



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

Producción de plantas de dos especies del género *Pinus*, utilizando diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada

MANUEL AGUILERA RODRÍGUEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

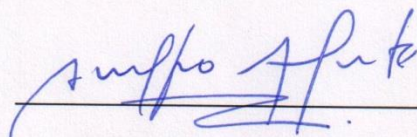
2014

La presente tesis titulada: “**Producción de plantas de dos especies del género *Pinus* utilizando diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada**”, realizada por el alumno: **Manuel Aguilera Rodríguez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES


CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



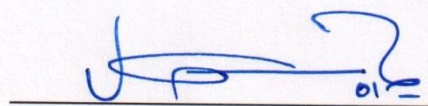
DR. ARNULFO ALDRETE

ASESOR



DR. TOMÁS MARTÍNEZ TRINIDAD

ASESOR



DR. VÍCTOR M. ORDAZ CHAPARRO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Diciembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

A nuestro Padre Celestial, que nos dio licencia para realizar este proyecto.

A mi Patria y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado para realizar mis estudios de maestría.

Al personal académico del Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados, por su profesionalismo.

Al personal académico, administrativo y de servicios del Colegio de Postgraduados, por hacernos sentir como en nuestra segunda casa.

Al Dr. Arnulfo Aldrete por su disposición para fungir como asesor y como amigo.

A los Drs. Víctor M. Ordaz Chaparro, Tomás Martínez Trinidad, Libia Iris Trejo Téllez, José Ángel Prieto Ruiz y Vicente Arriaga Martínez, y M.C. Jorge Alvarado López, por su disposición para fungir como asesores y revisores.

A las familias Vargas titular del vivero “GUMAIR”, por su amistad y apoyo para la instalación y evaluación de los experimentos realizados.

A mi esposa Evangelina Rosas, a mis hijos Manuel Salvador y Paulina Montserrat, por ser un regalo del Señor.

A mis padres, Doña Catalina Rodríguez y Don Salvador Aguilera, que el Señor tenga en su Gloria, por darme la vida y su amor.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE ANEXOS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Descripción de las especies producidas	3
2.2. Fertilizantes de liberación controlada (FLC)	3
2.3. Sustratos	10
2.4. Conclusiones.....	14
CAPÍTULO III. PRODUCCIÓN DE <i>Pinus montezumae</i> Lamb. EN VIVERO, CON DIFERENTES SUSTRATOS Y FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA.....	15
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
3.1 Introducción.....	17
3.2. Materiales y métodos	18
3.2.1. Área de estudio	18
3.2.2. Insumos utilizados.....	18
3.2.3. Tratamientos establecidos.....	19
3.2.4. Manejo de la producción	20
3.2.5. Materiales y variables evaluadas	21
3.2.6. Diseño experimental y análisis estadístico	22
3.3. Resultados y discusión.....	23
3.3.1. Propiedades físicas y químicas de los sustratos	23

3.3.2. Variables morfológicas de las plantas	23
3.3.3. Contenido nutrimental del follaje de las plantas	26
3.3.4. Contenido residual de N, P, K en los fertilizantes.....	28
3.4. Conclusiones.....	28
CAPÍTULO IV. PRODUCCIÓN DE PLANTA DE <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. CON	
SISTRATOS DE ASERRÍN Y FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN	
CONTROLADA.....	
	30
RESUMEN	30
ABSTRACT	31
4.1. Introducción.....	32
4.2. Materiales y métodos	33
4.2.1. Área de estudio	33
4.2.2. Insumos utilizados.....	34
4.2.3. Tratamientos establecidos.....	34
4.2.4. Manejo de la producción	35
4.2.5. Materiales y variables evaluadas	36
4.3. Resultados y discusión.....	37
4.3.1. Propiedades físicas y químicas de los sustratos.....	37
4.3.2. Variables morfológicas de las plantas	38
4.4. Conclusiones.....	42
CAPITULO V. ANÁLISIS DE COSTOS DE SUSTRATOS Y FERTILIZANTES PARA	
LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE <i>Pinus montezumae</i> Lamb.....	
	43
RESUMEN	43
ABSTRACT	44
5.1. Introducción.....	45
5.2. Materiales y métodos	46
5.2.1. Tratamientos evaluados	46

