



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO FORESTAL

**Crecimiento de *Pinus montezumae*
Lamb. influenciado por el sustrato y
la fertilización en vivero**

LISBETH HERNANDEZ ZARATE

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2013

La presente tesis titulada: “Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. influenciado por el sustrato y la fertilización en vivero”, realizada por la alumna: Lisbeth Hernandez Zarate, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

FORESTAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

DR. ARNULFO ALDRETE

ASESOR

DR. JAVIER LÓPEZ UPTON

ASESOR

DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

ASESOR

DR. VÍCTOR M. ORDAZ CHAPARRO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado durante estos dos años de estudios en la maestría y en la investigación.

Al Colegio de Postgraduados, por las facilidades brindadas para continuar con una etapa más de mi formación profesional.

Al Dr. Arnulfo Aldrete, por el apoyo en la dirección de esta investigación, le agradezco por su tiempo, dedicación y paciencia. Así como las aportaciones hechas a esta investigación.

Al Dr. Javier López Upton, por sus valiosas y acertadas recomendaciones, así como sus asesorías a lo largo de esta investigación.

Al Dr. Miguel Ángel López López, Por su valioso asesoramiento y ayuda brindada en la interpretación de los análisis nutrimentales, así como su tiempo para aclarar cada una de mis dudas.

Al Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro, Por las facilidades otorgadas en el laboratorio de Física de Suelos, por el apoyo brindado durante el análisis de las muestras e interpretación de los resultados y especialmente por sus consejos.

Al Dr. Tomás Martínez Trinidad, por sus sugerencias y correcciones a este documento.

Al Dr. Ángel Villegas Monter, por su amistad, sus consejos y la confianza brindada.

Al Ejido de Pueblo Nuevo, por las facilidades prestadas para la realización de esta investigación en su vivero. A cada una de las personas que trabajan en él y especialmente a todas las señoras por su dedicación y esfuerzo.

A Luis Espinoza Galeote, por su interés y apoyo en la ejecución de esta investigación y por haber compartido sus conocimientos conmigo, los cuales fue adquiriendo durante el transcurso de los años.

A Héctor Ortega Trejo y Juan Antonio Aguilar Trejo, por su apoyo en la aplicación de fertilizantes y fungicidas. Por el cuidado y dedicación que pusieron para que esta investigación saliera adelante.

Graciela Olvera Espinoza, por su apoyo en el secado de las muestras y facilitarme las instalaciones del laboratorio.

Al Ing. Manuel Aguilera, por el apoyo brindado durante la evaluación de los experimentos en el vivero. Por sus consejos y recomendaciones.

Al personal académico del Colegio de Postgraduados, por transmitir sus conocimientos y enseñanza.

Al Programa Forestal, por brindarme la oportunidad de ser parte de él y al personal administrativo.

A mis amigas: Adriana, Ana Lilia, Mariana, Jessy y Sitlaly, por su amistad, por estar en las buenas y en las malas, por su confianza y apoyo.

A mis dos buenos amigos del Colegio: María Luisa Ávila y Jesús Morales Huerta por brindarme su amistad, por sus asesorías y el apoyo otorgado todo este tiempo.

A la familia González-Limón, por su apoyo y facilidades prestadas durante estos dos años. Especialmente a la Sra. María Félix por la hospitalidad que me ha brindado en su casa y a Noé por su amistad incondicional, su tolerancia y paciencia.

Y a cada una de las personas que en este momento se me paso mencionar, pero que me han apoyado y han confiado en mí.

DEDICATORIA

A mi abuelo: Odilón Zarate Rodríguez, por sus consejos que han sido de gran ayuda, por su cariño y por tenerme siempre presente en sus oraciones. Te quiero mucho abuelito.

A mi Mamá: Leonor Zarate Méndez, por su apoyo incondicional en mi vida, por su sacrificio hecho para que yo pudiera lograr cada uno de mis objetivos. Gracias por el amor que me has dado. No encuentro palabras para agradecerte, Mamá.

A mis Tíos Consuelo Zarate Méndez y Rafael Zarate Méndez, por ser un ejemplo de perseverancia y superación. Gracias por compartir sus conocimientos conmigo, he aprendido mucho de cada uno ustedes.

A mi Tía Josefina Zarate Méndez, gracias por estar siempre presente y por todo tu afecto.

A mi prima Argelia Ortega Zarate. Por su ayuda brindado durante la evaluación de este proyecto. Yo sé que pronto tú también lograrás cada una de tus metas. Eres mi prima consentida.

Contenido

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO II	3
REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Descripción general de <i>Pinus montezumae</i> Lamb.....	3
2.2 Insumos y prácticas culturales importantes en la producción de plántulas en vivero.....	4
2.2.1 Sustratos.....	4
2.2.2 Fertilización	13
2.2.3 Riego	17
2.3 Calidad de planta	18
2.3.1 Criterios morfológicos para evaluar la calidad de planta.....	18
CAPÍTULO III	20
CRECIMIENTO INICIAL DE <i>Pinus montezumae</i> Lamb. INFLUENCIADO POR DIFERENTES MEZCLAS DE SUSTRATOS	20
RESUMEN	20
ABSTRACT	21
3.1 INTRODUCCIÓN	22
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.2.1 Descripción del área de estudio.....	25
3.2.2 Insumos y prácticas culturales.....	25
3.2.3 Evaluación de las propiedades químicas y físicas de los sustratos.....	28
3.2.4 Diseño experimental y análisis estadístico	30
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31

3.3.1	Propiedades químicas y físicas de los sustratos	31
3.3.2	Análisis de varianza para las variables morfológicas.....	40
3.4	CONCLUSIONES	44
	ANEXO I.....	45
	CAPÍTULO IV	49
	MÉTODOS DE FERTILIZACIÓN Y TIPO DE SUSTRATO INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO Y ESTADO NUTRIMENTAL DE <i>Pinus montezumae</i> Lamb. EN VIVERO	49
	RESUMEN	49
	ABSTRACT	50
4.1	INTRODUCCIÓN	51
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS	53
4.2.1	Área de estudio.....	53
4.2.2	Insumos y prácticas culturales.....	53
4.2.3	Diseño experimental y análisis estadístico	56
4.2.4	Análisis nutrimental.....	58
4.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.3.1	Crecimiento de <i>Pinus montezumae</i> en respuesta a métodos de fertilización y sustratos.....	59
4.3.2	Estado nutrimental de <i>Pinus montezumae</i> relación con dos métodos de fertilización y cinco tratamientos de sustratos	64
4.4	CONCLUSIONES	71
	CAPÍTULO V	72
	CRECIMIENTO Y ESTADO NUTRIMENTAL DE <i>Pinus montezumae</i> Lamb. EN RESPUESTA A RUTINAS DE FERTILIZACIÓN	72
	RESUMEN	72
	ABSTRACT	73

5.1 INTRODUCCIÓN	74
5.2 MATERIALES Y MÉTODOS	76
5.2.1 Área de estudio.....	76
5.2.2 Insumos y prácticas culturales.....	76
5.2.3 Diseño experimental y análisis estadístico	79
5.2.4 Análisis nutrimental.....	80
5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
5.3.1 Crecimiento de <i>Pinus montezumae</i> en respuesta a tratamientos de fertilización.	82
5.3.2 Estado nutrimental de <i>Pinus montezumae</i> en relación a las rutinas de fertilización aplicadas	88
5.4 CONCLUSIONES	93
CAPÍTULO VI	94
LITERATURA CITADA	94

Índice de Cuadros

Cuadro 3.1. Materiales y proporciones para la realización de mezclas de sustratos para la producción de <i>Pinus montezumae</i> Lamb.	27
Cuadro 3.2. Propiedades físicas de las mezclas se aserrín y corteza de pino y el testigo PT= Porosidad total, PA= Porosidad de aireación, PRH= Porosidad de retención de humedad y Da= Densidad aparente).....	34
Cuadro 3.3. Determinación del índice de grosor y diámetro medio ponderado para los diez tratamientos de sustrato.....	36
Cuadro 3.4. Puntos de la curva de liberación de agua para las diez mezclas de sustratos probados.....	39
Cuadro 3.5. Medias obtenidas para las variables diámetro, peso seco de raíz, peso seco aéreo y relación parte aérea/raíz para <i>Pinus montezumae</i> producida en diez mezclas de sustrato, y evaluadas a los 10 meses de edad.	41
Cuadro 4.1. Componentes de cada mezcla de sustratos para la producción de <i>Pinus montezumae</i> Lamb.....	54
Cuadro 4.2. Análisis de varianza para las variables diámetro, peso seco aéreo (PSA), peso seco raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) en respuesta a tres métodos de fertilización y cinco mezclas de sustrato en el crecimiento de <i>Pinus montezumae</i>	59
Cuadro 4.3. Análisis de varianza para las variables diámetro, peso seco aéreo (PSA), peso seco de raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) en respuesta a dos métodos de fertilización y cinco mezclas de sustrato en el crecimiento de <i>Pinus montezumae</i>	61
Cuadro 4.4. Valores promedio para las variables diámetro, peso seco aéreo (PSA), peso seco de raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) para <i>Pinus</i>	

<i>montezumae</i> a diez meses de edad bajo dos métodos de fertilización y cinco mezclas de sustrato.	63
Cuadro 5.1. Tratamientos y dosis de fertilizante en las tres etapas de crecimiento de la planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb.	78
Cuadro 5.2. Análisis de varianza para las variables diámetro, peso seco aéreo (PSA), peso seco de raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) en respuesta a ocho rutinas de fertilización en el crecimiento de <i>Pinus montezumae</i> Lamb.....	83
Cuadro 5.3. Valores medios para las variables diámetro, peso seco aéreo (PSA) peso seco de raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) en <i>Pinus montezumae</i> Lamb. bajo ocho rutinas de fertilización.....	85
Cuadro 5.4. Valores medios de las variables diámetro, peso seco de aéreo (PSA), peso seco de raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) en <i>Pinus montezumae</i> Lamb., bajo ocho rutinas de fertilización.....	88

Índice de figuras

Figura 3.1. Curva granulométrica para cada tipo de sustrato.....	36
Figura 3.2. Curva de Retención de Humedad para los tratamientos T1, T2, T9 y T10.	37
Figura 4.1. Crecimiento de plantas de <i>Pinus montezumae</i> con el régimen de fertilización 3 (Solo fertilizante soluble).	60
Figura 4.2. Interacciones entre los dos métodos de fertilización aplicados y las cinco mezclas de sustrato para la variable evaluada diámetro de plantas de 10 meses de edad de <i>Pinus montezumae</i>	64
Figura 4.3. Efecto de las mezclas de sustratos (S1 a S5) sobre la biomasa de 100 acículas, concentración y contenido de N (a y d), P (b y e) y K (c y f) bajo dos métodos de fertilización 1) fertilizante de lenta liberación + fertilizantes solubles (a, b y c) y 2) únicamente fertilizante de lenta liberación (d, e y f).....	66
Figura 4.4. Efectos de regímenes de fertilización sobre la biomasa de 100 acículas, concentración y contenido de nitrógeno (A), fósforo (B) y potasio (C) en <i>Pinus montezumae</i>	7070
Figura 5.1. Comportamiento del N, P y K en tejido foliar de plantas de 10 meses de edad de <i>Pinus montezumae</i> Lamb., en respuesta a tratamientos de nitrógeno y fósforo en las etapas de crecimiento y finalización.	92

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

En México en los últimos años se ha incrementado considerablemente la producción de planta forestal para diversos programas del gobierno federal y los gobiernos estatales, principalmente para los programas de reforestación y forestación. Sin embargo, los resultados de estos programas no son satisfactorios debido al alto porcentaje de mortandad registrado en campo (CONAFOR, 2012), lo que es en parte debido a la calidad de las plantas producidas en vivero (Serrada *et al.*, 2005). Algunos de los factores que afectan el desarrollo de las plantas son: la falta oportuna y continua de riego, así como la fertilización, la mezcla adecuada de materiales para elaboración de sustratos y la época adecuada de siembra y plantación (Landis *et al.*, 1990).

En la actualidad frecuentemente son utilizados materiales para sustratos como turba, perlita y vermiculita que elevan el costo de producción para los viveros. El uso de turba en viveros forestales como sustrato de cultivo está decreciendo debido a su elevado costo y consideraciones ambientales (Mañas *et al.*, 2009). Una solución más útil es el uso de nuevas mezclas de materiales producidos localmente y aptos para sustrato. Estas nuevas mezclas benefician a los viveros forestales al tener un menor precio y el uso de estos sustratos alternativos puede incluso ayudar a mejorar la calidad de las plántulas. Sin embargo, existe poca información sobre la posibilidad de uso comercial de estos medios de cultivo en los viveros forestales (Grez y Gerding, 1995; Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005; Reyes *et al.*, 2005; Sánchez-Córdova *et al.*, 2008; Mateo-Sánchez *et al.*, 2011).

El procedimiento de evaluación de la calidad de plántulas no está bien establecido como tal. La calidad de la planta es un concepto amplio, donde distintos estudios han demostrado que la supervivencia y la productividad están relacionadas con la calidad de las plántulas utilizadas (Davidson, 1996). La calidad de planta depende

principalmente de las prácticas culturales que se aplican en el vivero y que impactan directamente la producción, y en la supervivencia y crecimiento de las plantas en el campo (Struve, 1993).

La fertilización es, junto con el manejo del riego, una de las variables culturales con mayor influencia en la calidad de la planta, en especial de la producida en contenedor (Landis *et al.*, 1989). La fertilización puede acelerar el crecimiento aéreo y radical de las plantas, modifica el contenido de nutrientes para luego cambiar la cantidad de reservas disponibles, mejorando el enraizamiento en terreno y el crecimiento, la resistencia al estrés hídrico, a bajas temperaturas y enfermedades. Por lo tanto, la nutrición mineral en plantas de especies forestales producidas en contenedor, no debe ser ignorada, ya que es un factor importante para el desarrollo y supervivencia en campo (Landis *et al.*, 1989).

McAlister y Timmer (1998), mencionan que se tiene que tomar en cuenta que la importancia del régimen de fertilización de nutrientes minerales en plantas de vivero y los beneficios de la carga de nutrientes para el establecimiento de plantaciones tempranas y que tanto la dosis como el modo de aplicación de fertilizantes afecta el crecimiento de las plántulas.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción general de *Pinus montezumae* Lamb.

Es un árbol de 25 a 30 m con un diámetro normal de 50 a 80 cm. Las ramas son largas y más horizontales y tienen una densa copa piramidal. Son árboles gruesos, de color café grisáceo oscuro, la corteza está dividida por profundas fisuras verticales y horizontales, la corteza es áspera y escamosa. En los árboles jóvenes la corteza es de color marrón rojizo. Presenta ramas gruesas, duras escamosas y ásperas, la base de las brácteas foliares es prominente y decurrente. Los conos ligeramente curvos varían en tamaño, de 12-15 cm de largo y 7-10 cm de ancho cuando están abiertos, son de color marrón claro y brillante a menudo se agrupan en 2 o 3 conos. Los conos se abren en la madurez durante los meses de invierno (Martínez, 1948; Perry, 1991).

Pinus montezumae se extiende hacia el Norte a lo largo de la Sierra Madre Oriental, centro y sur de la Sierra Madre Occidental, hasta Guatemala. En México se ha reportado en los estados de Nuevo León, Coahuila, Tamaulipas, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, México, Morelos, Distrito Federal, Michoacán, Jalisco, Guerrero, Chiapas y Oaxaca. *P. montezumae* crece bajo una variedad de condiciones que van desde cálido-templado a frío-templado y altitudes de 2,000 a 3,200 m. Las precipitaciones varían de 800 a 1,000 mm al año o más. En las mayores altitudes se presenta granizo y heladas, las cuales se producen en invierno, mientras que el periodo de lluvias se presenta de junio a septiembre (Martínez, 1948; Perry, 1991).

2.2 Insumos y prácticas culturales importantes en la producción de plántulas en vivero

Los insumos y las prácticas culturales que se realizan en los viveros influyen en el desarrollo de las plantas. Es necesario tomar en cuenta el sustrato, el tipo de envase, los fertilizantes, el riego, y el control de plagas y enfermedades, entre otros (Prieto *et al.*, 2004).

Muchas prácticas culturales que se realizan en los viveros forestales repercuten en la morfología y fisiología. Sin embargo, éstas también pueden afectar el crecimiento y desarrollo de la planta en campo (Oliet *et al.*, 1999; Sandoval *et al.*, 2000).

2.2.1 Sustratos

En viveros la base fundamental en el desarrollo de las plantas, es el sustrato, debido a que afecta de forma directa el estado nutritivo y el desarrollo del sistema radicular. Al mejorar la calidad del sustrato, ya sea en sus propiedades químicas, físicas o en ambas, se mejora la calidad de las plantas (Wightman, 2000). Por lo tanto, el sustrato es un factor importante dentro de los insumos que se utilizan en el vivero. Este influye en el proceso de la nutrición mineral de la planta (Abad, 1991; Abad *et al.*, 1996).

Es deseable que los sustratos a utilizar en los viveros deban tener las características necesarias para el buen desarrollo de la raíz y ésta pueda extraer con facilidad agua y nutrientes. Deben tener una elevada porosidad, estructura estable que impida la contracción, baja salinidad, un pH entre 5.5 y 6.5, alta capacidad de intercambio catiónico, mínima velocidad de descomposición, fácil disponibilidad, bajo costo, facilidad de mezclado, libre de semillas de malashierbas, nematodos, otros patógenos y sustancias fitotóxicas, así como resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales (Raviv *et al.*, 1986; Abad., 1995).

2.2.1.1 Materiales utilizados para sustratos

Actualmente, se están utilizando materiales de origen orgánico y mineral, como sustratos, es el caso de la turba, fibra de coco, vermiculita y perlita. Sin embargo, el uso de turba en viveros forestales como sustrato de cultivo está decreciendo debido a su elevado costo y consideraciones medioambientales (Mañas *et al.*, 2009). Una solución útil es usar de nuevas mezclas de materiales para sustratos que benefician a los viveros forestales por tener un menor precio y su uso no pone en riesgo la calidad de las plántulas. El uso de materiales para sustratos como corteza de pino y aserrín ayudan a disminuir los costos de producción en vivero (Sánchez-Córdova *et al.*, 2008).

Para obtener una planta de calidad es necesario que dentro de las prácticas culturales la mezcla de materiales para sustrato en los viveros favorezca la producción de sistemas radicales fibrosos y bien desarrollados y contribuyan a mejorar la supervivencia y crecimiento de las plantas en el campo (Struve, 1993).

Corteza de pino

La corteza de pino es un subproducto de la industria aserradora y descortezadora de la madera y puede ser obtenida a bajo costo porque en muchos de los casos es considerada como un desecho (Burés, 1997). La utilización de corteza como material para sustrato, ha sido ampliamente estudiada, determinándose que da buenos resultados (Warren y Bilderback, 1992; Grez y Gerding, 1995; Ortiz, 1997; Reyes *et al.*, 2005; Sánchez-Córdova *et al.* 2008; Jackson y Wright, 2009). Burés (1997) menciona que la corteza de pino suele tener un pH ligeramente ácido a neutro, que depende de la especie y del suelo donde se desarrolla el árbol y que tiene una conductividad eléctrica baja (0.1-0.6 dS/m).

La corteza de pino requiere de un proceso de compostaje o de maduración previamente al uso como sustrato. Durante este proceso se rompen las partículas aumentando el área superficial y su capacidad de intercambio catiónico (Burés, 1997).

Reis (1995) señala que la corteza de pino puede ser usada en proporciones que van de 25 a 100% en la mezcla para producción de plantas ornamentales en maceta debido a sus características físico-químicas. Una de las características es que no reduzca su volumen con el transcurso del tiempo, no obstante la corteza presenta una baja capacidad de retención de humedad (Burés, 1997).

Aserrín

El aserrín al igual que la corteza es un subproducto de la industria maderera. La calidad de este material depende del tipo de madera que se utilice. El aserrín se descompone muy lentamente debido al elevado contenido de ligninas y compuestos lignocelulósicos (Burés, 1997).

Grez y Gerding (1995) indican que el aserrín al ser utilizado como sustrato, puede tener un efecto favorable sobre la dinámica de los elementos nutritivos, ya que puede permitir que se tenga mayor posibilidad de ser absorbidos por las plantas. El aserrín tiene una gran capacidad de humedecimiento por tener partículas finas. Entre los aserrines probados con buen éxito se tiene los pino, eucalipto y teca (Mora, 1999).

Sin embargo, el aserrín presenta problemas de exceso de humedad, por lo que debe mezclarse con materiales de partículas más gruesas que aporten aireación, debido a que el aserrín puede provocar procesos anaeróbicos (Burés 1997). Reyes *et al.* (2005) recomiendan utilizar aserrín combinado con otros materiales en una proporción de 80% a 90% y 5 kg.m⁻³ de multicote® (18-6-12). Sánchez-Córdova *et al.* 2008 mencionan que una mezcla con proporción 20% de corteza y 80% de aserrín, presenta buenas características para ser utilizada en la producción de plantas forestales como *Pinus patula* en contenedor.

Turba

La turba es un material muy utilizado como sustrato ya sea solo o combinado, debido a sus apropiadas características físicas y químicas que presenta. Sin embargo, existe una amplia variedad de turbas, con diversas características para

ser utilizadas como sustrato. La principal diferencia se da en su origen, siendo la que presenta mejores características la que proviene de musgos como el *Sphagnum* sp. (Jiménez y Caballero, 1990).

La turba desde el punto de vista físico suele ser un material poco homogéneo, ya que está compuesto de pequeñas ramas, troncos y fibras. Los tamaños de sus partículas suelen ser variables, siendo problemática la determinación granulométrica. La densidad aparente de la turba varía entre 50 y 200 kg de materia seca por m³, dependiendo del tipo de turba que se utilice. La turba presenta poros que no son capaces de retener agua fácilmente disponible. La porosidad de las turbas es muy elevada, llegando hasta el 95% en volumen (Burés, 1997).

Vermiculita

Este es un mineral de silicato de aluminio-hierro-magnesio, el cual consiste en una serie de placas delgadas y paralelas, las cuales son sometidas a altas temperaturas lo que provoca la expansión de las partículas (Bunt, 1988). Es un material ligero en peso, presenta una alta capacidad de intercambio catiónico. Las plantas desarrolladas sobre vermiculita mezclada con materiales orgánicos presentan buenos resultados en diámetro y altura, peso seco de raíz, tanto primarias como secundarias y calidad en la planta producida (Di Benedetto *et al.*, 2002; Olivo y Baduba, 2006).

Perlita

La perlita es un mineral de origen volcánico, el cual es producido con altas temperaturas, originando partículas blancas y ligeras en peso (Landis *et al.*, 1989). La perlita comúnmente es agregada a materiales orgánicos, como turba o corteza de pino con la finalidad de incrementar la porosidad.

La perlita tiene una estructura celular cerrada, en consecuencia, el porcentaje de poros cerrados al exterior es elevado. Sus características de retención de agua y de aireación dependen de la granulometría. Esta suele tener cantidades variables

de polvo fino que aumenta con el grado de manipulación, favoreciendo la retención de agua y dificultando la aireación. No contiene microorganismos, siendo completamente estéril (Burés, 1997).

2.2.1.2 Características químicas de los sustratos

pH

El pH es una medida del grado de acidez o alcalinidad. Generalmente, los materiales utilizados en los medios de cultivo varían en pH de un material a otro. El pH que se tiene al final en el sustrato, depende del manejo de la fertilización y riego que se realice en el vivero. Ansorena (1994), maneja que sustrato debe tener un rango de 5.2 a 6.3 de pH como óptimo, para que las plantas puedan crecer adecuadamente sin deficiencias nutrimentales.

Conductividad eléctrica (CE)

Es el valor recíproco de la resistencia eléctrica de una columna de líquido de solución 1 cm² y de longitud 1 cm, se expresa en dS/m, el cual está relacionado con la concentración de sales solubles presentes en la solución de sustrato (Burés, 1997). Las sales solubles pueden afectar a las plantas de distintas formas, como en la absorción de nutrientes y el balance nutricional que es necesario para el óptimo crecimiento (Lemaire, 1993).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Este se define como la suma de los cationes que pueden ser absorbidos e intercambiados en un sustrato (Cadahia, 1992). Los materiales utilizados para sustratos presentan distinta CIC, los orgánicos presentan valores elevados, que representa un depósito de reserva para los nutrimentos, en tanto los minerales presentan una baja CIC, por lo tanto requieren de una aplicación más frecuente de fertilizantes (Lax *et al.*, 1986). La CIC es un factor que afecta la fertilidad del medio de crecimiento en las plantas producidas en contenedor en los viveros forestales (Bunt, 1988).

2.2.1.3 Características físicas de los sustratos

Las propiedades físicas de un sustrato están ligadas al tipo de material que las compone, es decir a su composición granulométrica, densidad, volúmenes de sólidos, proporción y tamaño de poros (Abad, 1991; De Bood et al., 1972). La caracterización física considera la distribución volumétrica del material sólido, agua y aire, así como su variación en función del potencial matricial (Abad y Noguera, 1998).

La estructura física de un sustrato está formada básicamente por un esqueleto sólido que conforma un espacio de poros, los cuales pueden estar llenos de agua; el esqueleto sólido depende del tipo de material y de su distribución granulométrica (tamaño de las partículas) y mezclado e isotropía (igualdad de las propiedades físicas en todas direcciones, del empaquetamiento o configuración espacial (Burés, 1997).

La porosidad del sustrato y particularmente su distribución entre la porosidad de aire y retención de humedad son consideradas las características físicas más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Cabrera, 1999). Un aspecto a considerar al referirse a las características físicas de un sustrato es la imposibilidad de modificar alguna de estas propiedades posteriormente a la colocación de la planta dentro del contenedor.

Densidad

La densidad de un sustrato es definida como la masa de un material sólido por unidad de volumen del sustrato, es decir incluido el espacio poroso de las partículas (Fernández *et al.*, 2006).

