Abilities of Major Test. M. L. Duryea (ed.). Forest Res. Lab.,
Oregon State University, Corvallis, Or. USA. pp: 59-71.
- Villar, S., P.; Planells, R.; Enríquez, E.; Peñuelas, R., J.L.; Zazo, M., J. 2001.
Influencia de la fertilización y el sombreado en el vivero sobre la calidad de la
planta de *Quercus ilex* L. y su desarrollo en campo. III Congreso Forestal
Español. Mesa 3: 770-776.
- Villar, S., P.; Domínguez, L., S.; Peñuelas, R., J.L.; Carrasco, M., I.; Herrero, S., N.;
Nicolás, P., J.L.; Ocaña, B., L. 2000. Plantas grandes y mejor nutridas de
Pinus pinea tienen mejor desarrollo en campo. 1er Simposio sobre el Pino
piñonero. Valladolid, España. 1: 219-227.
- Zottl, H.W.; Tschinkel, H. 1971. Nutrición forestal, una guía práctica FAO.
Universidad Nacional California, USA. 577 p.