5.2.2 Cotización de insumos	46
5.2.3. Requerimiento y costo de sustratos	47
5.2.4. Requerimiento y costo de fertilizantes.....	47
5.3. Resultados y discusión.....	49
5.4. Conclusiones.....	51
VI. LITERATURA CITADA.....	52
ANEXOS	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1. Tipo de sustrato, fertilizantes y dosis utilizada por tratamiento, para la producción de planta de <i>P. montezumae</i> Lamb.....	20
Cuadro 3.2. Características físicas y químicas de los sustratos utilizados en la producción de planta de <i>P. montezumae</i> Lamb.....	23
Cuadro 3.3. Valores estadísticos promedio por tratamiento, para las variables morfológicas medidas a las plantas de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. después de 9.5 meses de la siembra.....	25
Cuadro 3.4. Concentración porcentual de N, P, K en el follaje de las plantas de <i>Pinus montezumae</i> Lamb., por tratamiento, después de 9.5 meses de la siembra....	27
Cuadro 4.1. Tipo de sustrato, fertilizantes y dosis por tratamiento, utilizados en la producción de planta de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm ³	35
Cuadro 4.2. Características físicas y químicas de los sustratos utilizados en la producción de planta de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm ³	38
Cuadro 4.3. Valores promedio obtenidos por tratamiento, para las variables morfológicas de las plantas de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl., después de 10 meses de la siembra.....	40
Cuadro 5.1. Tratamientos que generaron planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. con calidad aceptable para reforestación.....	46
Cuadro 5.2. Costo total del sustrato y esquema de fertilización, para planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb., producida en charolas de poliestireno de 77 cavidades de 160 cm ³ de capacidad.....	50

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Contenido porcentual de nutrimentos de los fertilizantes de liberación controlada y de liberación lenta, utilizados en el análisis de costos.....	59
Anexo 2. Períodos de liberación de nutrimentos en función de la temperatura media del sustrato, de los fertilizantes de liberación controlada utilizados en la producción de planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb.	59
Anexo 3. Planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. producida en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm ³ , con sustrato S1 (aserrín compostado de pino 70 %, corteza de pino compostada 15 % y vermiculita 15 %) y tres fertilizantes de liberación controlada en tres dosis de adición al sustrato, después de 10 meses de la siembra.	60
Anexo 4. Planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. producida en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm ³ , con sustrato S2 (turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %) y tres fertilizantes de liberación controlada en tres dosis de adición al sustrato, después de 10 meses de la siembra.....	61
Anexo 5. Conformación de la raíz con poda química lateral de la planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb., producida en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm ³ , después de 10 meses de la siembra.....	62
Anexo 6. Planta de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. producida en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm ³ , con sustrato S1 (aserrín de pino compostado 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba 15 % y vermiculita 10 %) y tres combinaciones de Multicote [®] (Mt) y Osmocote [®] Plus (Ot) después de 10 meses de la siembra	63
Anexo 7. Planta de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. producida en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm ³ , con sustrato S1 (aserrín de pino compostado 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba 15 % y vermiculita 10 %) y tres combinaciones de Multicote [®] (Mt) y Osmocote [®] Plus (Ot) después de 10 meses de la siembra.	64
Anexo 8. Conformación de la raíz con poda química lateral de las plantas de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl., producidas en charolas con cavidades de 160 cm ³ , diez meses después de la siembra.	65