La densidad para un sustrato específico, ésta en función de tres factores:

- 1) la densidad de las partículas que componen el medio de crecimiento,
- 2) lo compresibles que sean las partículas y

3) el arreglo de estas partículas entre sí (Ansorena, 1994).

Dentro de esta característica se encuentra la Densidad aparente y la Densidad real: La Densidad aparente (D_a) se define como la relación entre la masa del material sólido seco y el volumen que ocupa en determinadas condiciones incluyendo el espacio poroso entre partículas y se expresa como g cm^{-3} (Burés, 1997; Abad *et al.*, 1996). La densidad aparente de los sustratos que se utilizan en la horticultura van desde 0.3 hasta 0.8 g cm^{-3} (Abad y Noguera, 1998), donde las densidades más bajas corresponden a los sustratos orgánicos.

La densidad real (D_r) es la relación entre la masa del material sólido seco y el volumen real ocupado por las partículas que lo conforman, excluyendo el espacio poroso entre las mismas (Martínez, 1993). El valor de la D_r está determinado por el tipo de material (Ansorena, 1994).

La densidad real toma en cuenta solo el peso y el volumen de las partículas, y la densidad aparente además del volumen de las partículas toma en cuenta el volumen del espacio poroso (Sánchez, 2006).

Porosidad

La porosidad de un medio de cultivo es la proporción de su volumen que no se encuentra ocupado por fase sólida, es decir, el cociente entre el volumen de poros (V_p) y el volumen total que el medio ocupa en el contenedor (Ansorena, 1994).

Espacio poroso total o porosidad total

El espacio poroso total (EPT) o Porosidad total (PT) en un sustrato, es el volumen total no ocupado por la fase sólida, esto es la parte que no está conformada por partículas orgánicas ni minerales (Martínez, 1993). El nivel óptimo que se recomienda en los sustratos es entre 80 y 85% (Abad *et al.*, 1993; Ansorena, 1994). Pero no toda la porosidad es útil, ya que debido a la existencia de poros cerrados, solo una parte de la porosidad total será efectiva o disponible para las raíces de la planta.

Granulometría

La granulometría se refiere a la distribución del tamaño de las partículas que conforman un sustrato, la que puede caracterizarse fácilmente por medio del tamizado de una muestra secada al aire o a la estufa, recolectando cada una de las fracciones retenidas en cada tamiz y cuantificando su peso, cada una de las fracciones se expresa con base en su proporción en relación con el peso inicial (Díaz, 2004).

Ansorena (1994) menciona que las propiedades físicas de los sustratos, dependen en gran medida de la distribución del tamaño de partícula, de manera que la porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de las partículas. Por el contrario, la presencia de partículas pequeñas hace que disminuya la porosidad total y aumente la cantidad de agua retenida, debido a que aumenta el número de microporos o huecos pequeños, que son los que retienen el agua (Hendreck y Black, 1991). Se recomienda que el sustrato tenga una mezcla de partículas que van de 0.25 a 2.5 mm de diámetro, este rango ayuda a retener suficiente agua fácilmente disponible y además tiene una adecuada aireación (Raviv *et al.*, 1984; Noguera *et al.*, 2000).

Índice de grosor (I_g)

Es la distribución del tamaño de las partículas y se expresa a través de un valor numérico. Con este fin, Richards *et al.* (1986) introdujeron el concepto de Índice de grosor, que se define como el porcentaje acumulado (en peso) de partículas con diámetro superior a 1mm. Estos autores trabajaron con mezclas de corteza de pino con arena y lignito, obtuvieron correlaciones entre dicho índice y la porosidad de aire o la capacidad de retención de agua.

Relación agua/aire

De Boodt y Verdonck (1972) propusieron el empleo de la curva de liberación de agua en un intervalo de 0 a 100 cm de tensión de columna de agua contenida en

el sustrato, en la cual se toma la diferencia hasta los 100 cm de columna de agua, es decir, la suma de las proporciones de fase sólida y de aire (porosidad).

Todos los métodos utilizados para caracterizar la relación agua/aire en un sustrato parten de una muestra previamente saturada de agua, la cual se somete a una tensión determinada. El sustrato libera agua hasta que alcanza el equilibrio con la tensión aplicada (De Boodt y Verdonck, 1972; De Boodt *et al.*, 1974).

Capacidad de retención de agua

Se define como la proporción del volumen del sustrato de cultivo que contiene agua después de que dicho sustrato ha sido saturado y dejado drenar libremente usualmente equivalente a 10 cm de tensión de columna de agua. El nivel óptimo oscila entre el 20 y el 30% en volumen (Abad *et al.*, 1993).

Agua fácilmente disponible

Es la diferencia entre el volumen de agua que se libera entre 10 y 50 cm de columna de agua sobre el sustrato (De Boodt y Verdonck, 1972; De Boodt *et al.*, 1974). La tensión matricial que ocurre con 10 cm de carga de agua permite suministrar suficiente aireación para satisfacer la actividad metabólica de la raíz, y por otro lado, a una tensión matricial de 50 cm de carga de agua puede afectar el desarrollo de la planta (Abad y Noguera, 1998). El valor óptimo para el agua fácilmente disponible oscila entre el 20 y el 30% de volumen (Abad *et al.*, 1993).

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

Agua de reserva

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

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

Agua total disponible

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

Agua difícilmente disponible

Es el volumen de agua que queda retenida por el sustrato a una tensión de 100 cm de columna de agua (Martínez, 1993) y podría ser utilizada por la planta en condiciones de estrés hídrico (Abad *et al.*, 1993).

2.2.2 Fertilización

La técnica de fertilización empleada para incrementar el nivel de reservas nutrimentales es la aplicación de nutrientes durante la fase de vivero de endurecimiento o fertilización tardía. Esta fase, se produce en el último período de cultivo y tiene por objeto lignificar los tejidos, aumentar sus raíces, engrosar sus tallos e incrementar su resistencia a factores de estrés (Peñuelas y Ocaña, 1996; Colombo, 1997; Pardos *et al.*, 2003).

Arteaga y Zenil (2005), mencionan que la fertilización en vivero en plantas presenta efectos significativos para las variables crecimiento en diámetro de hipocotilo, altura, supervivencia, volumen aéreo fresco, biomasa aérea, biomasa radicular y en la relación peso seco aéreo/peso seco de la raíz. Haase (2007), indicó que la planta al contener una alta concentración de nutrientes puede llegar a ser una planta de calidad, debido a que estos desempeñan un papel crucial en la determinación de la calidad de las plantas y su desempeño posterior a la plantación. Por lo tanto, la adición de fertilizantes a niveles óptimos en etapa de vivero favorece principalmente el crecimiento en altura, diámetro y peso seco total, lo cual permitirá que la planta en campo resista heladas y sequias durante los primeros meses de la plantación.

2.2.2.1 Tipos de Fertilizantes

La fertilización es la práctica cultural que más influye en el desarrollo de las plantas (Burnes, 1997). La fertilización en viveros se puede realizar con fertilizante soluble, fertilizante de lenta liberación o la combinación de ambos. La incorporación de fertilizante sólido al sustrato es más comúnmente usada en plantas cultivadas en contenedores y también se usa en algunos viveros forestales que producen en éstos (Matthews, 1982). El tipo de fertilización más usada en los viveros forestales donde se utilizan contenedores es la aplicación de fertilizante soluble por medio de fertiirrigación (Oliet *et al.*, 1999).

Matthews (1982) menciona que la incorporación de fertilizante de liberación lenta en los sustratos tiene varias ventajas:

- 1) no se requiere de equipo de inyección de fertilizante especializado,
- 2) los costos involucrados en la elaboración de mezclas son más bajos que en las aplicaciones de fertilizante líquido y
- 3) los niveles nutricionales también se mantienen durante los meses húmedos cuando no se requiere el riego.

Fertilizantes de lenta liberación

Son fertilizantes, comúnmente mezclados en medios de crecimiento, los cuales incluyen formulaciones de lenta liberación, o de liberación controlada. Un tipo de fertilizante muy utilizado en vivero es el Osmocote y se encuentra disponible en diferentes formulaciones de N-P-K, con tasas de liberación variando de 3 a 14 meses. Matthews (1982), recomienda que el Osmocote sea usado como el fertilizante principal para las especies forestales producidas en contenedor al aire libre, y aconseja incorporar al sustrato la formulación 18-6-12.

Reddell *et al.* (1999) mencionan que la estrategia de aportar nutrientes al sustrato con fertilizantes de lenta liberación aumenta significativamente las tasas de crecimiento como resultado total de la cobertura. Haase *et al.* (2006) demostraron que al utilizar este tipo de fertilizante se tuvo un efecto significativo en el tamaño de las plantas, al igual en campo se obtuvo un mayor desarrollo y resistencia.

Fertilizantes solubles

El método más popular para aplicar fertilizante en los viveros forestales, que producen en contenedor y el recomendado por Landis *et al.* (1990), es la inyección directa de fertilizante líquido en el sistema de riego. Los beneficios obtenidos con esta técnica son el control preciso de concentración y del balance de los nutrientes minerales en el agua de riego aplicada, la capacidad para cambiar completamente la solución nutritiva en cualquier momento, y la escasa posibilidad de fertilizar en exceso, sin dañar por exceso de sales (Landis *et al.*, 1989).

Existen varios tipos de fertilizantes completamente solubles en agua. Algunas formulaciones contienen sólo N-P-K, mientras que otras también contienen azufre y micronutrientes. McAlister y Timmer. (1998) mencionan la importancia del régimen de fertilización con nutrimentos minerales en plantas de vivero y los beneficios de la carga de nutrientes para el establecimiento de plantaciones tempranas. Los autores indican que tanto la dosis como el modo de aplicación de fertilizantes afectan el crecimiento de las plantas.

La aplicación de fertilizante soluble, durante el desarrollo de la planta, se realiza en tres etapas de crecimiento: fase de establecimiento, comprende la germinación y el crecimiento inicial de la planta; fase de crecimiento, cuando la planta alcanza su mayor desarrollo y fase de endurecimiento, cuando las plantas tienen formadas sus yemas terminales, el crecimiento cesa y el crecimiento de diámetro y raíz aumenta (Landis *et al.*, 1990). Radwan *et al.* (1971) mencionan que la fertilización tiene efectos positivos y negativos sobre el crecimiento y supervivencia de las plantas, lo que depende del tipo, dosis, forma y época de aplicación del fertilizante.

Fertilizantes con macronutrientes

Todos los nutrientes esenciales son imprescindibles para el mantenimiento de las estructuras y de las funciones vitales en la planta. Puesto que los macronutrientes primarios, nitrógeno, fósforo y potasio (N, P y K), constituyen el 75% de la concentración de todos los nutrientes de un tejido vegetal, son los que reciben más atención en la programación en vivero. Los macronutrientes son llamados también elementos mayores e incluyen calcio, magnesio y azufre (Ca, Mg y S). El contenido de estos seis nutrientes en las plantas se expresa en valores porcentuales. Los macronutrientes son constituyentes de compuestos orgánicos (excepto potasio), como las proteínas y los ácidos nucleicos, actúan en la regulación osmótica y son encontrados en cantidades relativamente grandes en los tejidos vegetales (Landis *et al.*, 1989).

Fertilizantes con micronutrientes

Los micronutrientes o elementos menores son: boro, manganeso, hierro, cobre, zinc, molibdeno y cloro (B, Mn, Fe, Cu, Zn, Mo y Cl). El contenido de estos en las plantas se expresa en partes por millón (miligramos por litro). Este tipo de nutrientes pueden mezclarse con el sustrato durante el proceso de llenado de los contenedores. Los medios de crecimiento que se utilizan actualmente para la producción forestal en su mayoría carecen de micronutrientes. Algunos micronutrientes como el Fe, Cu y B, pueden llegar a ser no disponibles para las plantas debido a que pueden fijarse a ácidos húmicos insolubles, conforme el

componente orgánico del medio de crecimiento se descompone. Los micronutrientes pueden ser aportados tanto de fuentes inorgánicas como de fuentes orgánicas y las propiedades de las diferentes fuentes varían considerablemente. Así, a los micronutrientes se les clasifica como: 1) sales inorgánicas, 2) quelatos sintéticos, y 3) complejos naturales orgánicos (Saur *et al.*, 1992).

Benton (2003) menciona que el pH puede influir en la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas. Factor que puede ser la causa de que se presenten deficiencias, toxicidad o que los elementos no se encuentren en niveles adecuados. Los medios de crecimiento artificial, deben ser mantenidos a niveles de pH óptimos, con el propósito de mantener disponibles los nutrientes minerales (Burés, 1997).

Escobar (2007) menciona que los materiales y mezclas empleados como sustratos tienen valores de pH fuera del rango óptimo, presentándose problemas relacionados a la disponibilidad de los nutrientes para la planta, la cual, en casos extremos, puede presentar síntomas visuales de deficiencia nutricional aun cuando la solución del medio de cultivo contiene nutrientes.

2.2.3 Riego

Esta práctica cultural es muy importante en la producción de planta en vivero, un riego adecuado puede ayudar a la planta a tener un crecimiento sin restricciones (Landis *et al.*, 1989). Las necesidades de agua de un cultivo están marcadas por la pérdida de agua por la transpiración (Alarcón, 2006). El contenido de agua se puede reflejar en un balance integrado entre la absorción a través de las raíces, y las pérdidas por transpiración del follaje hacia la atmósfera (Ritchie, 1984).

Las necesidades de agua de las plantas van a depender de la especie y su estado fenológico, del medio de cultivo y de las condiciones ambientales, en función a su número y reparto de estomas, el espesor y permeabilidad de la cutícula, así como la superficie foliar (Lopuahinaky, 1990).

2.3 Calidad de planta

Se considera una planta de calidad aquella que tiene las características morfológicas y fisiológicas adecuadas que les permite sobrevivir y desarrollarse adecuadamente en las condiciones ambientales del lugar donde será plantada (Duryea, 1985).

2.3.1 Criterios morfológicos para evaluar la calidad de planta

Para considerar una planta de calidad se tienen que considerar aspectos morfológicos y fisiológicos. En los morfológicos, se encuentra el diámetro del cuello, la altura, número de ramas, el área foliar, el tamaño, la forma y el volumen del sistema radical (Duryea, 1985; Thompson, 1985).

Altura: Según Johnson y Cline (1991), es una de las características morfológicas más fácil de medir y evaluar. Sin embargo, la altura no demuestra por si sola que la planta sea de calidad, en muchos lados la mayoría de veces se interpreta que las plantas más altas son mejores (Mexal y Landis, 1990). Ritchie (1984), menciona que pueden presentarse complicaciones al tener plantas muy altas, como dificultades en el manejo a la hora de la plantación y doblamiento en campo.

Diámetro del tallo: Es el criterio morfológico que más se utiliza para evaluar la calidad de planta, refleja el tamaño del sistema radical, el transporte de agua y nutrientes (Duryea, 1985). Al presentarse un tallo más lignificado y grueso indica que las plantas son más resistentes a daños por temperatura, ataque de insectos y resistencia a hongos patógenos. El diámetro está relacionado con la cantidad de sustancias de reservas contenidas en las plantas de coníferas (Thompson, 1985).

Sistema Radical: Cuando la planta tiene un sistema radical mayor y raíces finas, la planta tiene mayor posibilidad de supervivencia en campo debido a que pueden absorber mayor cantidad de agua y nutrientes. El sistema radical se considera como un determinante para la calidad de la planta y las características que lo componen son fibrosidad, morfología, peso, volumen, longitud y superficie (Ritchie, 1985; Haase, 2007).

Relación parte aérea-raíz: Este se refiere a la proporción de la biomasa aérea con respecto a la biomasa de raíz. Si no se tiene una buena relación parte aérea-raíz se pueden tener problemas de estrés hídrico y afectar la supervivencia en campo (Thompson, 1985; Haase y Rose, 1997)

Índice de calidad de Dickson: Este índice toma en cuenta además de la altura, y el diámetro, la biomasa total, aérea y radical de la planta (Dickson *et al.*, 1960). Se usa para evaluar la calidad de planta en diferentes especies y condiciones.

CAPÍTULO III

CRECIMIENTO INICIAL DE *Pinus montezumae* Lamb. INFLUENCIADO POR DIFERENTES MEZCLAS DE SUSTRATOS

RESUMEN

El aserrín y la corteza de pino, subproductos de la industria forestal, pueden ser usados como sustrato y sustituir a la turba en la producción de planta en viveros. Se evaluó el crecimiento de plántulas de *Pinus montezumae* Lamb. producidas en contenedor en mezclas de sustratos compuestas con corteza de pino y aserrín que formaron nueve mezclas y un tratamiento testigo (60% turba + 20% perlita + 20% vermiculita), a las que se le determinaron características físicas y químicas. El pH osciló entre 4.2 a 6.3 en los distintos tratamientos, la conductividad eléctrica de 0.25 a 3.98 dSm⁻¹, la porosidad total de 69 a 81%, la porosidad de aireación de 26 a 34%, la porosidad de retención de humedad de 36 a 52% y la densidad aparente varió de 0.17 a 0.32 g.cm⁻³. En la curva de liberación de agua, el agua no disponible varió entre 8 y 46%, el agua fácilmente disponible de 6 a 18%, el agua de reserva de 3 a 8% y el agua difícilmente disponible de 18 a 37% en todos los tratamientos. Se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos en el crecimiento de las plántulas a diez meses de edad. El diámetro varió de 9.7 a 11.5 mm, el peso seco aéreo de 1.97 y 2.87 g, en tanto el peso seco de raíz fue de 3.51 a 61.05 g. La relación parte aérea/raíz en todos los tratamientos fue de 1 a 2.5. Las mezclas con crecimientos similares al testigo y tuvieron características físicas adecuadas para producir planta de esta especie fueron el T9 (aserrín 70% + turba 10% + perlita 10% + vermiculita 10%) seguido del T1 (corteza 10% + aserrín 70% + perlita 10% + vermiculita 10%). Las mezclas de aserrín y corteza generan plantas con dimensiones apropiadas para ser llevadas a campo. Esto permite eliminar el uso de turba como sustrato en la producción de planta forestal.

Palabras claves: *Pinus montezumae*, aserrín, corteza, fertilización, vivero.

INITIAL GROWTH OF *Pinus montezumae* Lamb. IN NURSERY INFLUENCED BY DIFFERENT SUBSTRATES MIXES

ABSTRACT

Sawdust and pine bark are subproducts of forest industry that can be used like substrate and replace the peat moss in the nursery seedling production. The growth of de *Pinus montezumae* Lamb. seedlings was evaluated. These were produced in container, with substrate mixtures composed by pine bark and sawdust. There were 9 mixtures and one control treatment (60 % peat moss + 20% perlite + 20% vermiculite). Physical and chemical characteristics were determined. The p.H. ranged from 4.2 to 6.3 in the different treatments, electrical conductivity between 0.25 to 3.98 dSm⁻¹, total porosity between 69 to 81%, aeration porosity between 26 to 34%, moisture retention porosity between 36 to 52% and bulk density ranged 0.17 to 0.32 g.cm⁻³. In the water release curve, not available water ranged 8 to 46%, easily available water ranged between 6 to 18%, reserve water between 3 to 8% and hardly available water ranged between 18 to 37% in all the treatments. There were significant differences between the treatments in the growth of seedlings at 10 months old. Diameter ranged between 9.7 to 11.5 mm, aerial dry weight between 1.97 to 2.87 g. Root dry weight ranged 3.51 to 61.05 g. Shoot to root ratio in all the treatments was from 1 to 2.5. Mixtures with similar growth to the control and appropriate physical characteristics to produce this species were T9 (sawdust 70% + peat moss 10% + perlite 10% + vermiculite 10%), followed by T1 (bark 10% + sawdust 70% + perlite 10% + vermiculite 10%). Sawdust and bark mixtures produce plants with appropriate dimensions to be taken to the field. This allows reducing peat moss as substrate in forest seedling production.

Keywords: *Pinus montezumae*, sawdust, bark, peat moss, nursery.

3.1 INTRODUCCIÓN

En los viveros la base fundamental en el desarrollo de las plantas es el sustrato, debido a que se afecta de forma directa el estado nutrimental y el desarrollo del sistema radicular y aéreo de éstas (Abad, 1991; Abad *et al.*, 1996; Burés, 1997). Como sustrato principal para la producción de planta en viveros forestales se ha utilizado la turba en la última década, debido principalmente a las características físicas y químicas que presenta (Jiménez y Caballero, 1990). Este sustrato que proviene de musgos como el *Sphagnum* sp., está ahora siendo debatido debido a su elevado costo (Mañas *et al.*, 2009) y su cuestionable disponibilidad en un futuro próximo, debido a limitaciones ambientales (Abad *et al.*, 2001).

Una opción que ha empezado a tomar auge es el reciclar desechos de diversos residuos orgánicos generados por actividades agropecuarias y forestales, además de otras industrias, materiales que puedan ser utilizados como medios de crecimiento para la producción de planta. (Abad *et al.*, 1996; Abad *et al.*, 2001). En la actualidad se están utilizando en pequeña escala diversos materiales entre ellos destacan fibra de coco, vermiculita, perlita, corteza y aserrín, al igual que mezclas en distintas proporciones entre estos materiales (Burés, 1997; Reyes *et al.*, 2005; Sánchez-Córdova *et al.*, 2008; Mateo-Sánchez *et al.*, 2011).

El aserrín y la corteza de pino, son subproductos de la industria maderera y pueden ser obtenidos a bajo costo (Maldonado-Benítez *et al.*, 2011). Sin embargo, falta información sobre la posibilidad de uso comercial de estos medios de cultivo en los viveros forestales (Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005).

Las combinaciones de los materiales para sustratos pueden repercutir en la morfología y fisiología, afectar la calidad, el crecimiento y desarrollo de la planta (Oliet *et al.*, 1999; Sandoval *et al.*, 2000). Para poder tener una planta de calidad es necesario que la mezcla favorezca la producción de sistemas radicales fibrosos, bien desarrollados y que contribuyan a mejorar la supervivencia y

crecimiento de las plantas en el campo (Struve, 1993). Para esto se tienen que utilizar mezclas de materiales que tengan las características físicas adecuadas, en las que se facilite el drenaje y la aireación, lo que permitirá un desarrollo adecuado de la raíz (García *et al.*, 2001).

El aserrín es un material que se ha venido utilizando en las mezclas de sustratos dando buenos resultados en la producción de planta de diferentes especies como *P. patula*, *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, *Cedrela Odorata*, entre otras especies (Reyes *et al.*, 2005; Sánchez-Córdova *et al.*, 2008; Mateo-Sánchez *et al.*, 2011). En comparación con otros materiales, el aserrín de especies de coníferas se ha usado de manera más favorable (Burés, 1997; Hartmann y Kester, 1998). Grez y Gerding (1995) indican que el aserrín como material para mezclas de sustrato puede tener un efecto favorable en las plantas por la absorción de nutrientes. El aserrín tiene una gran capacidad de humedecimiento por su partícula fina, por lo que es recomendable mezclar con materiales de partículas más gruesas que aporten aireación (Burés, 1997).

La corteza de pino presenta características físico-químicas adecuadas para producir planta de diversas especies (Ortiz, 1997; Warren y Bilderback, 1992; Jackson y Wright, 2009). La corteza de pino puede ser usada en proporciones que van de 25% a 100% para producción de plantas ornamentales en maceta, pero tiene una baja capacidad de retención de humedad (Reis, 1995). Owen (2007) menciona que la corteza de pino modificada con agregados minerales o industriales aumenta la disponibilidad de agua y eficiencia de nutrientes sin afectar la raíz o el crecimiento. El uso de corteza puede ayudar a disminuir daños por organismos patógenos en la planta (Pawuk, 1981), los cuales se presentan cuando se tiene problemas de exceso de humedad, problemas que se presenta generalmente cuando se produce con aserrín y poder reducir los costos de producción, al eliminar la turba, perlita y vermiculita de la mezcla que se utiliza en el vivero.

En la actualidad se han desarrollado estudios en los cuales utilizan como sustrato una mezcla de corteza con aserrín (Sánchez-Córdova *et al.*, 2008; Reyes *et al.*,

2005). Esta mezcla permite aprovechar las características físicas y químicas de cada material y obtener un sustrato con buenas características para producir planta.

Pinus montezumae es de las especies más producidas en los viveros forestales, debido a su demanda para programas de reforestación y restauración forestal (CONAFOR, 2012). Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo el evaluar el crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en mezclas de sustratos compuestas con corteza de pino y aserrín en diferentes proporciones.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Descripción del área de estudio

El proyecto de investigación se estableció en el Vivero Forestal Pueblo Nuevo, ubicado en la comunidad de Pueblo Nuevo, Municipio de Chignahuapan, Puebla. Se localiza en 19° 57' 22" LN y 98° 06' 27.20" LO, a una altitud de 2,600 m. Se presenta un clima templado subhúmedo con lluvias e verano, la temperatura media anual es de 18°C, en cuanto la temperatura media anual más baja oscila alrededor de -3°C, presentándose en los meses de diciembre y enero. Se tiene una precipitación anual promedio de 860.5 mm el mes más lluvioso es junio con 178 mm (INEGI, 2009).

3.2.2 Insumos y prácticas culturales

Mezclas de sustratos

Se combinó aserrín y corteza de pino en distintas proporciones (Cuadro 3.1). El aserrín fue proveniente de aserraderos locales con menos de quince días de aserrado. La corteza utilizada fue de *Pinus douglasiana* Martínez y se obtuvo de la región sur del estado de Jalisco, donde es composteada y se vende en forma comercial. La proporción de aserrín utilizado en las mezclas de sustrato se propuso con base en la mezcla estándar utilizada en el vivero, propuesta en la investigación hecha por Mateo (2002), en la cual sugiere el uso de aserrín en una proporción de 80%. Sin embargo, en el vivero se utiliza una proporción del 70% de aserrín, con la cual se producen distintas especies forestales como son: *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham., *P. greggii* Engelm. var. *australis* Donahue & Lopez, *P. pseudostrobus* Lindl., *P. montezumae*, *P. teocote* Schiede ex Schltdl. et Cham. y *Cupressus lusitánica* Mill. La proporción de corteza se determinó de acuerdo a Sánchez-Córdova *et al.* (2008), quienes proponen el uso de aserrín al 80% y 20% de corteza para producir plantas de *P. patula*.

Las mezclas de los sustratos se realizaron manualmente en el área de llenado del vivero; a cada una se le agregó fertilizante de lenta liberación Osmocote Plus® (15-

9-12) (N-P-K + Mg + ME), con tiempo de liberación de 8 a 9 meses en dosis de 6 kg m⁻³ de sustrato. Se añadió MICROMAX[®] fertilizante en polvo a base de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo, MgO, S) en dosis de 800 g m⁻³, y finalmente *Bactiva[®] (*Bacillus subtilis*) en dosis de 100 g m⁻³, producto biofungicida que se usa para prevenir la pudrición de las raíces por hongos. Con la combinación de aserrín y corteza se formaron ocho mezclas. Se incluyeron dos mezclas más que funcionan como testigos (Cuadro 3.1), la primera es una mezcla compuesta de aserrín, turba, perlita y vermiculita que se utiliza para la producción de planta en el vivero Pueblo Nuevo, y la segunda es la comúnmente usada en la producción de contenedores en México, que está compuesta de turba, perlita y vermiculita.

Semillas y contenedores

La semilla que se utilizó se recolectó en el año 2010 en los rodales del Ejido de Pueblo Nuevo, de un lote de 24 árboles. Después se benefició y almacenó en el banco de germoplasma del vivero hasta su utilización. Se utilizaron contenedores de 220 cm³, fabricados con polipropileno estabilizador de rayos ultra violeta (UV) con costillas internas, los cuales se colocaron en mesas porta tubete de 25 cavidades (largo 119 mm, diámetro superior 60 mm).

Siembra

Antes de la siembra, la semilla se remojó en agua por una noche, posteriormente se colocó en una malla al sol para secarla y se le aplicó Tecto[®] (Tiabendazol) para evitar daños por hongos durante el periodo de germinación. La siembra se realizó el día 24 de agosto del 2011, se depositaron dos semillas por cavidad. La germinación empezó el día 12 de septiembre y se completó el día 26 del mismo mes. Una vez completa la germinación se procedió a dejar solamente una plántula en los tubetes donde germinaron las dos semillas.

Cuadro 3.1. Materiales y proporciones para la realización de mezclas de sustratos para la producción de *Pinus montezumae* Lamb.

No. Tratamiento	Material (%)				
	Corteza	Aserrín	Turba	Perlita	Vermiculita
T1	10	70		10	10
T2	20	80			
T3	30	70			
T4	40	60			
T5	60	40			
T6	70		10	10	10
T7	70	30			
T8	80	20			
T9 (Testigo I)		70	10	10	10
T10 Testigo II			60	20	20

Fertilización

El manejo de la fertilización, se realizó de la misma forma que se hace en la producción del vivero Pueblo Nuevo. Se utilizó fertilizante soluble aplicado cuatro veces por semana en tres etapas: fertilizante iniciador Peters[®] profesional (9-45-15) en dosis de 80 ppm que se comenzó a aplicar el 10 de octubre del 2011, posteriormente el 6 de febrero del 2012 se comenzó con el fertilizante de desarrollo Peters[®] Peat Lite Special (20-10-20) a una dosis de 120 ppm; finalmente a partir del 28 de mayo hasta el 27 de julio del 2012 en la etapa de lignificación se usó el finalizador Peters[®] profesional (4-25-35) en una dosis de 75 ppm. La aplicación se realizó de forma manual con bomba de aspersion.

Aplicación de fungicidas y anticongelante

Una vez germinada la planta y durante todo el experimento se realizaron aplicaciones de fungicidas como preventivos Previcur N[®] (Propamocarb clorhidrato) en dosis de 1mL/L de agua cada ocho días y alternando con Derosal[®]

(Carbendazim) en dosis de 1 mL/L de agua. Con la finalidad de evitar daños por heladas en la planta se suministró a las mismas durante los meses de noviembre a febrero Temprol[®] (anticongelante líquido de uso foliar), en dosis de 500 ml por cada 15 L de agua cada 15 días. Durante la etapa de crecimiento se levantó la malla paulatinamente con la finalidad de permitir una adecuada lignificación de la planta.

Riegos

Después de la siembra se dieron riegos diariamente o según lo necesitara la planta por pérdida de humedad del sustrato. El agua que se utilizó fue de los manantiales provenientes de los cerros de la comunidad de Pueblo Nuevo; presenta un pH de 8.3 y una CE de 0.04 dS m⁻¹. Durante la aplicación del riego no se realizó corrección de pH, ya que al tomar este valor del lixiviado del sustrato drenado se tenían valores de pH cercanos a 6, considerado como adecuado para el crecimiento de las plantas

3.2.3 Evaluación de las propiedades químicas y físicas de los sustratos

Porosidad

A cada mezcla de sustrato se le determinó la porosidad total (PT), la porosidad de aireación (PA), la porosidad de retención de humedad (PRH), la densidad aparente (DA) y el pH y la conductividad eléctrica (CE).

Los tres parámetros de porosidad se determinaron mediante el procedimiento descrito por Landis *et al.* (1990). Se hidrató el sustrato por 24 horas y como permeámetros se usaron tubetes semejantes a los utilizados en vivero, se llenaron con las diez mezclas de sustrato y se tomó el peso del sustrato a máxima saturación. Ya obtenido el peso de todas las muestras se dejó drenar todos los tubetes, se procedió a pesarlos para obtener el peso del sustrato drenado, después se colocaron en una estufa de secado a 70°C durante 78 horas y se obtuvo el peso seco del sustrato para cada muestra.

Densidad aparente

La densidad aparente se determinó mediante el siguiente procedimiento: Tubetes de 285 cm³ se llenaron con sustrato totalmente hidratado hasta llegar a una marca determinada, posteriormente se dejó drenar un poco para dejar que bajara el sustrato y se colocó más sustrato hasta llegar a la marca, para poder estimar de forma adecuada el volumen marcado en el tubete. Posteriormente se procedió a colocar los tubetes con sustrato en una estufa de secado a 70°C durante 78 horas, para pesarse nuevamente las muestras para determinar el peso del sustrato seco, que junto con el volumen se obtuvo la densidad aparente expresada en g cm⁻³.

Granulometría

La prueba granulométrica se realizó con 10 tamices con los siguientes diámetros (6.36, 4.76, 3.36, 2.38, 2.0, 1.68, 1.0, 0.71, 0.5, 0.25 mm) y el receptor. Se utilizó una muestra de 200 g de cada mezcla, la que se colocó en el primer tamiz de la columna de ellos. Antes de colocar el sustrato se pesó cada tamiz utilizado. La columna de tamices se dejó oscilando durante tres minutos en un agitador. Se pesó cada tamiz con el sustrato que había quedado en cada uno de ellos. El mismo procedimiento se realizó para los diez tipos de sustrato.

Curva de liberación de agua

Se determinó la curva de liberación de agua usando el método de batería de embudos (De Boodt *et al.*, 1974). Para estimar la curva se tienen que obtener los datos de agua difícilmente disponible (ADD), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), capacidad de aire (CA), espacio poroso total (EPT) y materia sólida (MS).

Se utilizó un equipo de succión el cual consiste de un embudo con placa de vidrio porosa conectado a una manguera. Se colocó una muestra representativa de sustrato previamente hidratado, sometido a una succión de 10 cm, por 12 horas para alcanzar el equilibrio; luego se procedió a extraer una muestra del embudo y se pesó en húmedo y en seco después de haberse sometido durante 78 horas a

una temperatura de 70°C en una estufa con circulación de aire. El mismo procedimiento se utilizó para someter al sustrato a 50 y 100 cm de succión, procedimiento que se realizó para las diez mezclas.

3.2.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con diez tratamientos y cuatro repeticiones para cada uno. Se consideraron unidades experimentales compuestas de 25 plántulas. El tamaño de muestra que se utilizó para la evaluación de los tratamientos fue de 12 plantas por cada unidad experimental elegidas del centro de cada charola.

A cada planta se le lavó la raíz para desprender todo el sustrato que formaba el cepellón, evitando la pérdida de raíces pequeñas. Las plantas se colocaron en una mesa sobre papel absorbente para eliminar el exceso de agua. Para el caso de *Pinus montezumae* por su condición cespitosa se evaluó el diámetro del tallo en la base del cuello de la planta. Cada muestra se puso en bolsas de papel previamente etiquetadas y se colocaron en una estufa de secado a 70° C durante 72 horas hasta obtener el peso seco aéreo (PSA) y el peso seco radical (PSR) de cada una de las plantas.

Se realizaron análisis de varianza mediante el procedimiento Mixto del paquete estadístico SAS, versión 9.0 (SAS Institute, 2002). Para las cuatro variables evaluadas (diámetro, peso seco de raíz, peso seco parte aérea y relación parte aérea/raíz), el modelo estadístico utilizado para el análisis fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = es la variable respuesta;

μ = es la media general;

τ_j = El efecto del i-esimo tratamiento

ε_{ij} = Error del experimento $j = 1 \dots 10 \quad i = 1 \dots 4$

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Propiedades químicas y físicas de los sustratos

Los tratamientos que estuvieron compuestos por aserrín y corteza en distintas proporciones, T1 (10% corteza + 70% aserrín + 10% perlita + 10% vermiculita), T2 (20% corteza + 80% aserrín), T3 (30% corteza + 70% aserrín), T4 (40% corteza + 60% aserrín), T5 (60% corteza + 40% aserrín), T6 (70% corteza + 10% turba + 10% perlita + 10% vermiculita), T7 (70% corteza + 30% aserrín) y T8 (80% corteza + 20% aserrín), presentaron un pH el cual varió entre 4.14 y 5.23. Los valores de pH de estos tratamientos coincide con lo reportado por Sánchez-Córdova *et al.* (2008) con cinco mezclas de sustrato con distintas proporciones de aserrín y corteza de pino, las cuales presentaron un pH que variaba entre 4.25 y 4.70. El tratamiento testigo T9 (70% aserrín + 10% turba + 10% perlita + 10% vermiculita), correspondiente al sustrato utilizado para la producción del vivero presentó un pH de 4.7) y el Testigo T10 presentó un pH de 4.2. Un pH óptimo debe ser de 5.2 y 6.3 en los sustratos utilizados para producción de planta sin deficiencias nutrimentales (Ansorena, 1994). Un pH menor a 4.0 se pueden presentar problemas de enfermedades en la raíz y que con valores de 5.5 a 6.5 se pueden reducir Landis *et al.* (1990). Las plantas producidas de *Pinus monetezumae* en los tratamientos compuestos de aserrín y corteza que presentaron un pH por debajo de 5.0, no presentaron problemas fitosanitarios en la raíz.

Conductividad eléctrica (CE)

El tratamiento testigo T9 presentó la conductividad eléctrica más baja con un valor de 0.25 dS m⁻¹. El tratamiento testigo T10 compuesto principalmente por turba, presentó un valor de 1.22 dS m⁻¹. Los tratamientos compuestos de corteza y aserrín (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8) presentaron una CE la cual varió entre 1.26 dS m⁻¹ y 3.98 dS m⁻¹. Los sustratos T6 y T7 presentaron los valores más altos de CE. Los sustratos compuestos con una proporción mayor de corteza presentaron los valores más altos de CE. De acuerdo con los estudios realizados para este parámetro Bunt (1988) sugiere que en los sustratos ricos en materia

orgánica la CE debe estar entre 0.75 y 1.99 de dS m^{-1} y que las plantas crecen satisfactoriamente en CE de 2.00 a 3.49 dS m^{-1} . Lorenzo *et al.* (1996) consideran que el intervalo óptimo de CE es de 1.2 a 2.5 dS m^{-1} , en tanto valores de CE mayores de 2.5 dS m^{-1} puede reducir el crecimiento de algunas especies. Por lo tanto, se puede determinar que los tratamientos compuestos de aserrín y corteza se encontraron, con algunas excepciones dentro de los parámetros de CE requeridos por las plantas para tener un crecimiento adecuado.

Porosidad total

Los tratamientos analizados mostraron un comportamiento similar para esta característica física, la porosidad total de los tratamientos compuestos de aserrín y corteza varió entre el 69 y 77%, en tanto los tratamientos testigos T9 y T10 presentaron una porosidad total de 81 y 78%, respectivamente, (Cuadro 3.2), porcentajes de 60 y 80% que son los recomendables (Landis *et al.*, 1990). En tanto Raviv *et al.* (2004) señalan que la porosidad total debe estar equilibrada entre porosidad de aireación y retención de humedad, de acuerdo con esto, los tratamientos compuestos de corteza y aserrín que presentaron mejor porosidad total fueron: T1, T2, T3, T5 y T7, lo se debe a que presentaron un mayor equilibrio entre el porcentaje de aireación y el porcentaje de retención de humedad.

Peñuelas y Ocaña (1996), señalan que niveles de porosidad mayores a 80% favorecen el crecimiento de la raíz, y repercutir de forma favorable en el desarrollo de la parte aérea, el tratamiento que presentó un valor mayor al 80% fue el T9 con 81%. En tanto el tratamiento T6 presentó el valor más bajo con 69%.

Porosidad de aireación

La porosidad de aireación (PA) se presentó en condiciones similares en casi todos los tratamientos, los cuales tuvieron un porcentaje que varió entre 30 y 35% (Cuadro 3.2). Los tratamientos testigos T9 y T10 mostraron una PA de 34 y 26% respectivamente. El tratamiento T10 considerado como un segundo testigo, presentó la porosidad de aireación más baja (26%), esto puede deberse a que la

turba presenta partículas pequeñas y por consecuencia un aumento de microporos (Burés, 1997).

A diferencia de los otros tratamientos y el tratamiento testigo T9, considerado como primer testigo, presentó un porcentaje mayor al 30%, lo que hace suponer que tiene mayor cantidad de macroporos. Que son los que se vacían de agua después de que el sustrato ha drenado, permitiendo la aireación de las raíces (Ansorena, 1994); el intervalo óptimo de macroporos en una mezcla de sustrato debe variar entre 20% y 30% (De Bood y Verdonck, 1972). Valores de 10% pueden causar problemas de oxigenación en las raíces de las plantas (Burés, 1997). La mayoría de los tratamientos se encontraron en niveles ligeramente superiores a un 30% de PA (Cuadro 3.2), por lo tanto los tratamientos se hallaron a un intervalo óptimo.

Porosidad de retención de humedad

La porosidad de retención de humedad en los tratamientos compuestos de aserrín y corteza presentaron una variación entre 39 y 44% (Cuadro 3.2). Se observó que el tratamiento T6 tuvo el porcentaje más bajo de retención de humedad con 36%, esto puede deberse a que presentó una cantidad mayor de corteza, material que tiene poca retención de humedad (Burés, 1997). Los sustratos compuestos de una proporción mayor de aserrín, presentaron mayor retención de humedad. El tratamiento testigo T9 mostró un porcentaje de 46%, lo que se debe a que el aserrín contiene una cantidad mayor de partículas finas y el T10 un valor de 52%.

Densidad aparente

Los valores de densidad aparente oscilaron en un rango de 0.17 y 0.32 g.cm⁻³ (Cuadro 3.2), valores ubicados dentro de los rangos óptimos de 0.30 hasta 0.80 g cm⁻³ (Abad y Noguera, 1998). A diferencia Raviv *et al.* (2004) manejan un rango menor con valores <0.40 g.cm⁻³ como adecuados. Todos los tratamientos presentaron una densidad aparente por debajo de 0.40 cm⁻³. Es preferente que los sustratos utilizados para producción de planta presenten una densidad aparente

baja, lo que permitirá que las plantas producidas en vivero puedan ser fácilmente transportadas en grandes cantidades y distancias por su peso reducido (Abad *et al.*, 1993). El tratamiento T1 y T10 son los que presentaron la menor densidad aparente (Cuadro 3.2), en tanto que los tratamientos T5 y T8 mostraron el valor mayor.

Cuadro 3.2. Propiedades físicas de las mezclas se aserrín y corteza de pino y el testigo PT= Porosidad total, PA= Porosidad de aireación, PRH= Porosidad de retención de humedad y Da= Densidad aparente).

†Tratamiento	PT %	PA %	PRH %	Da g.cm ⁻³
T1	76	32	44	0.18
T2	77	34	43	0.22
T3	75	33	42	0.23
T4	72	32	40	0.28
T5	73	32	41	0.30
T6	69	33	36	0.28
T7	73	32	41	0.27
T8	71	32	39	0.32
T9 Testigo I	81	34	47	0.21
T10 Testigo II	78	26	52	0.17

‡T1 (Corteza 10%, aserrín 70%, perlita 10% y vermiculita 10%), T2 (Corteza 20% y aserrín 80%), T3 (Corteza 30% y aserrín 70%), T4 (Corteza 40% y aserrín 60%), T5 (Corteza 60% y aserrín 40%), T6 (Corteza 70%, turba 10%, perlita 10% y vermiculita 10%), T7 (Corteza 70% y aserrín 30%), T8 (Corteza 80% y aserrín 20%), T9 (Aserrín 70%, turba 10%, perlita 10% y vermiculita 10%) y T10 (Turba 60%, perlita 20% y vermiculita 20%).

Granulometría

De las curvas granulométricas generadas para los 10 tratamiento, se definieron dos grupos (Figura 3.1): el primero conformado por los tratamientos T8, T7, T6, T5 y el testigo T10, y el segundo grupo quedó conformado por T1, T2, T3, T4 y el testigo T9. Esta separación pudo deberse a que el primer grupo presentó una

mayor proporción de corteza con 60 a 80% y el segundo tuvo mayor proporción de aserrín, que varió entre 60 y 80%.

El diámetro medio ponderado en los tratamientos presentó valores que variaron entre 1.02 a 1.78 mm. Se ha sugerido un tamaño de partículas en un sustrato de 0.25 a 2.5 mm, lo que permite que se tenga suficiente agua fácilmente disponible y además una adecuada aireación (Abad *et al.*, 1993; Raviv *et al.*, 1984; Noguera *et al.*, 2000). En tanto Valdivia (1989), sugiere que partículas inferiores a 0.25 mm tienen una retención excesiva de humedad, creando problemas de aireación. Los tratamientos compuestos de una mayor proporción de aserrín presentaron un tamaño de partículas menor y al aumentar la cantidad de corteza el tamaño de éstas aumenta (Cuadro 3.3). Wilson (1985) menciona que el material fino incrementa la cantidad de agua fácilmente disponible, en tanto el material grueso incrementa la capacidad de aireación

Índice de grosor (Ig)

Las partículas de los tratamientos compuestos por un porcentaje mayor de corteza presentaron un índice de grosor (tamaño de las partículas) mayor al 40%, en tanto las partículas de los tratamientos compuestos por un porcentaje mayor de aserrín presentan un valor menor del 40% (Cuadro 3.3). Esto indica que los sustratos compuestos de corteza presentan un mayor porcentaje de partículas mayores a 1 mm, en tanto los tratamientos compuestos de aserrín presentan un porcentaje mayor de partículas < 1 mm. El testigo T10 presentó un índice de grosor de 57% lo que significa que más de la mitad de las partículas que lo componen presentan un tamaño mayor a 1 mm. El sustrato testigo T9 presentó un valor de 31%, el cual se compone de partículas más pequeñas.

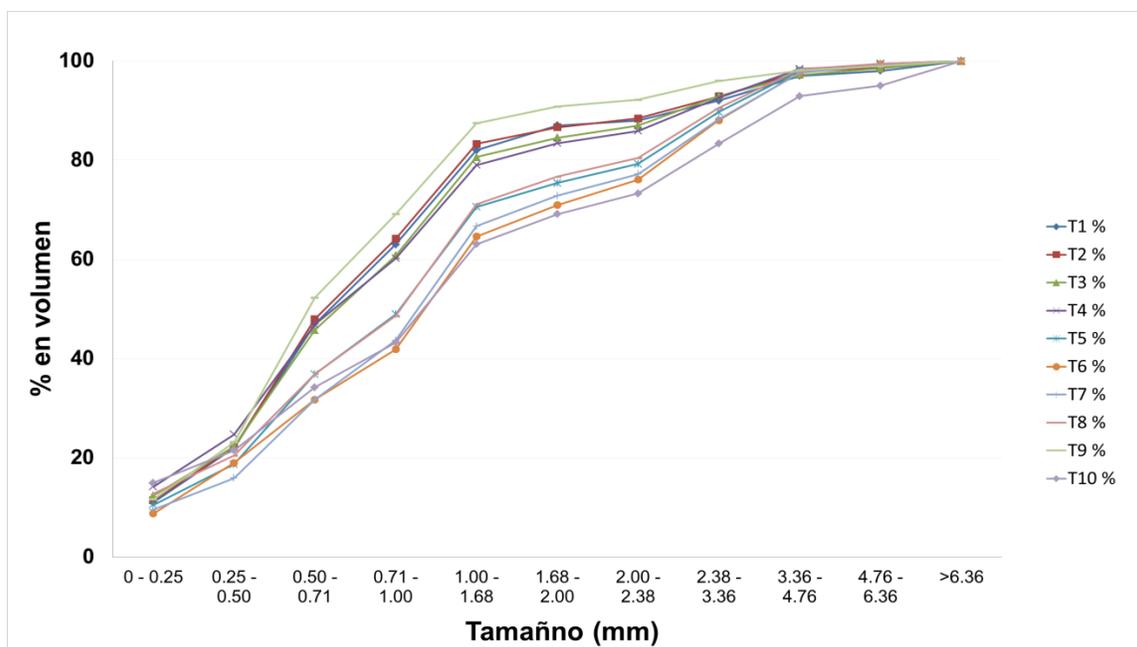


Figura 3.1. Curva granulométrica para cada tipo de sustrato.

Cuadro 3.3. Determinación del índice de grosor y diámetro medio ponderado para los diez tratamientos de sustrato.

†Tratamiento	Índice de grosor (%)	Diámetro medio ponderado (mm)
T1	37	1.17
T2	36	1.17
T3	39	1.22
T4	40	1.21
T5	51	1.48
T6	58	1.61
T7	56	1.59
T8	51	1.44
T9	31	1.02
T10	57	1.78

‡T1 (Corteza 10%, aserrín 70%, perlita 10% y vermiculita 10%), T2 (Corteza 20% y aserrín 80%), T3 (Corteza 30% y aserrín 70%), T4 (Corteza 40% y aserrín 60%), T5 (Corteza 60% y aserrín 40%), T6 (Corteza 70%, turba 10%, perlita 10% y vermiculita 10%), T7 (Corteza 70% y aserrín 30%), T8 (Corteza 80% y aserrín 20%), T9 (Aserrín 70%, turba 10%, perlita 10% y vermiculita 10%) y T10 (Turba 60%, perlita 20% y vermiculita 20%).

Curva de retención de humedad

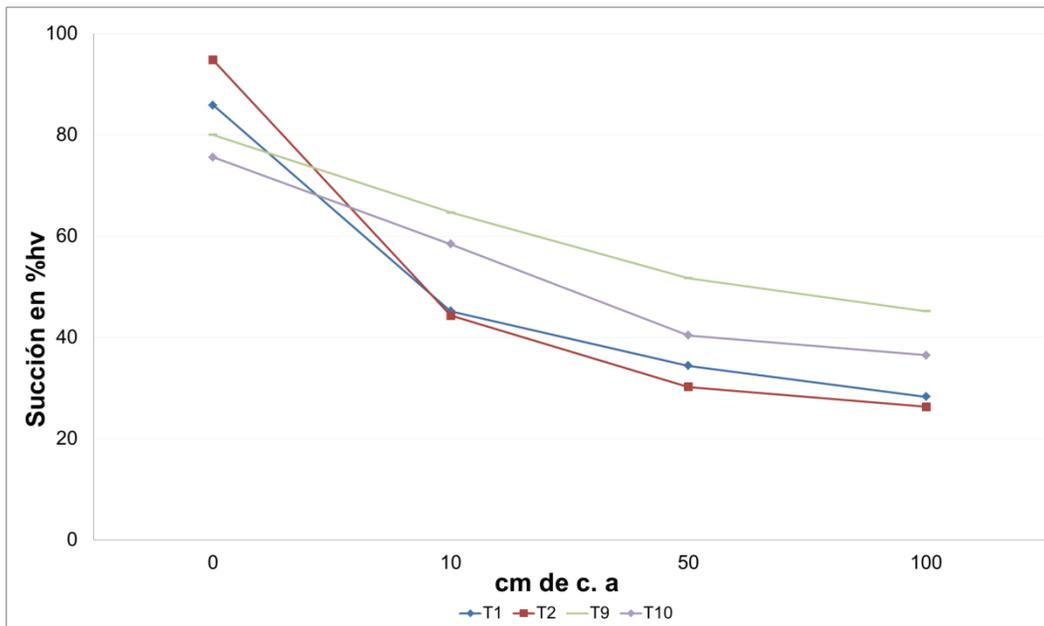


Figura 3.2. Curva de Retención de Humedad para los tratamientos T1, T2, T9 y T10.

Los tratamientos que presentaron mayor retención de agua fueron los dos testigos T9 y T10 (Figura 3.2). Estas curvas de retención de humedad reflejan la distribución de las fases sólida, líquida y gaseosa de cada tensión aplicada a los tratamientos. Tanto el aserrín como la turba son materiales que generan demasiada retención de humedad, por lo cual se debe tener cuidado con el manejo del riego cuando se utilicen estos materiales como sustratos, debido a que al retener mayor humedad se pueden presentar problemas fitosanitarios.