Anexo 9. Costos promedio de los insumos utilizados en los sustratos, para la producción de planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb.	66
Anexo 10. Costos promedio de los fertilizantes de liberación controlada utilizados en la producción de planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb.	66
Anexo 11. Costo promedio de tres grupos de fertilizantes hidrosolubles, utilizados para estimar los costos de fertilización en la producción de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en charolas con cavidades de 160 cm ³	67
Anexo 12. Proporción de insumos utilizados y costo por litro, para los sustratos utilizados en la producción de planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en charolas con cavidades de 160 cm ³	68
Anexo 13. Requerimiento de sustrato y costo por cavidad, para producir planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en charolas con cavidades de 160 cm ³	68
Anexo 14. Requerimiento de fertilizantes de liberación controlada y costo por cavidad, para los tratamientos que generaron planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. producida en charolas con cavidades de 160 cm ³ , con estándares morfológicos apropiados para reforestación.	69
Anexo 15. Consumo estimado de fertilizantes hidrosolubles de la compañía COMPO [®] , por planta de <i>P. montezumae</i> Lamb., a producir en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm ³ , con sustrato S1 (turba de musgo 60 %, vermiculita 20 % y perlita 20 %).	70
Anexo 16. Consumo estimado de fertilizantes hidrosolubles de la compañía Haifa [®] , por planta de <i>P. montezumae</i> Lamb., a producir en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm ³ , con sustrato S1 (turba de musgo 60 %, vermiculita 20 % y perlita 20 %).	71
Anexo 17. Consumo estimado de fertilizantes hidrosolubles de la compañía eveRRIS [®] , por planta de <i>P. montezumae</i> Lamb., a producir en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm ³ , con sustrato S1 (turba de musgo 60 %, vermiculita 20 % y perlita 20 %).	72
Anexo 18. Costo de consumo y aplicación de fertilizantes hidrosolubles por planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb., producida en charolas con cavidades de 160 cm ³ , con tres grupos de fertilizantes comerciales.	73

PRODUCCIÓN DE DOS ESPECIES DEL GÉNERO *Pinus* UTILIZANDO DIFERENTES SUSTRATOS Y FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA

RESUMEN

La producción de planta de especies forestales en charolas es un cultivo hidropónico que demanda de sustratos distintos al suelo forestal y de fertilizantes con contenidos nutrimentales balanceados, para producir planta con calidad. En la mayoría de los viveros se utiliza turba de musgo (*peat moss*) de importación, misma que anualmente incrementa su precio por el aumento en los costos de los combustibles y del dólar americano. Al aplicar los fertilizantes hidrosolubles en el sistema de riego, se desperdicia hasta un 30 % de los mismos en el agua que cae a los pasillos y periferia del área de producción. Durante la última década, en varios viveros se ha producido planta de calidad con sustratos de aserrín de pino combinados con fertilizantes de liberación controlada; en éstos, se han reducido los costos de producción y la presencia de patógenos. El propósito del presente trabajo fue el de producir dos especies representativas del género *Pinus* (*Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrobus* Lindl.) con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada; así como, el de comparar los costos de este esquema de producción, con el esquema tradicional de producción con turba y fertilizantes hidrosolubles. De octubre de 2012 a julio de 2014 se desarrollaron dos experimentos en el vivero "GUMAIR", ubicado en el municipio de Acaxochitlán, Hgo., en los cuales se utilizaron charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, tres sustratos con aserrín de pino y otro con turba de musgo, y tres fertilizantes de liberación controlada en diferentes dosis (Basacote[®] Plus, Multicote y Osmocote[®] Plus). En ambos experimentos se evaluaron las características fisicoquímicas de los sustratos y las características morfológicas de las plantas y se comprobó que los sustratos de aserrín y los fertilizantes de liberación controlada son aptos para producir planta de calidad, con un costo más económico que con el tradicional esquema de producción con turba y fertilizantes hidrosolubles.

Palabras clave: Sustratos con aserrín de pino, liberación controlada de nutrimentos, costos de producción.

PRODUCTION OF TWO SPECIES OF THE GENUS *Pinus* USING DIFERENT SUBSTRATES AND CONTROLLED RELEASE FERTILIZERS

ABSTRACT

The production of forest plant species in trays is a hydroponic culture that demands for substrates different than forest soil, and fertilizers with balanced nutritional content to produce plant quality. Most nursery use imported peat moss (*peat moss*) which annually increases its price by rising fuel costs and the US dollar. When applying water soluble fertilizers in the irrigation system, is wasted up to 30 % of them in the water falling into the corridors and the periphery of the production area. During the last decade, in several nurseries it has produced quality plants with pine sawdust substrates combined with controlled release fertilizers; in these, the production costs and the presence of pathogens have reduced. The purpose of this study was to produce two representative species of the genus *Pinus* (*Pinus montezumae* Lamb., and *Pinus pseudostrabus* Lindl.) with sawdust substrates and controlled release fertilizers; as well as to compare the costs of this production scheme, with traditional production scheme with peat and water soluble fertilizers. From October 2012 to July 2014 two experiments were developed in the nursery "GUMAIR", located in the town of Acaxochitlán, Hidalgo., in which were used polystyrene trays with cavities of 160 cm³, three substrates with pine sawdust and other with peat moss, and three controlled release fertilizer at different doses (Basacote[®] Plus, Multicote and Osmocote[®] Plus). In both experiments the physicochemical characteristics of the substrates and the morphological characteristics of the plants were evaluated and it was found that the pine sawdust substrates and the controlled release fertilizers are able to produce quality plants, with a cheaper cost than the traditional production scheme with peat and water soluble fertilizers.