El tratamiento T6 fue el que presentó menor retención de agua, es el que pierde rápidamente la humedad en el sustrato. Un sustrato puede presentar una retención de agua fácilmente disponible reducida cuando: 1) su porosidad total es baja, 2) los poros son grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad (Abad, 1993; Ansorena, 1994). Estos dos puntos se ven reflejados con el uso de porcentajes altos de corteza, combinado con vermiculita y perlita, lo que genera que el sustrato pierda demasiada humedad por los poros grandes que presenta.

Curva de liberación de agua

Se realizó la curva de liberación de agua para los 10 sustratos (Anexo I). Esta con base en la curva descrita por De Boodt, (1974).

La capacidad de aireación osciló entre 26 y 34 % (Cuadro 3.4). La capacidad de aireación deseable en un sustrato para el buen crecimiento y desarrollo debe fluctuar entre el 30 y 40 % del volumen total (Abad *et al.*, 1993). El tratamiento testigo T10 fue el que tuvo el porcentaje menor, con un 26%.

El tratamiento que presentó el mayor porcentaje de agua no disponible fue el tratamiento T6 con 46%; el que presentó la menor proporción fue el T3 con 8%. Los demás sustratos se encontraron entre el 18 y 41%.

El agua fácilmente disponible en todas las mezclas presentó una reducida proporción, que varió entre 6 y 19%. Esto coincide con lo reportado por Sánchez-Córdova *et al.* (2008) quienes evaluaron 5 mezclas de sustrato compuestas de aserrín y corteza en diferentes proporciones y el agua fácilmente disponible varió entre 4.8 y 17.7 en todas sus mezclas evaluadas. El valor de esta característica debe estar entre 20% y 30% del volumen (Abad *et al.*, 1993). Todos los valores de los sustratos están por debajo del 20%. Los tratamientos que presentaron la proporción más baja fueron el T9, el utilizado en el vivero y el T6 con un valor de 6 y 8%, respectivamente. Los bajos porcentajes pueden indicar que los sustratos tienen partículas finas que retienen fuertemente el agua y su disposición para las plantas es mínima.

Cuadro 3.4. Puntos de la curva de liberación de agua para las diez mezclas de sustratos probados.

†Tratamiento	(%)						
	§EPT	CA	SOLIDOS	AND	AFD	AR	ADD
T1	76	32	24	36	10	5	28
T2	77	34	23	41	11	3	26
T3	75	33	25	8	18	8	23
T4	72	32	28	19	11	8	28
T5	73	32	27	32	12	6	25
T6	69	33	31	46	6	4	18
T7	73	32	27	27	14	7	21
T8	71	32	29	31	12	3	28
T9 Testigo I	81	34	19	41	8	4	45
T10 Testigo II	78	26	22	18	19	4	37

§EPT= Espacio poroso total, CA= Capacidad de aire, SOLIDOS= Material sólido, AND= Agua no disponible, AFD= Agua fácilmente disponible, AR= Agua de reserva, ADD= Agua difícilmente disponible. †T1 (Corteza 10%, aserrín 70%, perlita 10% y vermiculita 10%), T2 (Corteza 20% y aserrín 80%), T3 (Corteza 30% y aserrín 70%), T4 (Corteza 40% y aserrín 60%), T5 (Corteza 60% y aserrín 40%), T6 (Corteza 70%, turba 10%, perlita 10% y vermiculita 10%), T7 (Corteza 70% y aserrín 30%), T8 (Corteza 80% y aserrín 20%), T9 (Aserrín 70%, turba 10%, perlita 10% y vermiculita 10%) y T10 (Turba 60%, perlita 20% y vermiculita 20%).

Abad *et al.* (1993) indican que el agua de reserva es la cantidad de agua (% en volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de columna de agua y sugieren un valor apropiado entre 4% y 10% de agua de reserva. El agua de reserva tuvo una variación entre 3 y 8% (Cuadro 3.4). Los tratamientos que están

por debajo de lo sugerido son el T2, T6 y T8. Los demás tratamientos se encuentran dentro del rango.

El agua difícilmente disponible presentó una proporción entre 18 y 45% siendo el tratamiento T9 el que tuvo el valor más alto, seguido del T10. Los sustratos que presentaron mayor cantidad de corteza son los que tuvieron el menor porcentaje de esta propiedad.

3.3.2 Análisis de varianza para las variables morfológicas

Se encontraron diferencias significativas entre las mezclas de sustrato ($p < 0.01$) para las cuatro variables evaluadas diámetro, peso seco aéreo, peso seco de raíz y relación parte aérea/raíz. No se toma la altura de las plantas, esto debido a la característica cespitosa que presenta *P. montezumae* en sus primeras etapas de crecimiento.

En todos los tratamientos se tuvo un desarrollo adecuado de diámetro para la especie de *Pinus montezumae*. Sin embargo, las plantas que presentaron un diámetro mayor de 11 mm fueron las que se encontraban en los tratamientos T10 con un diámetro de 11.5 mm, T1 con 11.4 mm, T9 y T2 tuvieron 11.2 mm (Cuadro 3.5). El tratamiento con el menor diámetro (9.7 mm) fue el T4. Los sustratos que presentaron mayor cantidad de corteza tuvieron plántulas con un diámetro menor. Lo que coincide con Mañas *et al.* (2009) quienes evaluaron sustratos con corteza de pino, turba y residuos de pasta de papel en diferentes proporciones para *Pinus pinaster* Aiton encontrando que los sustratos que contenían corteza de pino presentaban diámetros más bajos.

Cuadro 3.5. Medias obtenidas para las variables diámetro, peso seco de raíz, peso seco aéreo y relación parte aérea/raíz para *Pinus montezumae* producida en diez mezclas de sustrato, y evaluadas a los 10 meses de edad.

† TRATAMIENTO	Diámetro (mm)	PS Raíz (g)	PS Aéreo (g)	RPA/R
T1	11.4±0.23 [§] ab	2.73±0.98 ab	4.76±0.16 bc	1.79±0.54 de
T2	11.1±0.23 abc	2.48±0.98 abc	3.99±0.16 def	1.67±0.54 e
T3	10.4±0.23 abcd	2.42±0.98 bc	4.48±0.16 bcde	1.88±0.54 bcde
T4	9.7±0.23 e	2.24±0.98 cd	3.76±0.16 ef	1.75±0.54 e
T5	10.4±0.23 bcde	2.39±0.98 cd	4.27±0.16 bcde	1.81±0.54 cde
T6	10.0±0.23 de	2.09±0.98 cd	4.15±0.16 cdef	2.04±0.54 abc
T7	10.9±0.23 abcd	2.39±0.98 cd	4.72±0.16 bcd	2.02±0.54 abcd
T8	10.2±0.23 cde	1.97±0.98 d	3.51±0.16 f	1.82±0.54 cde
T9 Testigo I	11.2±0.23 abc	2.47±0.98 abc	4.91±0.16 b	2.08±0.54 ab
T10 Testigo II	11.5±0.23 a	2.87±0.98 a	6.05±0.16 a	2.17±0.54 a

§Error estándar.

† T1 (Corteza 10%, aserrín 70%, perlita 10% y vermiculita 10%), T2 (Corteza 20% y aserrín 80%), T3 (Corteza 30% y aserrín 70%), T4 (Corteza 40% y aserrín 60%), T5 (Corteza 60% y aserrín 40%), T6 (Corteza 70%, turba 10%, perlita 10% y vermiculita 10%), T7 (Corteza 70% y aserrín 30%), T8 (Corteza 80% y aserrín 20%), T9 (Aserrín 70%, turba 10%, perlita 10% y vermiculita 10%) y T10 (Turba 60%, perlita 20% y vermiculita 20%).

*Valores promedio en una misma columna seguida de la misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí ($\alpha=0.05$).

El peso seco de raíz varió de 1.97 y 2.87 g. El tratamiento que presentó mayor peso seco de raíz fue T10 con un peso de 2.87 g, en tanto el T1 mostró un peso de 2.73 g. El T2 y T9 presentaron un peso seco de raíz de 2.48 g y 2.47 g respectivamente. Para esta variable el tratamiento el menor peso seco fue del T8 con 1.97 g. El desarrollo de la raíz se pudo ver afectado por el tipo de envase que se utilizó (Landis *et al.*, 1990; Peñuelas y Ocaña, 1996), el volumen tiene una

relación directa con el crecimiento del sistema radical, por el cual las plantas absorben la humedad y nutrimentos.

El T10 presentó el mayor peso seco aéreo con 6.05 g, seguido de los tratamientos T9 con 4.91 g y T1 con 4.76 g. En tanto los tratamientos con el peso seco más bajo fueron el T4 y el T8 el cual presentó un peso de 4.91 g.

Un atributo relevante de la calidad de planta es la proporción entre el tamaño de la parte aérea y la radical (RPA/R). Para *Pinus montezumae* se obtuvo una relación parte aérea/raíz que varió entre 1.67 a 2.08 en los diez tratamientos de sustrato evaluados. Esto corresponde con lo propuesto por Romero *et al.* (1986) quienes propusieron valores óptimos de relación RPA/R de 1.5 a 2.2 para coníferas norteamericanas.

Para esta variable se tuvieron diferencias significativas entre los tratamientos, el valor más alto de la RPA/R fue de 2.17, el cual se obtuvo en las plantas desarrolladas en el tratamiento testigo T10, tanto que el tratamiento testigo T9 tuvo una relación de 2.08. La mayoría de los tratamientos presentaron una relación de dos o cercana a este valor. En cuanto a los tratamientos que presentaron la relación más baja fueron los tratamientos T4 con 1.75 y T2 con una RPA/R de 1.67 (Cuadro 3.5). Se tienen evidencias de que las plantas con menor RPA/R pueden tener un mejor estado hídrico con un consumo menor de agua en situaciones de deficiencia hídrica y que con valores elevados se puede tener problemas en campo debido al deterioro de su balance hídrico (May, 1984; Stewart y Bernier, 1995). Las plantas producidas en todos los tratamientos presentan mayor peso aéreo que peso de raíz, lo que podría afectar su crecimiento en campo, aunque esto dependerá del sitio de plantación y la preparación del terreno, ya que si la planta es llevada a un lugar húmedo y bien preparado no tendría problemas de estrés y podría crecer adecuadamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos los tratamientos T9 y T10 presentaron valores similares en cuanto crecimiento. Los tratamientos que más se acercaron a los testigos fueron el T1 y T2, con valores cercanos de diámetro, peso seco aéreo,

peso seco de raíz. Reyes *et al.* (2005), encontró que *Pinus pseudostrobus* en tratamientos adicionados con 70% y 80% de aserrín presentaron buenos crecimientos en cuanto a diámetro y altura, este comportamiento se puede observar en los diámetros obtenidos en los distintos tratamientos donde se utilizó aserrín en porcentajes de 70% y 80% para *Pinus montezumae*.

Sanchez-Cordova *et al.* (2008) mencionan que un sustrato compuesto de 20% corteza + 80% aserrín) puede ser un sustrato adecuado para el desarrollo de plantas. Maldonado-Benítez *et al.* (2011), evaluaron *Pinus greggii*, en esa mezcla y obtuvieron los mejores desarrollos en diámetro y altura. En este estudio las plantas de *Pinus montezumae* que crecieron en el tratamiento T2 (20% corteza + 80% aserrín) presentaron buen crecimiento en diámetro y un adecuado desarrollo de raíz y fue el tratamiento de más baja relación parte raíz/aérea (Cuadro 6), fue una de las mezclas de sustrato donde se obtuvo un buen desarrollo de la planta.

Al encontrarse crecimientos similares en las plantas producidas de *Pinus montezumae* en las mezclas de sustrato T1 (corteza 10%, aserrín 70%, perlita 10% y vermiculita 10%) y T2 (Corteza 20 y aserrín 80%) con las producidas en la mezcla testigo T9 (aserrín 70%, turba 10%, perlita 10% y vermiculita 10%), se podrá sustituir el uso de la turba por corteza de pino en la mezcla utilizada en el vivero, lo que permitirá reducir los costos de producción, debido a que el precio de la corteza es menor al de la turba. Esto, sin afectar significativamente el crecimiento y desarrollo de la planta producida en vivero.

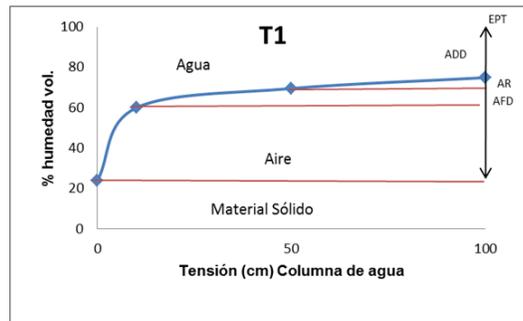
3.4 CONCLUSIONES

Las características físicas y químicas de los tratamientos de sustrato compuestos por corteza y aserrín, proporcionan condiciones adecuadas para el crecimiento de *Pinus montezumae*.

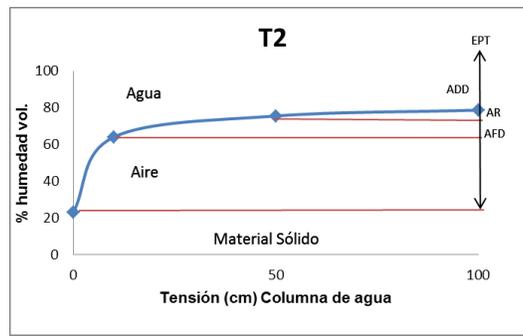
Las plántulas de *Pinus montezumae* a edad de 10 meses en la mayoría de los tratamientos compuestos de aserrín y corteza que fueron evaluados presentaron buen crecimiento para ser llevada a campo.

En *Pinus montezumae* el tratamiento de sustrato compuesto de aserrín y corteza, que presentó condiciones de crecimiento similares en diámetro, peso seco aéreo y peso seco de raíz a la mezclas testigo T9 fue la mezcla de sustrato T1 compuesta de 70% aserrín + 10% de corteza + 10% perlita + 10% vermiculita.

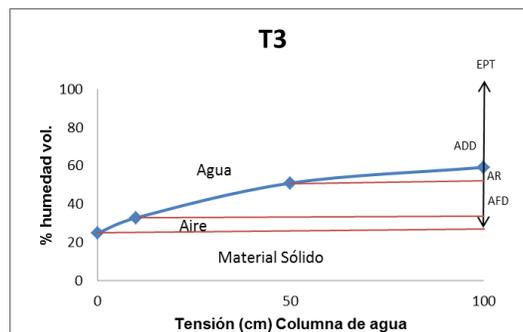
ANEXO I. CURVA DE LIBERACIÓN DE AGUA POR TRATAMIENTO



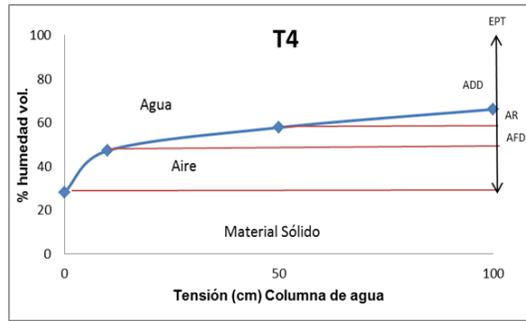
Mezcla T1 (10% corteza + 70% aserrín + 10% perlita + 10% vermiculita)



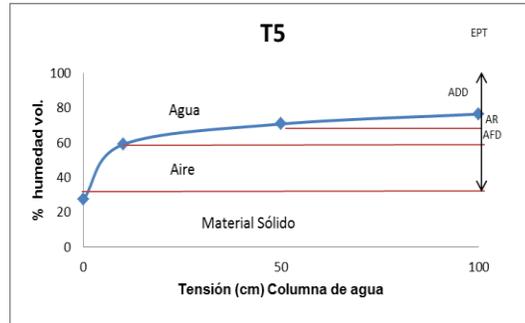
Mezcla T2 (20% corteza + 80% aserrín)



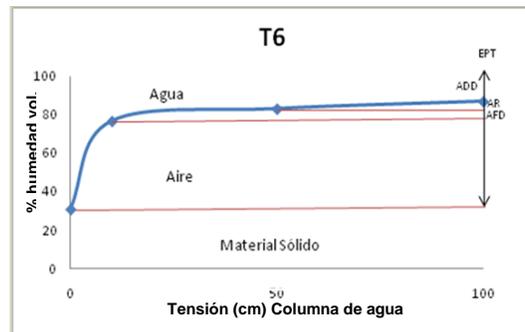
Mezcla T3 (30% corteza + 70% aserrín)



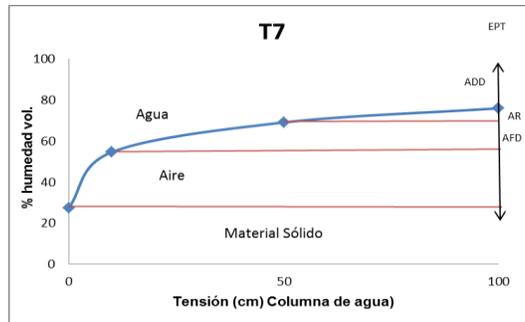
Mezcla T4 (40% corteza + 60% aserrín)



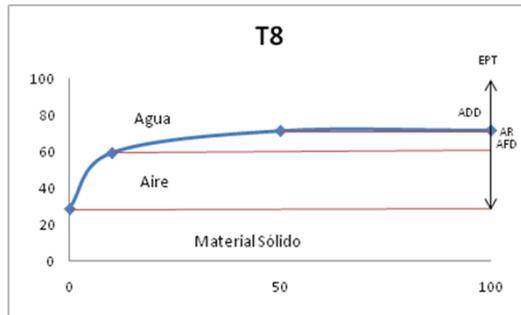
Mezcla T5 (60% corteza + 40% aserrín)



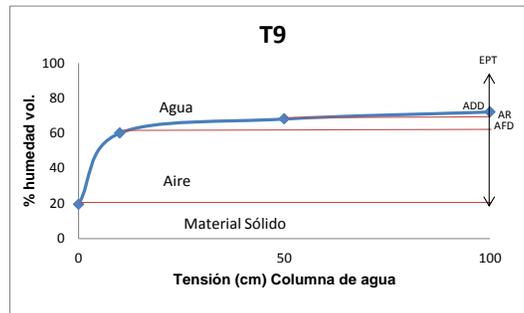
Mezcla T6 (70% corteza + 10% turba + 10% perlita + 10% vermiculita)



Mezcla T7 (70% corteza + 30% aserrín)

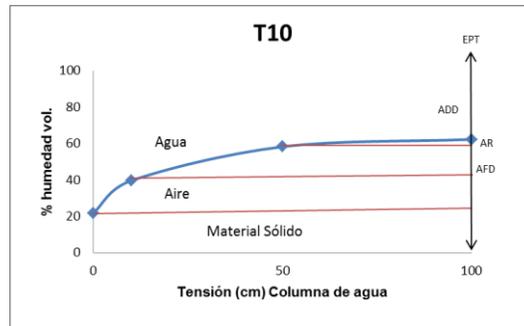


Mezcla T8 (80% corteza + 20% aserrín)



Testigo I

Mezcla T9 (70% aserrín + 10% turba + 10% perlita + 10% vermiculita)



Testigo II

Mezcla T10 (60% turba + 20% perlita + 20% vermiculita)

CAPÍTULO IV

MÉTODOS DE FERTILIZACIÓN Y TIPO DE SUSTRATO INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO Y ESTADO NUTRIMENTAL DE *Pinus montezumae* Lamb. EN VIVERO

RESUMEN

El fracaso de las plantaciones para reforestación se debe principalmente a una calidad de planta deficiente. El sustrato y la fertilización son prácticas de manejo importantes a considerar en vivero para la obtención de plantas de buena calidad. Se compararon tres esquemas de fertilización: 1) fertilizante de lenta liberación + fertilizante soluble, 2) sólo fertilizante de lenta liberación (Osmocote® plus 15-9-12) y 3) solamente fertilizante soluble (Peters®). Éstos se combinaron con cinco mezclas de sustrato compuestos con aserrín, corteza de pino, turba, perlita y vermiculita en distintas proporciones. El régimen de fertilización 3 presentó crecimientos raquíuticos en todas las mezclas de sustrato evaluadas. Los métodos de fertilización 1 y 2 solo presentaron diferencias en el peso seco aéreo y peso seco de raíz. La interacción entre el método de fertilización y la mezcla de sustrato solo presentó diferencias significativas en el diámetro. De los tres macronutrientes analizados en el follaje, el N mostró haberse diluido en las mezclas compuestas de mayor proporción de aserrín. Las plantas que crecieron en los sustratos con elevada cantidad de corteza (S3 y S4) presentaron un aumento en la concentración y contenido de P y K. La biomasa de acículas es superior cuando se aplicó el método de fertilización 2, que cuando se aplicó el método de fertilización 1. Este efecto es evidente en las mezclas con alta proporción de aserrín, mientras que en los sustratos compuestos con mayor corteza de pino, la producción de biomasa de acículas es similar en ambos métodos de fertilización. Cuando se utiliza aserrín crudo en mezclas de sustrato es necesario incorporar un fertilizante de lenta liberación para lograr un desarrollo adecuado de las plantas.

Palabras claves: aserrín, corteza, fertilizante soluble, fertilizante de lenta liberación, *Pinus montezumae*

FERTILIZATION METHODS AND SUBSTRATE TYPES INFLUENCE THE GROWTH AND NUTRITIONAL STATUS OF *Pinus montezumae* Lamb. IN NURSERY

ABSTRACT

One of the factors related to reforestation failures is poor seedling quality. Substrate and fertilization are important cultural practices in order to obtain good quality seedlings in the nursery. There were compared three fertilization schemes: 1) slow release fertilizer + soluble fertilizer. 2) Only slow release fertilizer (Osmocote[®] plus 15-9-12) and 3) only soluble fertilizer (Peters[®]). These were combined with five substrate mixtures composed by sawdust, pine bark, peat moss, perlite, and vermiculite in different proportions. The fertilization regime 3 (using only soluble fertilizer) presented stunted growth in all substrate mixtures evaluated. Fertilization methods 1 and 2 just presented differences in shoot dry weight and root dry weight. Interaction between fertilization method and substrate mixture only presented significant differences for diameter. From the three macronutrients analyzed on foliage, N showed dilution in the mixtures composed by higher proportion of sawdust. The plants growing on substrates with high amount of bark (S3 and S4) showed an increase in the concentration and content of P and K. Biomass of needles was higher when fertilization method 2 was applied compared to method 1. This effect is evident in the mixtures with high proportion of sawdust, while in the substrates composed with higher pine bark proportion, the biomass production of needles is similar in both fertilization methods. When sawdust is used in the substrate mixture it is necessary incorporate slow release fertilizer in order to have an appropriate growth of the seedlings.

Keywords: sawdust, peat moss, soluble fertilizer, slow release fertilizer, *Pinus montezumae*

4.1 INTRODUCCIÓN

El fracaso de las plantaciones para reforestación y forestación se debe principalmente a una calidad de planta deficiente (Jacobs *et al.*, 2004; Salifu y Jacobs, 2006). Al tener planta de mala calidad se incrementan las fallas en el establecimiento en campo y se pueden presentar escaso crecimiento (Luis *et al.*, 2004). Se tienen distintas causas que afectan el establecimiento y supervivencia de la plantación como deficiencia de nutrientes, tiempo inadecuado de plantación y estrés hídrico, entre otras (McAlister y Timmer, 1998).

El sustrato, el contenedor, la fertilización y el pre-acondicionamiento al estrés hídrico son prácticas culturales que pueden contribuir a que las plantas alcancen la calidad deseada (Luis *et al.*, 2004). Por lo tanto, el manejo adecuado de las prácticas culturales realizadas en vivero pueden modificar la calidad morfológica, fisiológica y sanitaria, las que llegan a determinar la capacidad de las plantas para resistir el trasplante al sitio definitivo de plantación (Oliet *et al.*, 2005).

El empleo de sustratos artificiales pobres en contenido nutritivo, pero adecuados en sus características físicas y químicas hace que el aporte de fertilizantes sea fundamental (Oliet *et al.*, 1999). La fertilización y el sustrato, son prácticas de manejo importantes en vivero para la obtención de plantas de buena calidad para la forestación y restauración forestal, especialmente cuando la producción se realiza en contenedores donde el volumen limitado de sustrato puede dificultar el crecimiento (Landis, 1990). Algunos sustratos como el aserrín, pueden influir en la disponibilidad de nutrientes por parte de la planta debido a las características físico-químicas que presenta, por lo que se tiene que proporcionar los requerimientos de fertilizante necesarios para obtener un adecuado crecimiento de la planta (Mateo, 2002).

La fertilización es una de las prácticas culturales que más influye en el desarrollo de las plantas (Landis, 1990). Esta puede mejorar el estado fisiológico de las plantas durante la fase de establecimiento, acelerando el crecimiento aéreo y radical. Al incrementar el desarrollo radicular da lugar a una mejor absorción de

agua durante el periodo seco, lo que aumenta la supervivencia y crecimiento de la planta posterior a la plantación (McAlister y Timmer, 1998; Luis *et al.*, 2009).

El aporte de fertilizantes se puede realizar en forma líquida con el agua de riego (fertirrigación), o incorporando un producto sólido al sustrato (Oliet *et al.*, 1999). La incorporación de fertilizante sólido es más usada mayormente en plantas cultivadas en contenedores, en viveros ornamentales y también se usa en algunos viveros forestales que producen plantas en contenedores (Matthews, 1982). El tipo de fertilizante sólido más utilizado es el de liberación controlada, denominación que alude a su capacidad para transferir, de forma regular en el tiempo los nutrientes minerales hacia el sustrato (Jiménez-Gómez, 1992). La incorporación de este fertilizante al sustrato aumenta significativamente las tasas de crecimiento, y llega a tener efecto positivo en el tamaño de las plántulas al momento de la plantación y después de varias temporadas en campo (Rendell *et al.*, 1999; Haase *et al.*, 2006).

Cada vez es más frecuente el uso de fertilizantes en los sistemas de producción de planta forestal (Román *et al.*, 2001). Sin embargo, se puede tener en los viveros una sobreaplicación de fertilizantes, esto debido a la aplicación de fertilizantes de liberación controlada más los que son solubles, lo cual además de representar mayores costos, puede tener efectos tóxicos o provocar desequilibrio en el crecimiento de la planta (Landis *et al.*, 1989; Bigras *et al.*, 1996).

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo comparar distintos esquemas de fertilización y la interacción con cinco mezclas de sustratos compuestos de aserrín y corteza de pino en la producción de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Área de estudio

El proyecto de investigación se estableció en el Vivero Forestal Pueblo Nuevo, ubicado en la comunidad de Pueblo Nuevo, Municipio de Chignahuapan, Puebla. Se localiza en 19° 57' 22" LN y 98° 06' 27.20" LO, a una altitud de 2,600 m. Se presenta un clima templado subhúmedo con lluvias e verano, la temperatura media anual es de 18 °C, la temperatura media anual más baja oscila alrededor de -3 °C, presentándose en los meses de diciembre y enero. Se tiene una precipitación anual promedio de 860.5 mm y el mes más lluvioso es junio con 178 mm (INEGI, 2009).

4.2.2 Insumos y prácticas culturales

Mezclas de materiales para elaboración de sustratos

Se utilizaron cinco mezclas de sustratos, con diferentes proporciones de turba, perlita, vermiculita, aserrín y corteza de pino. El aserrín proviene de aserraderos locales, y fue utilizado fresco, no mayor a quince días después del aserrado. La corteza utilizada fue de *Pinus douglasiana* Martínez y se obtuvo de la región sur del estado de Jalisco, donde es composteada por 6 meses y se vende en forma comercial (MASVI®).

Las mezclas de los materiales se realizaron manualmente en el área de llenado del vivero. Debido a los métodos de fertilización en prueba se prepararon por separado dos mezclas con los diferentes materiales, para cada una de las cinco mezclas de sustrato a evaluar; 1) Esta mezcla se preparó sin adicionarle fertilizante de liberación controlada, únicamente se le agregó MICROMAX®, fertilizante en polvo a base de micronutrientes en dosis de 800 g m⁻³, y *Bactiva® (*Bacillus subtilis*) en dosis de 100 g m⁻³. 2) A esta mezcla durante la preparación se le añadió fertilizante de lenta liberación, Osmocote Plus® (15-9-12) (N-P-K + Mg + ME), con tiempo de liberación de ocho a nueve meses, en dosis de 6 kg m⁻³ de sustrato, de igual forma se le agregó MICROMAX® y Bactiva® (*Bacillus subtilis*) en

las mismas dosis que en la mezcla anterior. En el Cuadro 4.1 se observa la proporción de cada uno de los materiales utilizados para los cinco tratamientos de sustrato.

Cuadro 4.1. Componentes de cada mezcla de sustratos para la producción de *Pinus montezumae* Lamb.

Mezclas de sustratos	Corteza (%)	Aserrín (%)	Turba (%)	Perlita (%)	Vermiculita (%)
S1	10	70		10	10
S2	30	70			
S3	70		10	10	10
S4	70	30			
S5		70	10	10	10

Semillas y contenedores

La semilla que se utilizó se recolectó en el 2010 en los rodales del Ejido de Pueblo Nuevo. Después se benefició y almacenó en el banco de germoplasma del vivero. Se utilizaron contenedores de 220 cm³ (largo 119 mm y diámetro superior 60 mm), fabricados con polipropileno estabilizador de rayos ultra violeta (UV) con costillas internas, los cuales se colocaron en mesas porta tubete de 25 cavidades.

Siembra

Antes de realizar la siembra, la semilla se remojó en agua por una noche, posteriormente se colocó en una malla al sol para secarla y se le aplicó Tecto[®] (Tiabendazol) para evitar daños por hongos durante el periodo de germinación. La siembra se realizó el día 24 de agosto del 2011, depositándose dos semillas por cavidad. La germinación empezó el día 12 de septiembre y se completó el día 26 del mismo mes. Una vez completa la germinación se procedió a dejar solamente una plántula por tubete donde germinaron las dos semillas.

4.2.2.1 Métodos de fertilización

Se establecieron tres métodos de fertilización, mismos que se combinaron con los cinco sustratos antes mencionados. A continuación se describen los mismos:

1) Fertilizante de lenta liberación (Osmocote) + fertilizante soluble

Este método de fertilización es el utilizado en la producción del vivero, en el cual se usó fertilizante de lenta liberación Osmocote Plus[®] (15-9-12) (N-P-K + Mg + ME), con tiempo de liberación de ocho a nueve meses en dosis de 6 kg m⁻³ de sustrato. Una vez completa la germinación de la planta se comenzó con las aplicaciones de fertilizante soluble, el cual se aplicó cuatro veces por semana y en tres etapas: fertilizante iniciador Peters[®] profesional (9-45-15) en dosis de 80 ppm a partir del 10 de octubre del 2011. Posteriormente el 6 de febrero del 2012 se comenzó a aplicar fertilizante de desarrollo Peters[®] Peat Lite Special (20-10-20) con una dosis de 120 ppm, finalmente para la etapa de lignificación se aplicó fertilizante finalizador Peters[®] profesional (4-25-35) en una dosis de 75 ppm a partir del 28 de mayo hasta el 27 de julio del 2012. La aplicación del fertilizante se realizó de forma manual con bomba de aspersion.

2) Soló fertilizante de lenta liberación (Osmocote)

Únicamente se adicionó al sustrato fertilizante de liberación controlada, Osmocote Plus[®] (15-9-12) (N-P-K + Mg + ME), con tiempo de liberación de ocho a nueve meses en dosis de 6 kg m⁻³ de sustrato. No hubo aplicaciones de fertilizante soluble durante el desarrollo de la planta en vivero.

3) Solamente fertilizante soluble

Sin fertilizante de liberación controlada al sustrato, sólo fertilizante soluble durante la etapa de desarrollo en vivero; las aplicaciones se realizaron cuatro veces por semana en las mismas fechas y etapas y utilizando los mismos productos descritos en el primer método de fertilización.

Aplicación de fungicidas y anticongelante

Una vez germinada la planta y durante todo el experimento se realizaron aplicaciones de fungicidas como preventivos Previcur N[®] (Propamocarb clorhidrato) en dosis de 1mL/L de agua cada ocho días y alternando con Derosal[®] (Carbendazim) en dosis de 1 mL/L de agua. Además, con la finalidad de evitar daños por heladas en las plantas se suministró a las mismas durante los meses de noviembre a febrero Temprol[®] (anticongelante líquido de uso foliar), en dosis de 500 ml por cada 15 L de agua.

Con la finalidad de permitir una adecuada lignificación de la planta en todos los métodos de fertilización, la malla sombra se levantó paulatinamente durante la etapa de crecimiento.

Riegos

Después de la siembra se dieron riegos diariamente o según lo necesitara la planta por pérdida de humedad del sustrato. El agua que se utilizó fue de los manantiales provenientes de los cerros de la comunidad de Pueblo Nuevo; presenta un pH de 8.3 y una CE de 0.04 dS m⁻¹. Durante la aplicación del riego no se realizó corrección de pH, ya que al tomar este valor del lixiviado del sustrato drenado se tenían valores de pH cercanos a 6, considerado como adecuado para el crecimiento de las plantas.

4.2.3 Diseño experimental y análisis estadístico

Se colocaron tres grupos de 20 charolas, cada uno correspondiente a un método de fertilización, esto debido al manejo de la fertilización y la limitante del tamaño de las platabandas (Las condiciones para los tres grupos fueron homogéneas). En cada método de fertilización (grupo) se colocaron las cinco mezclas de sustrato con sus cuatro repeticiones, éstas fueron distribuidas de manera aleatorizada. Cada unidad experimental estuvo conformada por 25 plantas por charola. El tamaño de muestra que se utilizó para la evaluación final de los tratamientos fue de 12 plantas por cada unidad experimental, elegidas del centro de cada charola.

Se lavó la raíz a cada planta para desprender todo el sustrato que formaba el cepellón, tratando de evitar la pérdida de raíces pequeñas. Las plantas se colocaron en una mesa sobre papel absorbente para eliminar el exceso de agua. Por la condición cespitosa de *P. montezumae* solo se evaluó el diámetro del tallo en la base del cuello de la planta pero no la altura. Cada muestra se puso en bolsas de papel previamente etiquetadas y se colocaron en una estufa de secado a 70 °C durante 72 horas hasta peso constante para luego obtener el peso seco aéreo (PSA) y el peso seco radical (PSR) de cada una de las plantas.

Se utilizó un modelo factorial de 3 x 5 para el análisis estadístico, el análisis de varianza se realizó con el paquete estadístico SAS, versión 9.0 (SAS Institute, 2002). Para las cuatro variables evaluadas (diámetro, peso seco de raíz, peso seco parte aérea y relación parte aérea/raíz), el modelo estadístico utilizado para el análisis fue un

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media general

A_i = Efecto de factor método de fertilización al nivel i.

B_j = Efecto del factor sustrato al nivel j.

AB_{ij} = Efecto de la interacción AB al nivel ij.

ε_{ijk} = Error aleatorio

$i=1, 2, 3$ $j= 1, 2, 3, 4, 5$

4.2.4 Análisis nutrimental

Para el análisis nutrimental se procedió a elegir una muestra compuesta de acículas por cada unidad experimental, las cuales se secaron en una estufa a 70 °C durante 72 horas. Las acículas se molieron y se les determinó la concentración y contenido de N, P y K.

El nitrógeno se determinó por el procedimiento micro kjeldahl. Para la determinación de fósforo y potasio, el material vegetal se sometió a una digestión húmeda y el extracto se procesó mediante un ICP-AES (Alcántar-González y Sandoval-Villa, 1999) para la cuantificación de los nutrimentos.

La interpretación de los análisis foliares y el estudio del estado nutrimental para cada tratamiento se hizo mediante la técnica de análisis gráfico de vectores (Timmer y Stone, 1978). Para la elaboración de gráficos se utilizó un programa elaborado ex profeso en Excel. La interpretación de los gráficos de vectores se hizo con base en los modelos tabulares presentados en Haase y Rose (1995), Weetman (1989) y López-López y Alvarado-López (2010).

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Crecimiento de *Pinus montezumae* en respuesta a métodos de fertilización y sustratos.

De acuerdo al análisis de varianza realizado para las variables diámetro, peso seco de parte aérea (PSA), peso seco parte radical (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R), se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre los tres métodos de fertilización aplicados para las cuatro variables evaluadas, mientras que para las cinco mezclas de sustrato probadas solo se tuvieron diferencias significativas para dos variables (Cuadro 4.2). Además, la interacción de los métodos de fertilización con las mezclas de sustrato fue significativa con un valor de ($p < 0.01$) para todas las variables de crecimiento evaluadas.

Cuadro 4.2. Análisis de varianza para las variables diámetro, peso seco aéreo (PSA), peso seco raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) en respuesta a tres métodos de fertilización y cinco mezclas de sustrato en el crecimiento de *Pinus montezumae*.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Diámetro Pr>F	PSA Pr>F	PSR Pr>F	RPA/R Pr>F
Fertilización	2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Sustrato	4	0.0001	0.1175	0.0142	0.0001
Fertilización * Sustrato	8	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
C.V		16.17643	31.62208	30.84797	24.62225

Las plantas producidas bajo el régimen de fertilización 3 (solamente fertilizante soluble) tuvieron crecimientos raquíuticos en todas las mezclas de sustrato evaluadas (Figura 4.1), principalmente en las mezclas que incluyeron alguna proporción de aserrín. Este material es un material que se descompone lentamente debido al elevado contenido de ligninas y compuestos lignocelulósicos (Burés, 1997). El proceso de descomposición genera una competencia con la

planta por el nitrógeno, afectando el crecimiento de ésta, lo cual se observó en este método de fertilización. Por lo anterior, a partir de este apartado solo se hablará de los métodos de fertilización 1 y 2.

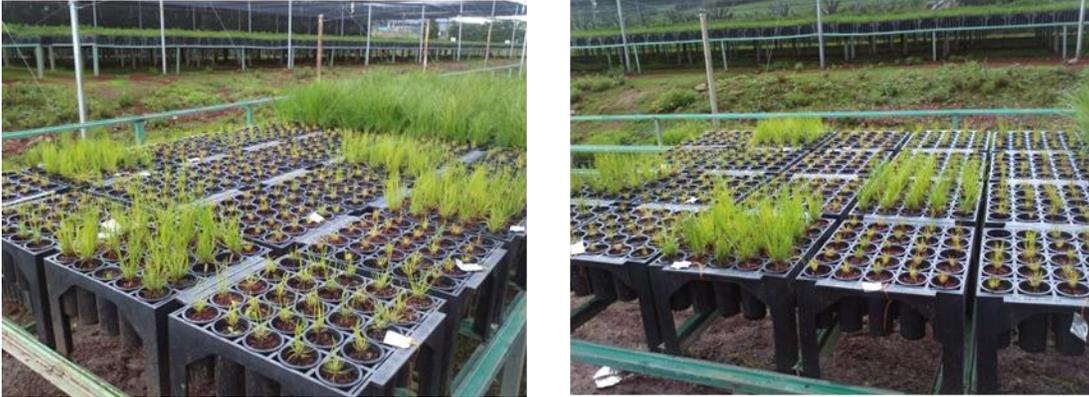


Figura 4.1. Crecimiento de plantas de *Pinus montezumae* con el régimen de fertilización 3 (Solo fertilizante soluble).

Se generó un nuevo análisis de varianza solo con el método de fertilización 1 y 2 y la interacción de estos con las mezclas de sustrato para las variables diámetro, peso seco aéreo (PSA), peso seco de raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R).

De acuerdo con este análisis de varianza (Cuadro 4.3), solo se presentaron diferencias significativas entre los métodos de fertilización en las variables peso seco aéreo y peso seco de raíz. En las cinco mezclas de sustrato se obtuvieron diferencias significativas en las cuatro variables de crecimiento evaluadas. La interacción de fertilización y sustrato presentó diferencias significativas solo para la variable de crecimiento diámetro.

Cuadro 4.3. Análisis de varianza para las variables diámetro, peso seco aéreo (PSA), peso seco de raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) en respuesta a dos métodos de fertilización y cinco mezclas de sustrato en el crecimiento de *Pinus montezumae*.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Diámetro Pr>F	PSA Pr>F	PSR Pr>F	RPA/R Pr>F
Fertilización	1	0.3108	0.0269	0.0005	0.1751
Sustrato	4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0156
Fertilización * Sustrato	4	0.0070	0.3196	0.6808	0.3284
C.V		13.90148	26.71156	26.25001	22.27700

El diámetro de las plantas en los tratamientos aplicados varió de 10.31 a 11.86 mm. Las plantas con menor diámetro fueron las que crecieron en la combinación de método de fertilización 1 y 2 con la mezcla de sustrato S3 con un valor de 10.92 y 10.31 mm respectivamente (Cuadro 4.4). Prieto *et al.* (2004) evaluaron siete rutinas de fertilización en supervivencia y crecimiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero, especie también cespitosa, utilizando los fertilizantes comerciales Multicote y Peters Profesional[®] en forma separada y combinada, encontrando buenos resultados con la aplicación de Peter profesional en la dosis de 50-125-101, 100-15-79 y 40-109-290 ppm de N-P-K, así como la combinación de Multicote[®] y Peters Profesional[®] en las tres dosis probadas. Webb *et al.* (1995) señalan que la ubicación de los fertilizantes de lenta liberación a las raíces de las plantas es probablemente el factor clave que contribuye a la eficacia del crecimiento en éstas.

Para el peso seco aéreo (PSA) se tuvieron diferencias significativas entre los dos métodos de fertilización, las plantas en el método de fertilización 1 presentaron en promedio un peso de 4.47 g, y en la fertilización 2 un valor de 4.23 g.

En peso seco de raíz (PSR) al igual que peso seco aéreo presentó diferencias significativas entre los métodos de fertilización 1 y 2. Se tuvieron valores de 2.40 y 2.20 g, respectivamente. Oliet *et al.* (2003) señalan que utilizando una formulación

de Osmocote® 9-13-18 en dosis de 5 y 7 g L⁻¹ se maximiza el crecimiento de raíz en *Pinus halepensis* Mill.

En la variable RPA/R no se presentaron diferencias significativas entre los métodos de fertilización 1 y 2 siendo sus respectivos cocientes: 1.97 y 1.92. (Cuadro 4.4). Para especies de coníferas la relación parte aérea raíz óptima no debe sobrepasar un valor de 2.5, sobre todo si la planta se destina a lugares con problemas de disponibilidad de agua (Haase y Rose, 1993).

Boodley (1998) sugiere que el aserrín crudo puede ser utilizado como medio de crecimiento siempre que se agrega una cantidad de fertilizante nitrogenado. Reyes *et al.* (2005) concluyen que el aserrín puede combinarse con otros materiales en una proporción de hasta 80% y 90%. También mencionan que se puede utilizar aserrín hasta en un 90% combinado con 5 kg.m⁻³ de Multicote® (18-6-12).

Para la variable peso seco aéreo (PSA), se tuvieron diferencias significativas entre las mezclas de sustratos utilizadas, obteniéndose una variación de entre 3.82 a 4.65 g. El valor menor de PSA lo presentaron las plantas producidas en la mezcla de sustrato S3 (3.82 g). En tanto los sustratos compuestos de aserrín presentaron un peso mayor. La mezcla de sustrato S5 (70% aserrín + 10% turba + 10% perlita + 10% vermiculita) presentó el mayor PSA.

En el peso seco de raíz fue menor en plantas bajo la mezcla de sustrato S3 con un valor de (1.94 g). En tanto las mezclas compuestas con aserrín presentaron mayor peso de raíz, el cual varió de 2.25 a 2.48 g. Se determinó diferencias significativas entre las mezclas de sustratos probados en la variable relación parte aérea/raíz.

Cuadro 4.4. Valores promedio para las variables diámetro, peso seco aéreo (PSA), peso seco de raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) para *Pinus montezumae* a diez meses de edad bajo dos métodos de fertilización y cinco mezclas de sustrato.

Tratamiento	Método de fertilización	Sustrato	Diámetro (mm)	PSA (g)	PSR (g)	RPA/R
1	1	1	11.82±0.22 a	4.58±0.08	2.52±0.16	1.88±0.06
2	1	2	11.60±0.22 abc	4.51±0.08	2.52±0.16	1.84±0.06
3	1	3	10.93±0.22 d	4.14±0.08	2.10±0.16	1.99±0.06
4	1	4	11.10±0.22 bcd	4.43±0.08	2.33±0.16	1.92±0.06
5	1	5	11.14±0.22 bcd	4.67±0.08	2.46±0.16	1.93±0.06
6	2	1	11.02±0.22 cd	4.54±0.08	2.36±0.16	1.98±0.06
7	2	2	11.68±0.22 ab	4.38±0.08	2.43±0.16	1.82±0.06
8	2	3	10.31±0.22 e	3.50±0.08	1.77±0.16	1.99±0.06
9	2	4	11.00±0.22 cd	4.10±0.08	2.17±0.16	1.90±0.06
10	2	5	11.86±0.22 a	4.63±0.08	2.23±0.16	2.14±0.06
♠Método de fertilización						
1			11.32	4.47±0.07 a	2.40±0.04 a	1.97±0.02 a
2			11.18	4.23±0.07 b	2.20±0.04 b	1.92±0.02 a
§Mezcla de sustratos						
S1			11.42	4.56±0.11 ab	2.44±0.05 a	1.93±0.04 ab
S2			11.64	4.45±0.11 ab	2.48±0.05 a	1.83±0.04 b
S3			10.62	3.82±0.11 c	1.94±0.05 c	1.99±0.04 a
S4			11.05	4.26±0.11 b	2.25±0.05 b	1.92±0.04 ab
S5			11.50	4.65±0.11 a	2.35±0.05 ab	2.03±0.04 a

Dentro de una columna, letras diferentes implican diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

♠ 1) Fertilizante de lenta liberación (Osmocote) + fertilizante soluble, 2) Soló fertilizante de lenta liberación.

§ S1 (10% corteza + 70% aserrín + 10% perlita + 10% vermiculita) S2 (30% corteza + 70% aserrín), S3 (70% corteza + 10 turba + 10% perlita + 10% vermiculita), S4 (70% corteza + 30% aserrín) y S5 (70% aserrín + 10% turba + 10% perlita + 10% vermiculita).

Para la variable diámetro, las mezclas compuestas con una proporción de 70% aserrín presentan un diámetro mayor cuando se utiliza el método de fertilización 2 (Solo fertilizante de lenta liberación) excepto la mezcla de sustrato S1. La mezclas compuestas con mayor cantidad de corteza 70% responde mejor al método de fertilización 1 (fertilizante soluble + fertilizante de lenta liberación). Sin embargo, para la mezcla de sustrato S4 es indistinto el método que se utilice (Figura 4.2).

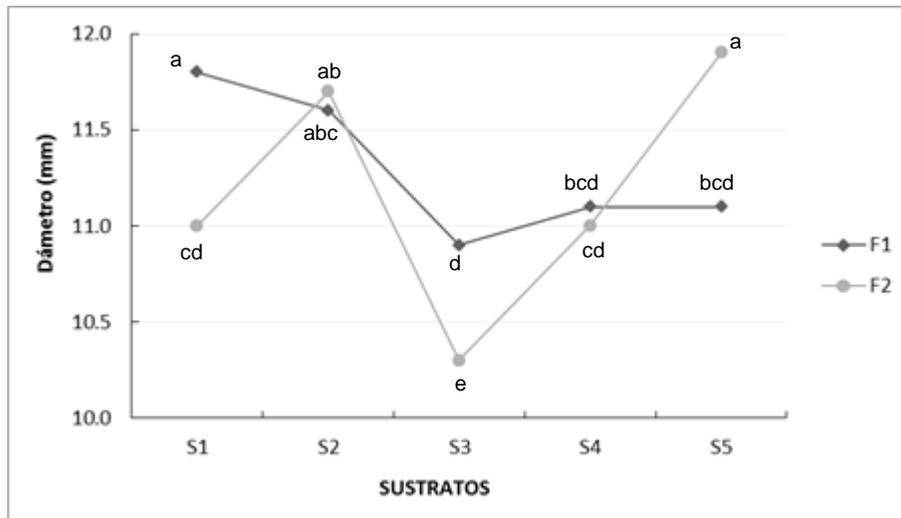


Figura 4.2. Interacciones entre los dos métodos de fertilización aplicados y las cinco mezclas de sustrato para la variable evaluada diámetro de plantas de 10 meses de edad de *Pinus montezumae*.

4.3.2 Estado nutrimental de *Pinus montezumae* relación con dos métodos de fertilización y cinco tratamientos de sustratos

Bajo el régimen de fertilización 1 (fertilizante de lenta liberación + fertilizantes solubles), las mezclas de sustrato que presentaron mayor biomasa de acículas provinieron de los sustratos S2, S3 y S4 (Figura 3a, b y c). Estas mezclas de sustratos tienen en común una proporción relativamente alta de corteza de pino (30%, 70% y 70%) respectivamente.

De los tres macronutrientes analizados en el follaje, el N mostró haberse diluido en las mezclas con mayor producción de biomasa de acículas (Figura 4.3a). De acuerdo con López-López y Alvarado-López, (2010) las mezclas de sustrato S2, S3 y S4 generaron un vector para el caso de N (Figura 4.3a) un vector tipo A (+, -, +) para las tres mezclas de sustrato; es decir, un vector en el que la biomasa de acículas aumenta, la concentración de nitrógeno disminuye (por efecto de dilución) y el contenido del mismo nutriente aumenta por lo que significa que el nutriente es limitante del crecimiento.

La limitación de N en S1, S2 y S4 debe ser por algún efecto de competencia entre planta y microorganismos (James, 1986; Hartmann y Kester, 1998). Las plantas que crecieron en la mezcla de sustrato S3 compuesto de 70% corteza, 10% turba, 10% perlita y 10% vermiculita, presentaron un crecimiento de acículas y aumentó en el contenido de nitrógeno, éstas tuvieron menor dilución por crecimiento a diferencia de las demás. Las mezclas compuestas de aserrín presentaron mayor dilución de nitrógeno. Este efecto se observó claramente, en las plantas que crecieron en el método de fertilización 3 donde se aplicó solamente fertilizante soluble y las plantas que estaban en las mezclas de sustrato compuestas por aserrín presentaron clorosis y bajo crecimiento.

Para corregir la clorosis es posible recomendar un aumento de N en la fórmula de fertilización, preferentemente en la del fertilizante de lenta liberación. Olliet *et al.* (1999) evaluaron dos fórmulas de fertilizante de lenta liberación Osmocote® 9-13-18 y Osmocote® 16-8-9 encontrando que la fórmula con mayor proporción de N produce concentraciones mayores de este nutriente y un aumento en el desarrollo aéreo. Mateo-Sánchez *et al.* (2011) evaluaron tres dosis de fertilizante de lenta liberación Osmocote® 15-9-12, en sustrato a base de aserrín crudo, encontrando que con una dosis de 12 kg/m³ de sustrato, se tenía mayor cantidad de nitrógeno disponible reflejándose, en el crecimiento adecuado de las plantas.