Keywords: Pine sawdust substrates, controlled release of nutrients, production costs.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Durante los últimos veinte años se ha incrementado considerablemente la producción de planta para restauración de terrenos forestales en México. La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) reporta que durante el 2013 se produjeron 303 millones de plantas, de las cuales el 84 % se realizó en el sistema de charolas y el 16 % restante en los sistemas de bolsas de polietileno y a raíz desnuda; también reporta que la turba de musgo (*peat moss*) y los fertilizantes hidrosolubles (FHS) fueron los insumos de mayor consumo para la producir planta en el sistema de charolas (CONAFOR, 2014).

La turba es un material orgánico que se importa principalmente de Canadá y su costo es generalmente superior a los demás materiales orgánicos utilizados en los sustratos. Durante la última década su costo se ha duplicado por el incremento de los costos de los combustibles utilizados por los equipos de extracción de las “turberas” y por los vehículos para su transporte a los viveros (Schaefer, 2009). Por su composición y porosidad, la turba retiene altos retienen humedad y en ambientes ventilados inadecuadamente puede llegar a ser un medio propicio para el desarrollo de patógenos como *Bradysia Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora* y *Rizoctonia*, (Hoitink *et al.*, 1997). Adicionalmente, contiene una gran cantidad de esporas de plantas del género *Spagnum*, mismas que pueden germinar e invadir la superficie de las cavidades de producción de las charolas Landis *et al.* (1989).

La fertilización de las plantas con FHS demanda de personal técnico especializado y de equipos de riego con dosificadores automáticos, para aplicar cantidades precisas de nutrimentos en cada una de las etapas de desarrollo de las plantas en vivero, conocidas en el medio como “establecimiento”, “desarrollo” y “lignificación”. Durante la aplicación de estos fertilizantes a las plantas, a través del sistema de riego, se pierde hasta el 30 % de los mismos, por el agua que cae a los pasillos y periferia del área de producción (Landis y Dumroese, 2009).

Durante los últimos 10 años, en algunos viveros forestales de los estados del centro del país, se ha producido planta de buena calidad en sustratos cuyos materiales

orgánicos predominantes son la corteza y el aserrín de pino, combinados con fertilizantes de liberación controlada (FLC). En estos se ha reducido considerablemente el costo de producción y se ha simplificado el manejo nutrimental de las plantas; adicionalmente, se ha reducido la presencia de patógenos, en comparación a las producciones de años anteriores realizadas en los mismos viveros con sustratos de turba y FHS (Schaefer, 2009; Mateo *et al.*, 2011). Estudios recientes realizados con sustratos de aserrín y corteza de pino, combinados con FLC, indican que estos insumos son aptos para producir planta de calidad de especies forestales (Reyes *et al.*, 2005; Jackson *et al.*, 2009; Schaefer, 2009; Mateo *et al.*, 2011, Maldonado *et al.*, 2011).

El aserrín de pino es un subproducto de la industria forestal muy abundante en nuestro país, con escaso o ningún uso. En varios aserraderos constituye un serio problema para su almacenamiento y manejo, sin contaminar el ambiente (Reyes *et al.*, 2005). La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) reporta que cada año se producen 3.7 millones de metros cúbicos de madera aserrada de los géneros *Pinus* y *Abies* (SEMARNAT, 2013), en cuyo proceso se genera al menos 1.6 millones de metros cúbicos de aserrín (Hernández y Zavala, 2000).

Con el propósito fomentar la utilización de sustratos con aserrín de pino y simplificar la fertilización mediante el uso de FLC, de octubre de 2012 a julio de 2014 se desarrollaron dos experimentos de producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., en charolas de poliestireno. En estos trabajos se evaluaron tres sustratos con aserrín de pino y el sustrato tradicional compuesto por turba de musgo, perlita y vermiculita, que se utiliza en la mayoría de los viveros, combinados con tres marcas comerciales de FLC disponibles en el mercado nacional.