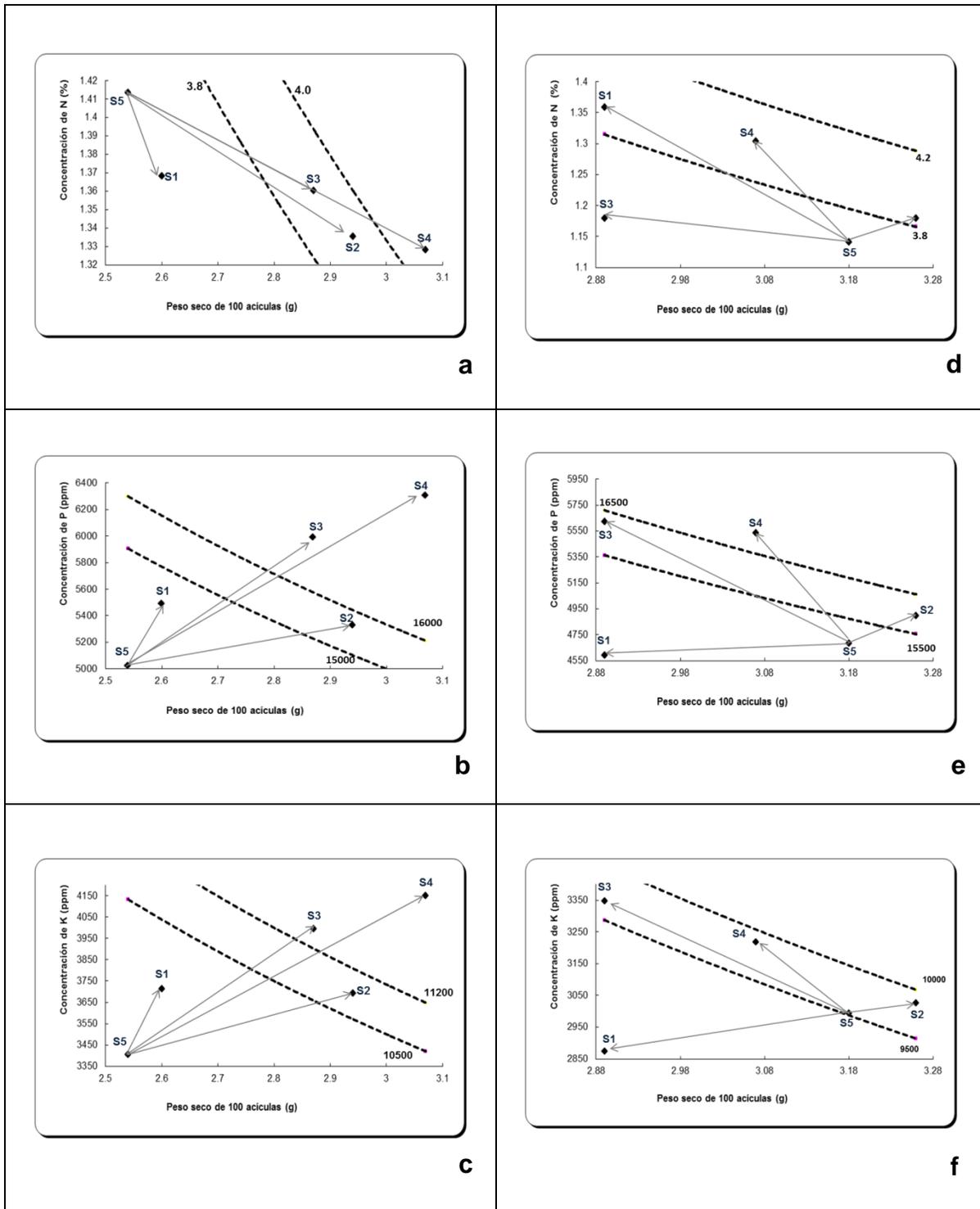


Figura 4.3. Efecto de las mezclas de sustratos (S1 a S5) sobre la biomasa de 100 acículas, concentración y contenido de N (a y d), P (b y e) y K (c y f) bajo dos métodos de fertilización 1) fertilizante de lenta liberación + fertilizantes solubles (a, b y c) y 2) únicamente fertilizante de lenta liberación (d, e y f).

P y K no limitaron el crecimiento en las mezclas de sustrato (S2, S3 y S4, Figuras 3b y 3c) e indujeron las mayores tasas de crecimiento de biomasa foliar (Weetman, 1989; Haase y Rose, 1995; López-López y Alvarado-López, 2010). Las plantas que crecieron en los sustratos S3 y S4 presentaron un aumento en la concentración y el contenido de P y K. En tanto, las que estuvieron en los sustratos S1 y S2 compuestos de mayor proporción de aserrín (70%), tuvieron menor concentración y contenido de ambos nutrimentos. Para el caso de S1, se maneja como agotamiento de los nutrimentos, esto debido a que la concentración de nutrientes y contenido de la planta disminuyen a menudo asociada con retranslocación de nutrientes de la planta a los nuevos crecimientos de la parte aérea de estas (Salifu y Timmer, 2001). En las mezclas de sustratos S3 y S4 se presentó un efecto de concentración de P y K, probablemente como consecuencia de la limitación del crecimiento promovida por la escasez de N en esos sustratos.

Existe una interacción importante entre los regímenes de fertilización y las mezclas de sustratos (Figura 4.3, Cuadro 4.2), observable en el comportamiento diferencial entre los nomogramas de la columna izquierda y los de la derecha de la Figura 4.3. Los nomogramas de la columna derecha (Figura 4.3d, e y f) muestran que las mezclas de sustrato que indujeron mayores biomasa fueron S2, S4 y S5. De estos, las mezclas de sustrato S2 y S5 tienen 70% de aserrín mientras que el sustrato S4 tiene 30% de este material. La incorporación de Osmocote al sustrato, aparentemente hace eficiente los sustratos que contienen aserrín crudo (Figura 4.3d, e y f), mientras que la aplicación de fertilizante soluble combinado con Osmocote hace eficiente las mezclas de sustrato que contienen corteza de pino (con un tiempo de 6 meses de composteado) (Figuras 4.3a, b y c). No obstante lo anterior, el N limitó el crecimiento en los tratamientos con mayor proporción de aserrín (S2 y S5).

En general, la producción de biomasa foliar fue superior en las mezclas de sustratos bajo el régimen de fertilización de lenta liberación. La fertilización soluble presentó un efecto negativo sobre la producción de biomasa foliar, esto se aprecia

en el peso seco de 100 acículas de los nomogramas (Figuras 4.3d, e y f) presentan escalas superiores a las de los gráficos de la columna izquierda.

Es probable que el efecto negativo de la aplicación de fertilizantes solubles se deba, al menos parcialmente, a la generación de un desbalance entre los tres nutrimentos. De acuerdo con las Figuras 4.3b y 4.3c, el P y K se concentraron en el follaje de las plantas en los tratamientos donde hubo mejor crecimiento. Las elevadas concentraciones de P y K coincidieron con diluciones aparentemente fuertes en N, lo que indica la existencia de un desbalance del N con respecto a P y K. Con el uso solo de fertilizante de lenta liberación no se presentó tal desbalance (Figura 4.3d, e y f).

En un experimento realizado a la par con el presente estudio (datos no publicados), se detectó que el abastecimiento de fósforo fácilmente puede alcanzar niveles de toxicidad que limitan el crecimiento de *P. montezumae*, lo cual coincide con el hallazgo del presente estudio. La toxicidad es un factor que afecta negativamente la respuesta en crecimiento a dosis altas de fertilizante (Jacobs y Timmer, 2005; Jacobs *et al.*, 2009).

4.3.2.1 Comparación del estado nutrimental entre los métodos de fertilización.

El efecto negativo de la fertilización con materiales solubles se hace más evidente al comparar en un nomograma el comportamiento de las plantas en cada mezcla de sustrato, con uno y otro régimen de fertilización (Figuras 4.4a, b y c). Los nomogramas muestran que en general, la biomasa de 100 acículas es superior cuando se aplicó solo fertilizante de lenta liberación (O) que cuando se aplicó fertilizante soluble + fertilizante de lenta liberación (OS, Figuras 4.4a, b y c). Este efecto es evidente en las mezclas con alta proporción de aserrín, mientras que en los sustratos compuestos con elevada proporción de corteza de pino (S3 y S4), la producción de biomasa de acículas es similar con fertilizante de lenta liberación que con la aplicación de ambos fertilizantes.

Es posible que la liberación gradual de nutrientes del Osmocote “controle” en alguna medida el crecimiento de las poblaciones de microorganismos, disminuyendo así la competencia por nutrientes entre estos microorganismos y planta en el caso de los sustratos conformados con mayor proporción de aserrín.

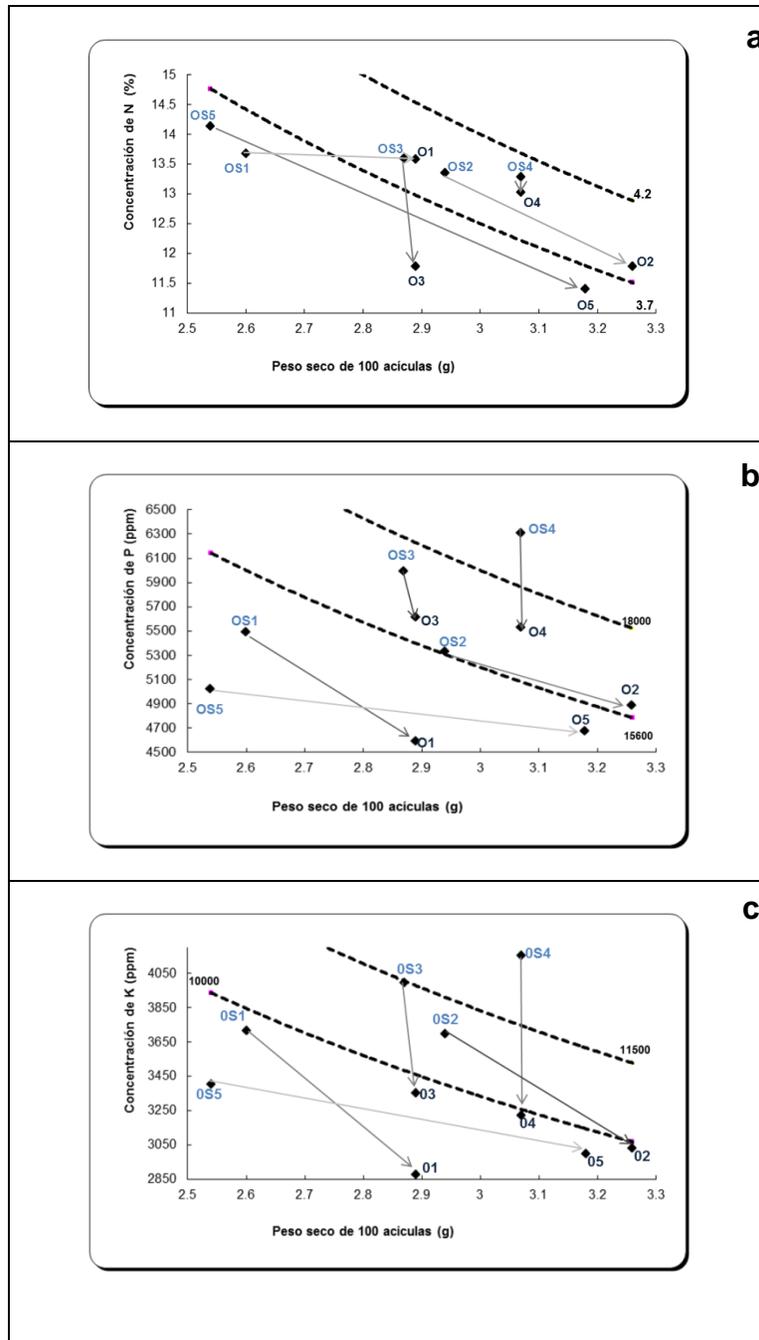


Figura 4.4. Efectos de regímenes de fertilización sobre la biomasa de 100 acículas, concentración y contenido de nitrógeno (A), fósforo (B) y potasio (C) en *Pinus montezumae*.

4.4 CONCLUSIONES

Cuando se utiliza aserrín crudo en mezclas de sustrato es necesario incorporar un fertilizante de lenta liberación para lograr un desarrollo adecuado de las plantas. Si se utilizan solamente fertilizantes solubles sin fertilización de lenta liberación las plantas presentarán un crecimiento raquíptico y síntomas visuales de deficiencias nutrimentales.

Los sustratos con aserrín resultaron más adecuados con el uso de únicamente fertilización de lenta liberación, mientras que con el uso de corteza de pino en los sustratos la combinación de fertilizantes solubles más fertilizantes de liberación lenta produce mejores resultados en términos de biomasa foliar.

En el presente estudio la fertilización soluble tuvo un efecto negativo en la producción de biomasa de acículas, presumiblemente debido a generación de un desbalance entre el nitrógeno y elevadas concentraciones de fósforo foliares.

La fertilización de liberación lenta produce plantas de *Pinus montezumae* a diez meses de edad de mayores dimensiones en términos de biomasa de acículas comparada con la producida bajo un régimen de fertilización de liberación lenta más soluble.

CAPÍTULO V

CRECIMIENTO Y ESTADO NUTRIMENTAL DE *Pinus montezumae* Lamb. EN RESPUESTA A RUTINAS DE FERTILIZACIÓN

RESUMEN

La fertilización es una práctica cultural en vivero que influye en la calidad de la planta. Un manejo inadecuado de ésta puede afectar el crecimiento y supervivencia de las plantas. Se comparó el efecto de distintas rutinas de fertilización en el crecimiento de *Pinus montezumae* con la finalidad de establecer la rutina adecuada para el crecimiento de esta especie en vivero. Se aplicaron ocho rutinas de fertilización a base de fertilizante soluble Peters® profesional en tres etapas: Iniciador 9-45-15, para crecimiento se utilizaron dos fórmulas 20-10-20 y 20-20-20 y finalizador 4-25-35. Los factores probados fueron: a) Concentración de nitrógeno en la etapa de crecimiento rápido (100 y 150 ppm), b) Fórmula de fertilización N-P-K en crecimiento rápido 20-10-20 y 20-20-20 y c) Concentración de nitrógeno en lignificación (50 y 75 ppm). El nitrógeno aplicado en la etapa de crecimiento y en la etapa de finalización no presentó efecto significativo en las variables de crecimiento evaluadas. La interacción entre nitrógeno y fósforo aplicados en la etapa de crecimiento fue significativa sólo para el peso seco aéreo. El diámetro y el peso seco de raíz se vieron afectados negativamente por una concentración mayor de fósforo. Se presentó mayor crecimiento en los tratamientos T2 y T4. En términos de biomasa de acículas el T2 y T7 presentaron un crecimiento mayor. El tratamiento T7 presentó consumo de lujo en K y P. Los tratamientos T4, T6 y T7 experimentaron dificultad en la absorción de N. En tanto, los tratamientos T3 y T5 presentan una reducción del crecimiento y del contenido en los tres nutrimentos analizados N, P y K. Se determinó que el aumento en el abastecimiento de un nutrimento con respecto a los demás puede limitar el crecimiento de las plantas.

Palabras claves: fertilización, sustrato, nutrimentos, fertilizante soluble

GROWTH AND NUTRITIONAL STATUS OF *Pinus montezumae* Lamb. IN RESPONSE TO FERTILIZATION ROUTINES

ABSTRACT

Fertilization is a cultural practice that influences seedling quality in the nursery. An improper control of this practice can affect the growth and seedling survival. It was compared the effect of different fertilization routines in the *Pinus montezumae* growth trying to establish the adequate one for the growth of this species. Eight fertilization routines based on professional Peters® soluble fertilizer, were applied in three stages: initiation 9-45-15, for fast growth were used two formulas, 20-10-20 and 20-20-20, and finisher 4-25-35. Factors tested were: a) nitrogen concentration in the fast growth stage (100 and 150 ppm), b) Fertilization formula N-P-K in fast growth 20-10-20 and 20-20-20 y c) Nitrogen concentration in lignification stage (50 y 75 ppm). Nitrogen applied in the growth and finisher stages did not presented significant effects in growth variables evaluated. Interaction between nitrogen and phosphorous applied in the growth stage was significant just for the shoot dry weight. Diameter and root dry weight were negatively affected by a greater phosphorus concentration. It was presented a higher growth in T2 and T4 treatments. T2 and T7 showed a higher growth in needless biomass. T7 treatment showed luxury consumption in K and P. T4, T6 and T7 treatments showed difficulty in the absorption of N. Furthermore, treatments T3 and T5 showed a reduction in the growth and content of the three analyzed nutrients N, P y K. It was determined that the increase of the supply of a nutrient respect to others can limit seedling growth.

Keywords: fertilization, substratum, nutrients, soluble fertilizer.

5.1 INTRODUCCIÓN

La fertilización es una práctica cultural que influye directamente en la calidad de la planta, principalmente la producida en contenedor (Landis *et al.*, 1989). Esta, puede acelerar o retrasar el crecimiento de la planta al proporcionar características morfológicas y fisiológicas adecuadas en plantas producidas en vivero, lo que genera individuos de buena calidad resistente al trasplante, estrés hídrico y frío (Oliet *et al.*, 1999; 2005). Sin embargo, un inadecuado manejo de la fertilización en vivero puede afectar el crecimiento del tallo y raíz de la planta (Haase y Rose, 1997).

Lo anterior se debe principalmente al uso de sustratos con características físicas y químicas adecuadas para la producción de planta, pero sin contenido nutrimental, lo cual puede generar problemas en el crecimiento de la planta en vivero. El uso de sustratos que no aporte nutrimentos puede afectar de forma decisiva el estado de la planta, en cuyo caso, el aporte de fertilizante debe ser necesario para un desarrollo y crecimiento adecuado de la misma (Oliet *et al.*, 1999).

En los últimos años se ha implementado el uso de dosis altas de fertilizante en el agua de riego (fertirrigación) en la producción de árboles, esto con la finalidad de acelerar el ritmo de crecimiento (Martínez *et al.*, 2007). Esta práctica también permite que la planta acumule reservas de nutrientes para su posterior reutilización cuando sea establecida en campo (McAlister y Timmer, 1998).

La aplicación de fertilizante se maneja por fórmulas específicas que van de acuerdo al momento de desarrollo en que se encuentra la planta, diferenciada en tres etapas: establecimiento, crecimiento y lignificación (Enricci *et al.*, 2001). En la última etapa se busca incrementar la lignificación de los árboles, mediante un pre-acondicionamiento previo a su establecimiento en campo (Prieto *et al.*, 2004), lo cual se logra con la modificación de la fertilización, la disminución del riego (Boivin *et al.*, 2002) y la exposición parcial o directa de las plantas al sol.

Pinus montezumae Lamb. es una especie de lento crecimiento en vivero (Perry, 1991). Por lo tanto, requiere de un pre-acondicionamiento y dosis de fertilización adecuada, con la finalidad de lograr una mayor lignificación de la planta, lo que conlleve a una mayor supervivencia en campo. A pesar de las dosis de fertilizante y métodos de fertilización que se realizan en la mayoría de los viveros forestales, no se han desarrollado rutinas de fertilización particulares para cada especie y se desconoce su efecto en el crecimiento de las plantas (Román *et al.*, 2001).

En el Vivero Forestal Pueblo Nuevo, Chignahuapan, Pue., donde producen anualmente 500, 000 árboles de *P. montezumae* se ha planteado la hipótesis que el diámetro reducido del tallo en esta pino se debe a deficiencias de fósforo (P) durante la fase de crecimiento rápido. Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo comparar el efecto de distintas rutinas de fertilización en el crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb., con la finalidad de establecer la mejor rutina para obtener el adecuado desarrollo de esta especie en vivero.

5.2 MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1 Área de estudio

El proyecto de investigación se estableció en el Vivero Forestal Pueblo Nuevo, ubicado en la comunidad de Pueblo Nuevo, Municipio de Chignahuapan, Puebla. Se localiza en 19° 57' 22" LN y 98° 06' 27.20" LO, a una altitud de 2,600 m. Se presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 18 °C, en cuanto la temperatura media anual más baja oscila alrededor de -3 °C, presentándose en los meses de diciembre y enero. Se tiene una precipitación anual promedio de 860.5 mm y el mes más lluvioso es en junio con 178 mm (INEGI, 2009).

5.2.2 Insumos y prácticas culturales

Mezclas de sustratos

La mezcla que se utilizó fue la misma que utilizan en el vivero en la producción de planta del vivero, compuesta de 70% aserrín, 10% turba, 10% perlita y 10% vermiculita. El aserrín fue proveniente de aserraderos locales con menos de 15 días de aserrado.

La mezcla de los materiales se realizó manualmente en el área de llenado del vivero; a ésta se le agregó fertilizante de lenta liberación Osmocote Plus® (15-9-12) (N-P-K + Mg + ME), con tiempo de liberación de 8 a 9 meses en dosis de 6 kg m⁻³ de sustrato. Se añadió MICROMAX®, fertilizante en polvo a base de micronutrientes en dosis de 800 g m⁻³, y finalmente Bactiva® (*Bacillus subtilis*) en dosis de 100 gr m⁻³, producto biofungicida que se usa para prevenir la pudrición de las raíces por hongos, mismas dosis utilizadas en el vivero.

Semillas y contenedores

La semilla que se utilizó se recolectó en el 2010 en los rodales del Ejido de Pueblo Nuevo. Después se benefició y almacenó en el banco de germoplasma del mismo

vivero. Se utilizaron contenedores de 220 cm³ (largo 119 mm y diámetro superior 60 mm), fabricados con polipropileno estabilizador de rayos ultra violeta (UV) con costillas internas, los cuales se colocaron en mesas porta tubete de 25 cavidades.

Siembra

Antes de realizar la siembra, la semilla se remojó en agua por una noche. Posteriormente se colocó en una malla al sol para secarla y se le aplicó Tecto[®] (Tiabendazol) para evitar daños por hongos durante el periodo de germinación. La siembra se realizó el día 24 de agosto del 2011, depositando dos semillas por cavidad (tubete). La germinación empezó el día 12 de septiembre y se completó el día 26 del mismo mes. Una vez completa la germinación se procedió a dejar solamente una plántula por tubete.

Fertilización

El manejo de la fertilización se realizó similarmente a la forma que se hace en la producción del Vivero Pueblo Nuevo. Se utilizó fertilizante soluble aplicado cuatro veces por semana en tres etapas: fertilizante iniciador Peters[®] profesional (9-45-15) en dosis de 75 ppm de N que se comenzó a aplicar el 10 de octubre del 2011 a todos los tratamientos. El 6 de febrero del 2012 se comenzó con el fertilizante de desarrollo el cual se aplicó de la siguiente manera: Peters[®] Peat Lite Special 20-10-20 a una dosis de 100 y 150 ppm de N en tratamientos T1, T2, T3 y T4 (Cuadro 5.1). En los cuatro tratamientos restantes se fertilizó con Peters[®] profesional 20-20-20 en dosis de 100 y 150 ppm de N. Para la etapa de lignificación se usó fertilizante finalizador Peters[®] profesional 4-25-35 en una dosis de 50 y 75 ppm de N a partir del 28 de mayo hasta el 27 de julio del 2012 (Cuadro 5.1). La aplicación se realizó de forma manual con bomba de aspersion.

Cuadro 5.1. Tratamientos y dosis de fertilizante en las tres etapas de crecimiento de la planta de *Pinus montezumae* Lamb.

Tratamientos	Iniciación 9-45-15 (ppm)	Crecimiento (ppm)	Finalización 4-25-35 (ppm)
T1	75	100 (20-10-20)	50
T2	75	100 (20-10-20)	75
T3	75	150 (20-10-20)	50
T4	75	150 (20-10-20)	75
T5	75	100 (20-20-20)	50
T6	75	100 (20-20-20)	75
T7	75	150 (20-20-20)	50
T8	75	150 (20-20-20)	75

Aplicación de fungicidas y anticongelante

Una vez germinada la planta y durante todo el experimento se realizaron aplicaciones de fungicidas como preventivos Previcur N[®] (Propamocarb clorhidrato) en dosis de 1 mL/L de agua cada ocho días y alternando con Derosal[®] (Carbendazim) en dosis de 1 mL/L de agua. Además, con la finalidad de evitar daños por heladas en las plantas se suministró a las mismas durante los meses de noviembre a febrero Temprol[®] (anticongelante líquido de uso foliar), en dosis de 500 ml por cada 15 litros de agua.

Durante la etapa de crecimiento se fue levantando la malla sombra paulatinamente con la finalidad de permitir una adecuada lignificación de la planta.

Riegos

Después de la siembra se dieron riegos diariamente o según lo necesitara la planta por pérdida de humedad del sustrato. El agua que se utilizó fue de los

manantiales provenientes de los cerros de la comunidad de Pueblo Nuevo; presenta un pH de 8.3 y una CE de 0.04 dS m^{-1} . Durante la aplicación del riego no se realizó corrección de pH, ya que al tomar este valor del lixiviado del sustrato drenado se tenían valores de pH cercanos a 6, considerado como adecuado para el crecimiento de las plantas.

5.2.3 Diseño experimental y análisis estadístico

Se combinaron distintos niveles de fertilización generando ocho tratamientos a evaluar (Cuadro 5.1). Cada tratamiento se replicó cuatro veces y la unidad experimental estuvo conformada por 25 plántulas. Las unidades experimentales se distribuyeron en una platabanda en forma completamente al azar. El tamaño de la muestra destructiva que se utilizó para la evaluación de los tratamientos fue de 12 plantas por cada unidad experimental elegidas del centro de cada charola.

La raíz de cada planta se lavó para desprender todo el sustrato que formaba el cepellón, tratando de evitar la pérdida de raíces pequeñas. Las plantas se colocaron en una mesa sobre papel absorbente para eliminar el exceso de agua. Para el caso de *P. montezumae* por su condición cespitosa solo se evaluó el diámetro del tallo en la base del cuello de la planta, pero no la altura. Cada muestra se puso en bolsas de papel previamente etiquetadas y se colocaron en una estufa de secado a $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 72 horas hasta obtener el peso seco aéreo (PSA) y el peso seco de raíz (PSR) de cada una de las plantas. A partir del PSA y PSR se obtuvo la relación parte aérea/parte radical (RPA/R).

Para el análisis de los datos se utilizó un modelo factorial 2^3 . Los factores probados fueron: a) Concentración de nitrógeno en la etapa de crecimiento rápido (100 y 150 ppm), a) Fórmula de fertilización N-P-K para la etapa de crecimiento rápido (Peters[®] 20-10-20 y 20-20-20) y c) Concentración de nitrógeno en la etapa de lignificación (50 y 75 ppm).

Se realizaron análisis de varianza y comparación de medias mediante el paquete estadístico SAS, versión 9.0 (SAS Institute, 2002). Para las cuatro variables

evaluadas (diámetro, peso seco de raíz, peso seco parte aérea y relación parte aérea/raíz), el modelo estadístico utilizado para el análisis fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + C_k + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = Variable respuesta

μ = Media general

A_i = Efecto de factor nitrógeno en crecimiento al nivel i.

B_j = Efecto del factor fósforo en crecimiento al nivel j.

C_k = Efecto del factor nitrógeno en finalización al nivel k.

AB_{ij} = Efecto de la interacción AB al nivel ij.

AC_{ik} = Efecto de la interacción AC al nivel ik.

BC_{jk} = Efecto de la interacción BC al nivel jk.

ABC_{ijk} = Efecto de la interacción ABC al nivel ijk.

ε_{ijkl} = Error aleatorio

$i=1, 2, \dots, a$ $j=1, 2, \dots, b$ y $k=1, 2, \dots, 12$.

5.2.4 Análisis nutrimental

Para el análisis nutrimental se procedió a elegir una muestra compuesta de acículas por cada unidad experimental, las cuales se secaron en una estufa a 70 °C durante 72 horas. De cada muestra de acículas se separó 100 de ellas, seleccionadas aleatoriamente, para la determinación de biomasa. Las acículas restantes se molieron para realizar las determinaciones de concentración y contenido de N, P y K.

El nitrógeno se determinó por el procedimiento micro-kjeldahl. Para la determinación de fósforo y potasio, el material vegetal se sometió a una digestión húmeda y el extracto se procesó mediante un ICP-AES (Alcántar-González y Sandoval-Villa, 1999) para la cuantificación de los nutrimentos.

La interpretación de los análisis foliares y el estudio del estado nutrimental del experimento se hizo mediante la técnica de análisis gráfico de vectores (Timmer y Stone, 1978). Para la elaboración de gráficos se utilizó un programa elaborado *ex profeso* en Excel.

La interpretación de los gráficos de vectores se realizó con base en los modelos tabulares presentados en Haase y Rose (1995), Weetman (1989), López-López y Alvarado-López (2010).

5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1 Crecimiento de *Pinus montezumae* en respuesta a tratamientos de fertilización.

De acuerdo al análisis de varianza realizado se tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) para las variables de crecimiento evaluadas diámetro, peso seco de raíz (PSR), peso seco parte aérea (PSA) y relación parte aérea/raíz (RPA/R), en las dosis de fertilización aplicadas y las interacciones entre éstas (Cuadro 5.2). No se tomó la altura de las plantas de *Pinus montezumae* debido a la característica cespitosa que presenta esta especie en sus primeras etapas de crecimiento.

El nitrógeno aplicado en la etapa de crecimiento no presentó efecto significativo sobre ninguna de las variables evaluadas (Cuadro 3). Esto coincide con lo reportado por Rodríguez-Trejo y Duryea, (2003), quienes evaluaron tres niveles de fertilización nitrogenada con diferentes periodos de aplicación a 100 ppm en *Pinus palustris* Miller, (especie con estado cespitoso), no encontrando diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización aplicados en las plantas producidas en contenedor.

En cambio al modificar la concentración del fósforo aplicado en la misma fase de crecimiento sí se tuvieron efectos significativos sobre las variables de diámetro ($P > 0.0390$), PSR ($P > 0.0097$) y RPA/R ($P > 0.0160$, Cuadro 5.4). Para la etapa de finalización, el nitrógeno aplicado únicamente presentó efecto significativo en peso seco aéreo ($P > 0.0087$).

La interacción entre nitrógeno y fósforo aplicados en la etapa de crecimiento fue significativa para el PSA ($P > 0.0015$) y RPA/R ($P > 0.0126$). Esto coincide con lo reportado por Arteaga y Zenil (2005), quienes evaluaron el efecto de nitrógeno y fósforo con diferentes dosis en el crecimiento y supervivencia de *Pseudotsuga macrolepis* Flous, encontrando que la interacción de nitrógeno con fósforo, únicamente presentó efectos significativos para la RPA/R.

En tanto, la interacción entre la aplicación de nitrógeno en la etapa de crecimiento y el nitrógeno aplicado en la etapa de finalización no presentó efecto significativo en ninguna de las variables de crecimiento evaluadas. La interacción entre la aplicación de fósforo en la etapa de crecimiento y nitrógeno en la etapa de finalización, presentó efecto significativo en el diámetro ($Pr > 0.0096$).

Cuadro 5.2. Análisis de varianza para las variables diámetro, peso seco aéreo (PSA), peso seco de raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) en respuesta a ocho rutinas de fertilización en el crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Diámetro Pr>F	PSA Pr>F	PSR Pr>F	RPA/R Pr>F
Tratamiento	7	0.0283	0.0033	0.0304	0.0306
CNC	1	0.8957	0.8747	0.8285	0.6517
CPC	1	0.0390	0.4997	0.0097	0.0160
CNF	1	0.0700	0.0087	0.0629	0.4745
CNC*CPC	1	0.5209	0.0015	0.1550	0.0126
CNC*CNF	1	0.5492	0.2112	0.4955	0.0998
CPC*CNF	1	0.0096	0.1403	0.0908	0.8808
CNC*CPC*CNF	1	0.3911	0.5475	0.8416	0.8009
C.V		16.66815	27.87867	26.70181	26.32144

CNC= Concentración de N en crecimiento (100 o 150 ppm), CPC= Concentración de P en crecimiento (nivel 10 o 20 %), CNF= Concentración de N en finalización (50 y 75 ppm).

La concentración de nitrógeno durante las fases de crecimiento no presentó efecto significativo en las variables evaluadas (Cuadro 5.3). Lo que coincide con lo reportado por Prieto-Ruíz *et al.* (2004) quienes evaluaron tres rutinas de fertilización en *Pinus cooperi* Blanco en vivero y no encontraron diferencias significativas entre las rutinas aplicadas en las variables evaluadas diámetro, peso seco aéreo y peso seco de raíz. Esto sugiere que durante la etapa de crecimiento una concentración de nitrógeno de 100 ppm es adecuada para *Pinus montezumae* Landis *et al.* (1989) y Dumroese *et al.* (1998) sugieren valores de 100 a 150 ppm de nitrógeno para esta fase de crecimiento en especies foréstaes.

En la fase de finalización tampoco se encontraron diferencias significativas en la concentración de nitrógeno. Sin embargo, con la aplicación de 75 ppm en esta etapa se presentaron valores mayores de diámetro, peso seco aéreo y peso seco de raíz (Cuadro 5.3). Avitia (2001) recomienda fertilizar *Pinus engelmannii* Carrière y *Pinus durangensis* Martínez con 75 ppm en la fase de finalización de las plantas.

La concentración de fósforo en la fórmula de fertilización (10 o 20%) afectó significativamente a todas las variables evaluadas excepto en el peso seco aéreo. El diámetro y el peso seco de raíz se vieron afectados negativamente por una concentración mayor de fósforo. Esto difiere con Domínguez *et al.* (2000), quienes evaluaron diferentes dosis de fertilización y reportaron que a mayor aporte de fósforo (70mg /L de solución) en *Pinus pinea* L., el peso seco radical aumenta. La relación parte aérea/raíz mejoró (disminuyó) al incrementar la concentración de fósforo (Cuadro 5.3). Prieto *et al.* (2004) evaluaron siete rutinas de fertilización en *Pinus engelmannii* encontrando que al aplicar Peters[®] profesional en dosis altas de 200 y 300 ppm se obtienen planta con atributos morfológicos de menor calidad a pesar de haber aplicado dosis mayores.

Se planteó originalmente la hipótesis que al aumentar la concentración de fósforo en la solución nutritiva podría aumentar el diámetro de la planta; sin embargo el resultado experimental indicó lo contrario. Stainer (1984), señala que la mayoría de los cultivos soportan las concentraciones totales de las soluciones nutritivas hasta límites fisiológicos particulares y, si se rebasan dichos límites, las plantas ya no responden en crecimiento, debido a sobredosis o a deficiencia en otros nutrimentos. Román *et al.* (2001) evaluaron *Pinus greggii* Engelm. Engelmann ex Parlatores con diferentes dosis de N-P-K y encontraron que cuando se presenta mayor absorción de fósforo las plantas presentan menor tamaño debido a un efecto de acumulación de este elemento en el tejido verde.

El abastecimiento de 20% de fósforo en la fórmula de fertilización resultó demasiado elevado. La fórmula del fertilizante de liberación lenta (15-9-12) debió proporcionar el fósforo necesario para el crecimiento de *P. montezumae*. La fórmula de fertilizante con mayor concentración de fósforo (20-20-20) ha de haber

generado un desbalance entre este nutrimento y otros (Cuadro 5.3). Mengel y Kirkby (1982) mencionan que existe una relación antagonista entre los fosfatos y el hierro en el agua del riego o suelo. En general la aplicación de nutrimentos no limitantes puede traer como consecuencia efectos nulos o negativos en el crecimiento de las plantas (Sumner, 1977; Schutz y Villiers, 1987).

Al aumentar la concentración de fósforo en la etapa de crecimiento se disminuye el diámetro, peso seco aéreo y peso seco raíz, sin embargo, se mejora la relación parte aérea/raíz. El mejoramiento de la RPA/R puede ser importante en la supervivencia en campo ya que se evita que la transpiración de la planta exceda la capacidad de absorción de agua principalmente en terrenos de baja fertilidad y poca humedad o ambos (Thompson, 1985; Haase y Rosen, 1997).

Cuadro 5.3. Valores medios para las variables diámetro, peso seco aéreo (PSA) peso seco de raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) en *Pinus montezumae* Lamb. bajo ocho rutinas de fertilización.

Factor/nivel	Diámetro (cm)	PSA (g)	PSR (g)	RPA/R
CNC 100 ppm	11.0 a	4.79 a	2.28 a	2.17 a
CNC 150 ppm	10.9 a	4.77 a	2.27 a	2.15 a
CPC 10 %	11.1 a	4.82 a	2.35 a	2.23 a
CPC 20 %	10.8 b	4.73 a	2.19 b	2.10 b
CNF 50 ppm	10.8 a	4.60 a	2.221 a	2.14 a
CNF 75 ppm	11.1 a	4.96 a	2.33 a	2.18 b

*Para una variable de respuesta y un factor de variación, letras diferentes denotan efectos significativos del nivel del factor, con $\alpha= 0.05$.

Las plantas que presentaron un diámetro mayor fueron las que se desarrollaron en los tratamientos T2, T4 y T7. En estos tratamientos, el diámetro varió entre 11.6 a 11.0 mm (Cuadro 5.4). A los dos primeros tratamientos se les aplicó una rutina de 75:100:75 y 75:150:75 ppm (iniciación: crecimiento: finalización), respectivamente.

La fórmula de fertilizante que se utilizó en la etapa de crecimiento para estos tratamientos fue 20-10-20. En tanto, en el tratamiento T7 se aplicó una rutina de fertilización de 75:150:50 ppm, con una fórmula de fertilización 20-20-20 durante la fase de crecimiento.

El T8 fue el que presentó el menor diámetro con un valor de 10.6 mm. En este se aplicó una rutina de fertilización de 75:150:75 ppm, con la fórmula de 20-20-20 durante la etapa de crecimiento. De acuerdo con Cleary *et al.* (1978) las plantas con mayor diámetro tendrán mayor transporte de agua y nutrientes, y además más posibilidades de sobrevivir, debido a que presentan mayor aislamiento contra temperaturas extremas y más cantidad de sustancias de reservas, por lo cual sufren de menor estrés.

Para la variable peso seco aéreo, las rutinas de fertilización que tuvieron un peso seco aéreo mayor fueron los T1 (75:100:50), T2 (75:100:75), T4 (75:150:75) y T8 (75:150:75), los cuales presentaron un PSA que varió entre 4.82 a 5.29 g. A los tres primeros tratamientos se les aplicó una fórmula de crecimiento de 20-10-20 y al T8 se le aplicó una fórmula de 20-20-20. En términos generales, los tratamientos que produjeron el mayor PSA recibieron la fórmula 20-10-20, indicando que posiblemente, el aumento en el abastecimiento de fósforo tuvo un efecto negativo sobre esta variable.

Los tratamientos T5 (75:100:50), T6 (75:100:75) y T7 (75:150:50) presentaron un PSA el cual varió entre 4.48 a 4.73 g, correspondiendo a los menores valores de peso. A estos tres tratamientos, en la etapa de crecimiento se les aplicó una fórmula de 20-20-20, confirmándose el probable efecto negativo de un elevado abastecimiento de P en la solución nutritiva. El tratamiento que presentó el menor peso aéreo fue el T3 (75:150:50) con un peso de 4.27 g (Cuadro 5.4). Prieto *et al.* (1999) señalan que valores bajos de peso seco aéreo pueden generar que las plantas tengan menor capacidad para almacenar carbohidratos.

Para la variable peso seco de raíz (PSR) en las ocho rutinas de fertilización aplicadas, los tratamientos que presentaron el mayor peso seco fueron T2 y T4,

los cuales tuvieron un peso de 2.54 y 2.38 g, respectivamente. Los tratamientos que presentaron el peso más bajo fueron T5 y T6 con valores de 2.14 y 2.18 g, respectivamente. Los demás tratamientos presentaron un PSR que varió entre 2.22 y 2.27 g. Los tratamientos que presentaron los pesos de raíz más bajos, recibieron durante la etapa de crecimiento la fórmula 20-20-20.

Considerando todos los tratamientos, las plantas de *Pinus montezumae* evaluadas presentaron un valor que varió entre 1.96 y 2.39 en la relación parte aérea/raíz. La mayoría de los tratamientos corresponden con lo reportado por Romero *et al.* (1986) quienes propusieron valores óptimos de relación parte aérea/raíz de 1.5 a 2.2 para coníferas norteamericanas. La rutina de fertilización T8 presentó el valor más alto con 2.39, sin embargo, entra en el rango reportado por Thompson (1985), quien sugiere que las especies de coníferas no deben de sobrepasar un valor de 2.5 principalmente cuando las plantas van a lugares con problemas de disponibilidad de agua. Los tratamientos que presentaron menor RPA/R fueron el T3 y T4 con un valor de 1.96 y 2.09, respectivamente.

Cuadro 5.4. Valores medios de las variables diámetro, peso seco de aéreo (PSA), peso seco de raíz (PSR) y relación parte aérea/raíz (RPA/R) en *Pinus montezumae* Lamb., bajo ocho rutinas de fertilización.

*Tratamiento	Diámetro (mm)	PSA (g)	PSR (g)	RPA/R
T1	10.82±0.26 bc [§]	4.82±0.19 abc	2.27±0.92 bc	2.16±0.08 abc
T2	11.60±0.26 a	5.29±0.19 a	2.54 ±0.92 a	2.13±0.08 bc
T3	10.63±0.26 bc	4.27±0.19 d	2.22±0.92 bc	1.96±0.08 c
T4	11.50±0.26 ab	4.92±0.19 abc	2.38±0.92 ab	2.09±0.08 bc
T5	10.64±0.26 bc	4.57±0.19 cd	2.14±0.92 c	2.18±0.08 abc
T6	10.77±0.26 bc	4.48±0.19 cd	2.18±0.92 c	2.10±0.08 bc
T7	11.01±0.26 abc	4.73±0.19 bcd	2.22±0.92 bc	2.24±0.08 ab
T8	10.59±0.26 c	5.14±0.19 ab	2.22±0.92 bc	2.39±0.08 a

[§]Para una variable de respuesta (columna), medias con letras diferentes denotan diferencias significativas entre los tratamientos aplicados con p=0.05.

‡T1 100 ppm 20-10-20 en C y 50 ppm en F, T2 100 ppm 20-10-20 en C y 75 ppm en F, T3 150 ppm 20-10-20 en C, y 50 ppm en F, T4 150 ppm 20-10-20 en C y 75 ppm en F, T5 100 ppm 20-20-20 en C y 50 ppm en F, T6 100ppm 20-20-20 en C y 75 ppm en F, T7 150 ppm 20-20-20 en C y 50 ppm en F y T8 150 ppm 20-20-20 en C y 75 ppm en F.

5.3.2 Estado nutrimental de *Pinus montezumae* en relación a las rutinas de fertilización aplicadas

Los tratamientos 2 y 7 presentaron los mayores crecimientos en términos de biomasa de 100 acículas (Figura 5.1). Esto coincide con los resultados obtenidos en las variables evaluadas de diámetro, peso seco aéreo y peso seco de raíz (Cuadro 5.4). Al parecer, el T2 fue beneficiado por un efecto sinérgico entre N, P y K, cuyo abastecimiento incrementó con respecto a T1 en la etapa de finalización. Este efecto sinérgico queda demostrado al generarse una dilución de los tres nutrimentos (Figuras 5.1a, b y c) con respecto al T1. La elevada tasa de crecimiento en el T2 como consecuencia del incremento en la aplicación de N, P y K durante la etapa de finalización (al incrementar la dosis de 50 a 75 ppm de N), aumentó el crecimiento de peso seco de 100 acículas, probablemente de manera superior al incremento que se hubiera experimentado al incrementar el abasto de

un nutrimento individual, provocando un efecto de dilución de los mismos nutrimentos. La mayoría de autores que han utilizado análisis de vectores se refieren a esto como dilución por crecimiento (Salifu y Jacobs, 2006; Imo y Timmer, 1997 y Weetman 1989). La dilución denota que la respuesta en crecimiento fue desproporcionadamente superior a la esperada por la cantidad absorbida del nutrimento, lo que debe ser por efecto sinérgico entre el nutrimento abastecido y otro nutrimento o proceso fisiológico/bioquímico dentro de la planta.

A diferencia del T1, en el T7 se aumentó el abasto de N, P y K, pero especialmente el de P durante la etapa de crecimiento, reflejándose en un mayor contenido de N (Figura 5.1a), P (Figura 5.1b) y K (Figura 5.1c). De hecho, el P y el K muestran una concentración en el follaje, correspondiente a consumo de lujo con este tratamiento (Figuras 5.1 b y c, Haase y Rose 1995; Weetman 1989; López-López y Alvarado-López, 2010). Las concentraciones de N, P y K que muestran los nomogramas para el tratamiento 7 (Figuras 5.1a, b y c) indican que durante la etapa de crecimiento, el abastecimiento de 150 ppm de N con la fórmula 20-20-20 fue correcto, no obstante que los abastecimientos de P y K fueron excesivos. López (1990) menciona que la mayoría de las plantas soportan concentraciones elevadas de K; no obstante, la elevada concentración de P si puede afectar negativamente el crecimiento del pino.

Los tratamientos 4, 6 y 8 experimentaron dificultad en la absorción de N (Figura 5.1a, López López y Alvarado-López 2010). Estos tratamientos tienen en común la característica de haber recibido la mayor dosis de N en la etapa de finalización (75 ppm; Cuadro 5.1) y aun así, la absorción de este nutrimento se vio limitada (menor contenido de N; Figura 5.1a) en comparación con el T1. Salifu y Jacobs, (2006) evaluaron la aplicación de fertilizante 15N- 5P₂O₅-15K₂O, el cual se aplicó en ocho dosis que fueron de 0-150 mg de nitrógeno por planta en *Quercus rubra* L., encontrando que a mayor dosis de N se tiene menor crecimiento en las plantas y menor contenido, aunque la concentración de N aumentó.

Es probable que la reducción en la absorción de N haya resultado de una interacción con el aumento en el abasto de K que se generó como consecuencia de la concentración elevada de N en la fórmula de finalización 4-25-35, cuyo efecto en la solución nutritiva se manifiesta principalmente en las concentraciones de P y K, más que en la de N, debido a que P y K son los nutrientes mayormente presentes en esta fórmula. Esto coincide con lo encontrado por Prieto *et al.* (2004) quienes en *Pinus engelmannii* encontraron que al aplicar dosis más altas de N, P y K con Peters Profesional® obtuvo que las plantas asimilaron nutrientes en altas proporciones pero el crecimiento de éstas fue menor.

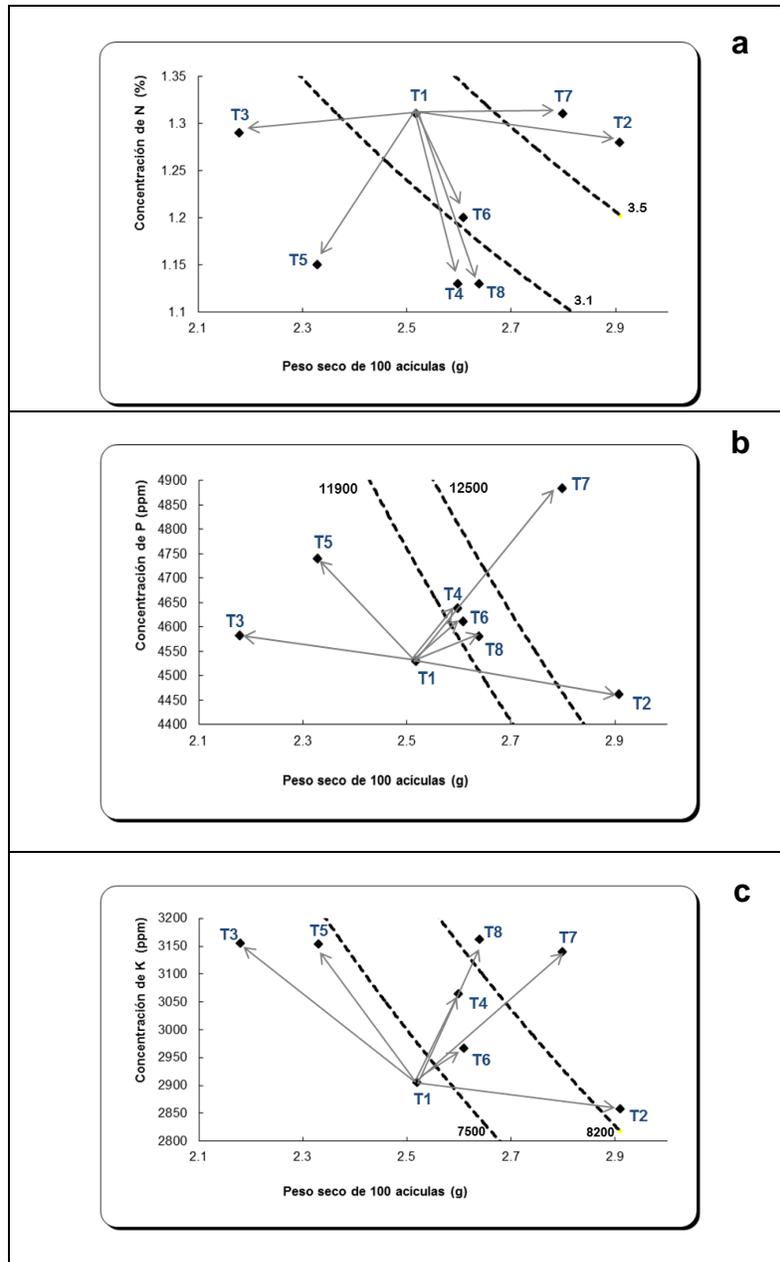
Bar (2011) menciona que en el suelo o sustrato, comúnmente tiene lugar una interacción entre el amonio y K, los cuales tienen radios iónicos parecidos e igual valencia, por lo que compiten por sitios de adsorción en el sustrato. Esto implica que la mayor concentración de uno de estos iones desplaza al otro de los sitios de adsorción, turnándolo vulnerable al proceso de lixiviación. Esta interacción pudiera explicar la disminución en la absorción de N en los tratamientos en cuestión con respecto al T1. De estar sucediendo este efecto, la recomendación sería mantener el N en la etapa de finalización en un nivel de 50 ppm, o bien probar una fórmula de finalización que promueva un mejor balance N, P y K, por ejemplo 5-11-26. (Boivin *et al.*, 2002); Aplicar altos niveles de nitrógeno en la etapa de finalización hace que las plantas acumulen reservas, que servirán en el sitio de plantación para la formación de nuevos tejidos, desarrollar raíz y ayude al rompimiento temprano de la yema (Salifu y Timmer, 2003; Dumroese 2003).

Los tratamientos T3 y T5, con respecto al tratamiento testigo T1, muestran una reducción del crecimiento y del contenido en los tres nutrientes analizados N, P y K (Figura 5.1a, b y c). En tanto, la concentración de P y K aumentó, lo cual pudo verse influenciado por la disminución del crecimiento, esto es efecto de concentración (Timmer, 1991), además del aumento del abastecimiento de estos nutrientes. Al crecer menos la planta se puede tener una mayor concentración del nutriente en las acículas (López-López y Alvarado-López, 2010). Al parecer los tratamientos T3 y T5 se vieron limitados por el abastecimiento de nitrógeno, el

cual estuvo presente en concentraciones bajas en relación a las de P y K. En efecto la Figura 5.1a indica que en estos tratamientos tanto el contenido como la concentración del nutrimento disminuyeron con respecto al tratamiento T1, denotando una deficiencia de nitrógeno. Una interpretación basada en López-López y Alvarado-López, (2010) indicaría que probablemente se trata de concentraciones tóxicas de P y K en relación a las de N.

Para el caso de N, los mencionados autores indican que este comportamiento de un nutrimento suministrado (menor crecimiento, menor concentración y menor contenido) es difícil de explicar. En el contexto del presente estudio se podría interpretar como un efecto de antagonismo de P y K con respecto a N, en cuya interacción, al aumentar, con respecto a T1 las concentraciones de P y K, estos nutrimentos limitaron la absorción de N (Figura 5.1a).

La reducción de la biomasa de 100 acículas con tratamientos donde se aumentó el abasto de P y K coincide con las reducciones de diámetro, PSA y PSR (Cuadro 5.4), lo que indica que se trata de un efecto consistente.