Para comparar las ventajas económicas de los sustratos y fertilizantes utilizados, se hizo un análisis de costos para los tratamientos que generaron planta de buena calidad en el experimento realizado con *P. montezumae*, donde se comparó el esquema tradicional de producción con FHS y sustratos con turba de musgo, contra el esquema alternativo de producción con sustratos de aserrín de pino y FLC.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción de las especies producidas

2.1.1. Pinus montezumae Lamb.

Árbol de 20 a 35 m de altura y de 50 a 80 cm de diámetro. Se distribuye de manera natural en la sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico, sierra Madre del Sur y sierra de Chiapas, hasta Guatemala. Se desarrolla en sitios con altitudes de 2000 a 3200 m, precipitaciones anuales de 800 a 1000 mm y suelos profundos (Perry, 1991). Es una de las 10 especies forestales maderables de mayor aprovechamiento en México. Su madera se utiliza en la industria de la construcción, la fabricación de tarimas, cajas para empaque, muebles y pulpa para papel. Por su amplia distribución natural, durante el 2013 se produjeron 14.4 millones de plantas (4.76 % del total nacional) para la reforestación de terrenos forestales perturbados (CONAFOR, 2014).

2.1.2. Pinus pseudostrobus Lindl.

Árbol de 25 a 45 m de altura y de 40 a 100 cm de diámetro. Se distribuye de manera natural en el Eje Neovolcánico, sierra Madre del Sur y sierra de Chiapas, hasta Guatemala. Se desarrolla en sitios con suelos profundos, localizados en altitudes de 1600 a 3200 m, con precipitaciones anuales de 800 a 1000 mm y suelos profundos (Perry, 1991). Está incluida en el grupo de las 10 especies forestales maderables de mayor aprovechamiento en México; su madera se utiliza en la industria de la construcción y la fabricación de madera laminada, tarimas, cajas para empaque, muebles y pulpa para papel. Debido a su amplia distribución natural, en el año 2013 se produjeron más de 31 millones de plantas (10 % del total nacional) para la reforestación de terrenos forestales perturbados (CONAFOR, 2014).

2.2. Fertilizantes de liberación controlada (FLC)

2.2.1. Definiciones

El término liberación controlada se utiliza para describir a los fertilizantes que no liberan el 100 % de los nutrientes en el momento de su aplicación, sino que lo hacen a lo largo de periodos determinados, por influencia de la humedad, la temperatura, la

actividad microbiana, la composición química y la porosidad del suelo, o de los sustratos donde se aplican (Rose *et al.*, 2004). Para una mejor comprensión Landis y Dumroese (2009), agrupan a este tipo de fertilizantes en tres categorías, las cuales se presentan a continuación:

2.2.1.1. Fertilizantes nitrogenados sin recubrimiento. Están constituidos por polímeros de monometilol-urea de diverso tamaño y solubilidad, con más de 35 % de N total. Su descomposición está regulada por la actividad microbiana, temperatura, humedad, pH y aireación del suelo.

2.2.1.2. Fertilizantes nitrogenados con recubrimiento de azufre. En estos, la disponibilidad de nitrógeno depende del contenido de humedad y el nivel de erosión (mecánica o por oxidación) de la cubierta de azufre, así como de la difusión de la urea. La tasa de liberación se controla por el grosor y calidad de la cubierta del fertilizante. Su uso principal es en la agricultura.

2.2.1.3. Fertilizantes de liberación controlada (FLC) o fertilizantes multi-nutrientes recubiertos con polímeros. Son fertilizantes recubiertos con polímeros en forma de gránulos de 1 a 3 mm de grosor. A diferencia de los dos anteriores, estos pueden incluir nutrientes básicos (N, P, K) o su combinación con otros nutrientes esenciales para el desarrollo normal de las plantas (Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn). La liberación de los nutrientes está influenciada por el grosor y composición de la cubierta de los gránulos, así como por las características físicas y químicas del suelo o sustrato donde se aplican. Constituyen la técnica más avanzada y novedosa de nutrición mineral de las plantas, en comparación con los fertilizantes hidrosolubles (FHS), ya que liberan los nutrientes de manera gradual conforme al crecimiento de las plantas, minimizando las pérdidas por lixiviación y contaminación del suelo.