♠ Iniciador (9-45-15), Crecimiento (C) y Finalizador (F) (4-25-35)

● T1 100 ppm 20-10-20 en C y 50 ppm en F, T2 100 ppm 20-10-20 en C y 75 ppm en F, T3 150 ppm 20-10-20 en C, y 50 ppm en F, T4 150 ppm 20-10-20 en C y 75 ppm en F, T5 100 ppm 20-20-20 en C y 50 ppm en F, T6 100 ppm 20-20-20 en C y 75 ppm en F, T7 150 ppm 20-20-20 en C y 50 ppm en F y T8 150 ppm 20-20-20 en C y 75 ppm en F

Figura 5.1. Comportamiento del N, P y K en tejido foliar de plantas de 10 meses de edad de *Pinus montezumae* Lamb., en respuesta a tratamientos de nitrógeno y fósforo en las etapas de crecimiento y finalización.

5.4 CONCLUSIONES

Las fórmulas para endurecimiento en la etapa de finalización pueden tener efectos significativos sobre el crecimiento debido al bajo contenido de nitrógeno que llegan a presentar.

Existe una interacción significativa entre el abastecimiento de nitrógeno y fósforo durante la etapa de crecimiento.

Se encontró un efecto negativo de la aplicación de fósforo durante la etapa de crecimiento de plantas de *Pinus montezumae*, generado por un desbalance entre nitrógeno y fósforo, en el cual el nivel de fósforo resultó demasiado elevado en relación al nivel de nitrógeno.

El excesivo nivel de fósforo con relación al nivel de nitrógeno en los tejidos vegetales probablemente se deba a que el abastecimiento de P a través del fertilizante de lenta liberación fue suficiente para las plantas de *P. montezumae*, la especie, propiciándose un exceso de P con la aplicación de fertilizantes solubles.

Se confirma la importancia de mantener un balance nutrimental en los viveros forestales, el cual debe ser acorde con la especie. El aumento en el abastecimiento de un nutrimento con respecto a los demás puede limitar el crecimiento de las plantas.

CAPÍTULO VI

LITERATURA CITADA

- Abad, M. 1991. Los sustratos hortícolas y las técnicas de cultivo sin suelo. *In*: La Horticultura Española en la C.E. L. Rallo y F. Nuez (eds.). Ediciones de Horticultura S. L. Reus. Madrid, España. pp: 271-280.
- Abad, M., P.F. Martínez, M.D. Martínez y J. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11: 141-154.
- Abad, M. 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. *In*: F. Nuez (ed.). El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 131-265.
- Abad, M., P. Noguera y V. Noguera. 1996. Turbas para semillero. *In*: II Jornadas sobre Semillas y Semilleros Hortícolas. Congresos y Jornadas, 35/96. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla, España. pp: 79-101.
- Abad, M. y P. Noguera. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *In*: Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. C. Cadahía (coord.). Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 287-342.
- Abad, M., P. Noguera and S. Burés. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197-200.
- Alarcón L., A. 2006. Nutrición y riego en los viveros. Universidad Politécnica de Cartagena. *Revista Extra*: 52-65.
- Alcántar-González, G. y M. Sandoval-Villa. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación.

- Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México. 451p.
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 169 p.
- Arteaga M., B. y J. Zenil, R. 2005. Fertilización en vivero de *Pseudotsuga macrolepis* Flous. *Foresta Veracruzana* 7:41-45.
- Avitia S., V. 2001. Evaluación de dos tipos de fertilizantes, en tres rutinas, en la producción de dos especies de pino en sistema tecnificado. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. 57p.
- Bar, T. A. 2011. The Effects of nitrogen form on interactions with potassium. International Potash Institute. Research Findings 29: 3-11.
- Benton, J. J. Jr. 2003. Agronomic Handbook. Management of Crops, Soils, and their Fertility. CRC PRESS. Boca Raton. USA. 450 p.
- Bigras, F. J., A. González, A. L. Dáoust and C. Hebert. 1996. Frost hardiness, bud phenology and growth of containerized *Picea mariana* seedlings grown at three nitrogen levels and three temperature regimes. *New Forests* 12: 243-259.
- Boivin, J. R., B. D. Miller and V. R. Timmer. 2002. Late-season fertilization of *Picea mariana* seedlings under greenhouse culture: biomass and nutrients dynamics. *Annals of Forest Science* 59: 255-264.
- Boodley, W.J. 1998. The Commercial Greenhouse. 2nd Ed. Del Mar Publishers, Washington, USA. pp: 146-148.
- Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container-Grown Plants (2nd ed.), Unwin Hyman. London, UK. 309 p.

- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 342 p.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 5: 5-11.
- Cadahia, L. C. 1992. Caracterización química y físico-química de sustratos. *Jornadas de Sustratos. Actas de Horticultura* 11:19-25.
- Cleary, B. D., R. D. Greaves and R. K. Hermann. 1978. *Regeneration Oregon's Forest. A Guide for Regeneration Forest.* Oregon State University. School of Forestry. Oregon, USA. 242 p.
- Colombo, S. J. 1997. Frost hardening spruce container stock for overwintering in Ontario. *New Forests* 13: 449-467.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2012. *Evaluación Complementaria del PROCOREF Ejercicio Fiscal 2011.* Universidad Autónoma Chapingo. 325 p.
- Davidson, J. 1996. Off site and out of sight! How bad cultural practices are offsetting genetic gains in forestry. *In: M. J. Dieters, A.C. Matheson, D.G. Nikles, C.E. Harwood and S.M. Walker (eds.). Proceedings of Tree Improvement for Sustainable Tropical Forestry.* Queensland Forest Research Institute Conference. Caloundra, Queensland, Australia Vol. II: 288-294.
- De Boodt, M. y O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26: 37-44.
- De Boodt, M., O. Verdonck y I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.
- Díaz S., F. R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. *Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura.*

- Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coah., Méx. pp: 44-68.
- Di Benedetto, A., R. Klasman y C. Boschi. 2002. Evaluación de la formulación de tres sustratos en base al uso de turba fúngica para *Impatiens walleriana*. Agro Sur 30 (2): 35-42.
- Dickson, A. A. L. Leat, and J.F Hosner. 1960. Seedling quality-soil fertility relationships of White Spruce and Red White pine in nurseries. For. Chron. 36: 237-241.
- Domínguez L., S., J. Oliet P., J. L. Peñuelas R. Y R. Serrada H. 2000. Influencia de la relación N-P-K en el desarrollo en vivero y en campo de planta de *Pinus pinea*. Actas del congreso. Simposio del pino piñonero. Valladolid. pp: 195-202.
- Dumroese, R. K., T.D. Landis and D.L. Wenny. 1998. Raising forest tree seedlings at home: Simple methods for growing conifers of the Pacific Northwest from seed. Moscow, Idaho: University of Idaho. Forest Wildlife and Range Experiment Station. Contribution Number 860. 56 p.
- Dumroese R., K. 2003. Hardening fertilization and nutrient loading of conifer seedlings. *In*: L. E. Riley, R.K. Dumroese, R. K. and T. D., Landis, (Tech. Coords.). National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2002. Proceedings RMRS-P-28. Odgen, UT. USDA. Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp: 31-36.
- Duryea, M. L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. *In*: Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Test. M. L. Duryea (ed.). Forest Research Laboratory. Oregon. USA. 143 p.

- Enricci, J., G. Alday, y D. Massone. 2001. Producción de plantines en contenedores. Acta de las VI jornadas de viveristas forestales de la Patagonia, 15 y 16 de noviembre. Argentina. 5p.
- Escobar, R. 2007. Manual de viverización. *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta. Proyecto Innova Chile – INFOR. Instituto Forestal Concepción, Chile. 230 p.
- Fernández C., J., E. Cora y L. T. Braz. 2006. Desempenho de substratos no cultivo do tomateiro do grupo cereja. Horticultura Brasileira (24):42-46.
- García C., O., G. Alcántar G., R. I. Cabrera, F. Gavi R., y V. Volke H. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra 19 (3): 249-258.
- Gleason, J. F., M. L. Duryea, R. Rose y M. Atkinson. 1990. Nursery and field fertilization of 2 + 0 ponderosa pine seedlings: the effect on morphology, physiology, and field performance. Canadian Journal of Forest Research 20:1766-1772.
- Graciano, C., J. Goya F., J. Frangi L. y J. Guiament J. 2006. Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. Forest Ecology and Management 236: 202-210.
- Grez, R. y V. Gerding. 1995. Aplicación de aserrín de la industria forestal para el mejoramiento del suelo. Bosque 16 (1): 115-119.
- Haase, D.L. and R. Rose. 1993. Soil moisture stress induces transplant shock in stored and unstored 2+0 Douglas-fir seedlings of varying root volumes. Forest Science 39: 275–294.
- Haase, D. L. and R. Rose. 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. Forest Science 41(1): 54-66.

- Haase, D. L., and R. Rose (Eds.). 1997. Symposium Proceedings: Forest Seedling Nutrition from the Nursery to the Field. Oregon State University, Nursery Technology Cooperative. 161p.
- Haase, D. L., R. Rose, and J. Trobaugh. 2006. Field performance of three stock sizes of Douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium. *New Forests* 31:1-24.
- Haase, D. L. 2007. Morphological and Physiological Evaluations of Seedling Quality. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P 50: 1-8
- Hartmann, H. T. and D. E. Kester. 1998. Propagación de Plantas (Principios y Prácticas). Prentice Hall. New Jersey, USA. 647 p.
- Hendreck, K. A. and N. Black. 1991. Growing media ornamental plants and turf. New South Wales University Press. Kensington. 401 p.
- Hernández-Apaolaza, L., A. Gasco M., J. Gasco M. y F. Guerrero. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresour. Technol.* 96:125–131.
- Imo, M. and V. Timmer R. 1997. Vector diagnosis of nutrient dynamics in Mesquite seedlings. *Forest Science* 43:268-273.
- INEGI. 2009. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de las Cartas de Climas, Precipitación Total Anual y Temperatura Media Anual 1:1000, 000, serie I.
- Jackson, B. E. and R. D. Wright. 2009. Changes in chemical and physical properties of pine tree substrate and pine bark during long-term nursery crop production. *HortScience* 44(3):791-799.
- Jacobs, D.F., A.L. Ross-Davis, A.S. Davis. 2004. Establishment success of conservation tree plantations in relation to silvicultural practices in Indiana, USA, *New Forests* 28: 23–36.

- Jacobs, D.F. and V.R.Timmer. 2005. Fertilizer-induced changes in rhizosphere electrical conductivity: relation to forest tree seedling root system growth and function. *New Forests* 30:147-166.
- Jacobs, D. F., K. F. Salifu, y J. Oliet A. 2009. Sobrecarga exponencial de nutrientes para la optimización de la fertilización en vivero de plantas de *Quercus ilex* L. 5º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. pp: 2-11.
- James, B. 1986. Propagation media: what a grower needs to know. Combined Proceedings, International Plant Propagators Society Meeting. Washington, U.S.A. 36: 396-399.
- Jiménez R. y M. R. Caballero. 1990. El Cultivo Industrial de Plantas en Maceta. Ediciones de Horticultura. S.L. Reus. España. 664 p.
- Jiménez-Gómez, S., 1992. Fertilizantes de liberación lenta: Introducción. *In*: Fertilizantes de liberación lenta. Jiménez Gómez, S. Ed., Mundi-Prensa. Madrid, pp: 1-7.
- Johnson, J. D. and M. L. Cline. 1991. Seedling quality of southern pines. *In*: Forest Regeneration Manual. M.L. Duryea and P.M. Dougherty (eds.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/ Boston/ London. pp: 117-141.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S.E. McDonald, and J.P. Barnett. 1989. The Container Tree Nursery Manual. Seedling nutrition and irrigation. Vol. 4. Agric. Handbook. 674. USDA, Forest Service. Washington, DC. 119. p.
- Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald, and J.P. Barnett. 1990. The Container Tree Nursery Manual. Containers and growing media. Vol. 2. Agric. Handbook. 674. USDA, Forest Service. Washington, DC. 88 p.
- Lax, A., A. Roig and F. Costa. 1986. A method for determining the cation-exchange capacity of organic materials. *Plant and Soil* 94:349-355.

- Lemaire, F. 1993. Emploi des matieres organiques comme substrat dans les cultures hos sol. PHM Revue Horticole 336:10-17.
- López L., M. A. 1990. Estudio de nutrición de *Pinus patula* Schl. et Cham. en sistema hidropónico. Tesis Profesional. UACH., Chapingo, Méx.
- López-López, M.A., y J. Alvarado-López. 2010. Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. Madera y Bosques 16: 99-108.
- Lopuahinaky, W. 1990. Seedling moisture status. *In*: Target Seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. August 13-17, 1990. Gen. Tech. Rep. RM-200. USDA, Forest Service. Fort Collins, CO. USA. pp: 123-128.
- Luis, V. C., J. Peter, A. M. González-Rodríguez, M. Jiménez S. and D. Morales. 2004. Testing nursery plant quality of Canary island pine seedlings under different cultivation methods. Phytion; Annales Rei Botanicae. 44: 231-244
- Luis, V. C., J. Puértolas, J. Climent, J. Peters, A. M. González-Rodríguez, D. Morales and M. Jiménez S. 2009. Nursery fertilization enhances survival and physiological status in Canary Island pine (*Pinus canariensis*) seedlings planted in a semiarid environment. European Journal of Forest Research 128: 221–229.
- Lorenzo, P., E. Medrano y M. García. 1996. Estudio comparativo de la eficiencia hídrica de dos sistemas de control de riego en sustrato. XIV Congreso Nacional de Riegos: D.G.I.A. Congresos y Jornadas 37: 668-672.
- Maldonado-Benítez, R. K., A. Aldrete, J. Lopez-Upton, H. Vaquera-Huerta y V. M. Cetina-Alcalá. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. Agrociencia 45 (3): 389-398.

- Mañas, P., E. Castro and J. de las Heras. 2009. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. *New Forests* 37:295–311.
- Martínez M. 1948. Los pinos mexicanos. Ediciones Botas. México. 361p.
- Martínez F., X. 1993. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de Horticultura* 11:55-66.
- Martínez B., D., C. Barroetaveña y M. Rajchenberg. 2007. Influencia del régimen de fertilización y del momento de inoculación en la micorrización de *Pinus ponderosa* en la etapa de vivero. *Bosque* 28: 226-233.
- Mateo S., J.J. 2002. Potencial del aserrín como alimento para rumiantes y sustrato para plantas. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 92 p.
- Mateo-Sánchez, J.J., R. Bonifacio-Vázquez, S. R. Pérez-Ríos J. Capulín-Grande y L. Mohedano-Caballero. 2011. Producción de (*Cedrela odorata* L.) en aserrín crudo con diferentes dosis de fertilización, en Tecpan de Galeana, Guerrero. *Ra Ximhai*. 7: 195-204.
- Matthews, R.G. 1982. Contrasting approaches to containerized seedling production: 1. British Columbia *In*: Scarratt, J. B., C. Glerum, Plexman, C.A. (eds.). Proceedings of the Canadian Containerized Tree Seedling Symposium; 1981 September 14-16; Toronto, ON. COJRC Symposium Proceedings O-P-10 Sault Ste. Marie, ON: Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre. pp: 115-122.
- May, J. T. 1984. Lifting and field packing. *In*: J. T. May, E. W. Belcher, Jr., C. E. Cordell, T. H. Filer, Jr., D. South, and C. W. Lantz (eds.). Southern Pine Nursery Handbook. USDA Forest Service. Southern Region. pp: 81-82.

- McAlister, J.A., and V.R. Timmer. 1998. Nutrient enrichment of white spruce seedlings during nursery culture and initial plantation establishment. *Tree Physiology* 18:195-202.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. 3rd. Edition, International Potash Institute – Bern, Switzerland. 807 p.
- Mexal, J. G. y T. Landis D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. *In*: R. Rose (Eds.). Target seedling symposium: Proceedings, Combined Meeting of The Western Forest Nursery Associations. Roseburg, OR. GTR: RM-200. USDA Forest Service. pp: 17-34.
- Mora, L. 1999. Sustrato para cultivos sin suelo hidroponía. XI Congreso Nacional Agronómico/ III congreso Nacional de Suelos. INDAGRO. Costa, Rica. pp: 3-5.
- Noguera, P., M. Abad, R. Puchades, V. Noguera, and A. Maquieira. 2000. Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. *Acta Horticulturae* 517:279-288.
- Oliet J., L. Segura, F. Martín D., E. Blanco., R. Serrada., M. López A. y F. Artero. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada aplicados a producción de planta forestal en vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. *Investigación Agraria: Sistemas Recursos Forestales* 8:335-359.
- Oliet, J., R. Planelles, F. Artero, E. Martínez M., L. Álvarez L., R. Alejano y M. López A. 2003. El potencial de crecimiento radical en planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. Influencia de la fertilización. *Investigación Agraria: Sistemas Recursos Forestales* 12:51-60.
- Oliet, J., R. Planelles, F. Artero and D. F. Jacobs. 2005. Nursery fertilization and tree shelters affect long-term field response of *Acacia salicina* Lindl. planted

- in Mediterranean semiarid conditions. *Forest Ecology and Management* 215: 339-351.
- Olivo, V. y C. Baduba. 2006. Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosques* 27: 267-271.
- Ortiz, O. 1997. Producción de brotes en plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) en sustratos de corteza de pino. Tesis de Licenciatura. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 51p.
- Owen, J.S. Jr. 2007. Industrial mineral aggregate amendment affects physical and chemical properties of pine bark substrates. *Hortscience* 42(5):1287–1294.
- Pardos, M., A. Royo., L. Gil and J. Pardos A. 2003. Effect of nursery location and outplanting date performance of *Pinus halepensis* and *Quercus Ilex* seedlings. *Forestry: an International Journal of Forest Research* 76(1): 67-81.
- Pawuk, W. H. 1981. Potting Media Affect Growth and Disease Development of Container-Grown Southern Pines. Southern Forest Experiment Station. Research Note. SO-268. pp: 1-4.
- Peñuelas R., J.L. y B. Ocaña L. 1996. Cultivo de Plantas Forestales en Contenedor. Mundi-Prensa. Madrid, España. 190 p.
- Perry, J.P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregón. 231p.
- Prieto R., J. A., G. Vera C. y E. Merlin B. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico No. 12. Campo Experimental Valle de Guadiana. INIFAP. Durango. México. 23 p.
- Prieto R., J.A., P.A. Domínguez C., E.H. Cornejo O., J. de J. Návar C., y J. Jiménez P. 2004. Efecto de la fertilización en la producción de planta de

Pinus engelmannii Carr. en vivero. Revista Ciencia Forestal en México 27: 79-94.

Prieto-Ruíz, J. A., P. A. Domínguez-Calleros, J. de J. Navar-Chaidez y E. H. Cornejo-Oviedo. 2004. Factores que influyen en la producción de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 10: 63-70.

Radwan, M.A., G.L. Crouch and H.S. Word. 1971. Nursery fertilization of Douglas-fir seedlings with different forms of nitrogen. USDA Forest Service Research paper PNW. 113 p.

Raviv, M., Y. Chen, Z. Geler, S. Medina, E. Putievski and Y. Inbar. 1984. Slurry produced by methanogenic fermentation of cow manure as a growth medium for some horticultural crops. Acta Horticulturae 644:251-259.

Raviv, M., Y. Chen and Y. Inbar. 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container grown plants. *In*: The role of organic matter in modern agriculture. Y. Chen y Y. Avnimelech (eds.). Martinus Nijhoff Publishers. The Netherlands. pp: 257-287.

Raviv, M., R. Wallach and T. Blom. 2004. The effect of physical properties of soilless media on plant performance, a review. Acta Horticulturae 644: 251-259.

Reddell, P., M.J. Webb, D. Poa, and D. Aihuna. 1999. Incorporation of slow-release fertilizers into nursery media. New Forests 18: 277–287.

Reis, M. 1995. Evaluation of composted pine bark and carob pods as components for horticultural substrates. Acta Horticulturae 401: 243-249.

Reyes R., J., A. Aldrete, V.M. Cetina-Alcala. y J. López-Upton. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustratos a base de

- aserrín. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 11:105-110.
- Richards, D., M. Lane and D.V. Beardsell. 1986. The influence of particle-size distribution in pinebark: sand: brown coal potting mixes on water supply, aeration and plant growth. *Scientia Horticulturae* 29(1/2): 1-14.
- Ritchie, G.A. 1984. Assessing seedling quality. *In: Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*. M.L. Duryea, and T.D. Landis (eds.). Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague/Boston/Lancaster, Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, OR. pp: 243-257.
- Ritchie, G. A. 1985. Root growth potential: principles, procedures and predictive ability. *In: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests* M.L. Duryea (ed.). Proceedings of a workshop held October 16-18, 1984. Corvallis (OR): Oregon State University, Forest Research Laboratory. pp: 93-106.
- Rodríguez-Trejo, D. A. y M. L. Duryea. 2003. Indicadores de calidad de planta en *Pinus palustris* Mill. *Agrociencia* 37: 299-307.
- Román J., A. R., J. J. Vargas H., G. A. Baca C., A. Trinidad S. and M. P. Alarcón B. 2001. Crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* Engelm. en respuesta a la fertilización. *Revista Ciencia Forestal en México* (26) 89: 19-43.
- Romero, A., E., J. Ryder, J. T. Fisher, J.G. Mexal. 1986. Root system modification of container stock for arid land plantings. *Forest Ecology and Management* 16: 281-290.
- Salifu, K. F. and V. R. Timmer. 2001. Nutrient retranslocation response of *Picea mariana* seedlings to nitrogen supply. *Soil Science Society of America Journal* 65:905-913.

- Salifu, K. F. and V. Timmer R. 2003. Nitrogen retranslocation response of young *Picea mariana* to nitrogen-15 supply. Soil Science Society of America Journal 76:309-317.
- Salifu K. F., D. F. Jacobs. 2006. Characterizing fertility targets and multi-element interactions in nursery culture of *Quercus rubra* seedlings. Annals of Forest Science 63:231– 237.
- Sánchez C., T. 2006. Caracterización de sustratos y su influencia en la producción de plantulas de *Pinus patula* Schl. et Cham. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 80 p.
- Sánchez-Córdova, T., A. Aldrete, V.M. Cetina-Alcalá y J. López-Upton. 2008. Caracterización de medio de crecimiento compuesto por corteza de pino y aserrín. Madera y Bosques 14: 41-49.
- Sandoval M., C., V.M. Cetina-Alcalá, R. Yeaton, y L. Mohedano C. 2000. Sustratos y polímeros en la producción de planta de *Pinus cembroides* Zucc., bajo condiciones de invernadero. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 6: 143-150.
- Saur, E., J. Ranger, B. Lemoine and J. Gelpe. 1992. Micronutrient distribution in 16-year-old Maritime pine. Tree Physiology 10:307-316.
- SAS Institute. 2002. SAS User's Guide, versión 9.0. SAS Institute Inc., Cary N.C., USA.
- Serrada H., R., R. M. Navarro C. y J. Pemán G. 2005. La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la silvicultura y la ecofisiología. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 14: 462-281.
- Schutz, C. J. and J. M. Villiers. 1987. Foliar diagnosis and fertilizer prescription in forestry - The DRIS system and its potential. South Africa Forest Journal 141:6-12.

- Stainer, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture*. ISOSC. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-649.
- Stewart, J.D. y P. Y. Bernier. 1995. Gas exchange and water relations of three sizes of containerized *Picea mariana* seedlings subjected to atmospheric and edaphic water stress under controlled conditions. *Annales des Sciences Forestières* 52:1-9.
- Struve, D.K. 1993. Effect of copper-treated containers on transplant survival and regrowth of four tree species. *Journal of Environmental Horticulture*. 11:196-199.
- Sumner, M.E. 1977. Preliminary N-P-K foliar diagnostic norms for wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8:148-167.
- Timmer, V.R., and E.L. Stone. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam fir fertiized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *Soil Science Society of America Journal*. 42:525-130.
- Timmer, V. R. 1991. Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. *In: R. van den Driessche, (ed.): Mineral Nutrition of Conifer Seedlings*. CRC Press Boca Raton, Ann Arbor, Boston. pp: 113-134.
- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphology: what you can tell by looking. *In: Evaluating Seedling Quality. Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Test*. M. L. Duryea. (ed.). Corvallis, Oregon. pp: 59-71.
- Valdivia V., M.A. 1989. Prueba de diferentes sustratos para la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero rústico. Tesis de Licenciatura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 105 p.
- Van Steenis, E. 1999. Forest seedling nutrition trends. *In: T. D. Landis and J. P., Barnett, (Tech. Coords.) National Proceedings of the Forest and*

- Conservation Nursery Associations-1998. USDA, Forest Service, Gen. Tech. Rep. SRS-25. pp: 104-107.
- Warren, S. L., and T. E. Bilderback. 1992. Effect on chemical and physical properties of pine bark substrate and plant growth. Horticultural Research Institute 10:63-69.
- Webb, M.J., D. Poa, A. Hambleton, and P. Reddell. 1995. Identifying and solving nutritional problems in establishing plantations of high-value cabinet timbers: A case study from Kolombangara in the Solomon Islands, *In*: Schulte, A. and Ruhiyat, D. (Eds) International Congress on Soils of Tropical Forest Ecosystems, Volume 4. Mulawarman University Press, Samarinda, Indonesia. pp: 148–165.
- Weetman, G. F. 1989. Graphical vector analysis technique for testing stand nutritional status. *In*: W. J. Dyck and C. A. Mees (Ed). Research Strategies for Long-term Site Productivity. Proceedings, IEA/BE A3 Workshop, Seattle, WA, August 1988. IEA/BE A3 Report No. 8. Forest Research Institute, New Zealand, Bulletin 152. pp: 93-109.
- Wightman, K. 2000. Practicas adecuadas para los viveros forestales. Guía práctica para los viveros comunitarios. ICRAF. Nairobi, Kenya. 101 p.
- Wilson, G.C.S. 1985. New perlite system for tomatoes and cucumbers. *Acta Horticulturae* 172: 151-156.