En la actualidad, los fabricantes de FLC comercializan presentaciones con diferentes contenidos nutrimentales y períodos de liberación, desde tres meses hasta dos años. Incluso algunas empresas ya venden fertilizantes con diferentes patrones de liberación de nutrientes, para un mismo período de liberación. Además, en el mercado se encuentran fertilizantes específicos por especie o grupo de especies,

tanto agrícolas, como frutícolas, hortícolas, ornamentales y forestales. Para este último grupo de especies existen presentaciones para viveros y plantaciones forestales, de las cuales en México se comercializan los productos denominados Basacote[®] Plus (BASF Aktiengesellschaft - Limburgerhof, Alemania), Multicote[®] (Haifa Chemicals Ltd. - Haifa, Israel), Osmocote[®] Plus y Micromax[®] (eveRRIS. ILC Fertilizer Company, Dublin, OH, Estados Unidos).

Los dos experimentos de producción de planta del presente trabajo incluyeron estos tres fertilizantes, cuyos contenidos nutrimentales y tiempos de liberación se describen en los Anexos 1 y 2.

2.2.2. Ventajas del uso de FLC en la producción de planta de especies forestales.

2.2.2.1. Aplicaciones simples y de largo plazo

La dosis única aplicada al sustrato permite cubrir las necesidades de las plantas durante su fase de vivero y los primeros meses de vida en el sitio de plantación. Por ejemplo, en un estudio realizado por Reddell *et al.* (1999), en las Islas Solomon, con plantas de *Gmelina arborea* Roxb. y *Acacia mangium* Willd., se adicionó a cada litro de sustrato 1 g de Nutricote[®] 16-4.4-8.3 de 4 a 5 meses y 1 g del mismo fertilizante con tiempo de liberación de 6 a 9 meses; adicionalmente, se aplicaron FHS conforme al programa normal de fertilización del vivero; después de 14 meses de establecidas las plantas en campo, se obtuvieron incrementos superiores a 100 % para las variables altura y volumen de las plantas, con respecto a las producidas sin adición de FLC. Por otro lado, Dumroese *et al.* (2005) produjo planta de *Pinus palustris* Mill., en la cual se adicionó al sustrato una dosis de 2.37 g L⁻¹ de Polyon[®] 18-6-12 de 9 meses, en forma complementaria al programa de fertilización con FHS; al final del ciclo de producción se obtuvieron incrementos de 42 % en diámetro, 84 % en peso seco radicular y 47 % en peso seco de la parte de la parte aérea de las plantas con FLC, respecto a las plantas testigo fertilizadas solo con FHS.

2.2.2.2. Presentaciones para cavidades de baja capacidad volumétrica

Para facilitar una distribución homogénea de los gránulos al interior de las cavidades de producción de las charolas, algunos fabricantes han desarrollado presentaciones comerciales con gránulos muy pequeños (*mini prill*). En promedio, este tipo de presentación contiene cinco veces más gránulos por unidad de peso que las presentaciones tradicionales de FLC, lo cual permite una distribución más homogénea de los fertilizantes en las cavidades y la producción de planta, también con tallas más uniformes (Drahn, 2007).

2.2.2.3. Compatibilidad con microorganismos benéficos de las plantas

Debido a su lenta liberación, los riesgos de daños a las plantas, por incremento de la salinidad en el sustrato, o al suelo, por lixiviación, son menores en comparación con los que se registran al utilizar FHS. Rincón *et al.* (2007) realizaron un estudio con plantas de *Pinus pinea* L. y *Pinus pinaster* Ait., a las cuales se les aplicó por separado FHS (20-7-19 + ME) y FLC (Osmocote® Plus 15-8-11 12M), así como tres especies de micorrizas, *Laccaria laccata* (Scop.), *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch y *Melanogaster ambiguus* (Vittad.) Tul & C. Tul.; las respuestas fueron similares en ambos esquemas de fertilización para las variables altura, peso seco radicular y peso seco de la parte de la parte aérea. En otro estudio, realizado por Walker (2001), se produjeron plantas de *Pinus lambertiana* Dougl. y *Pinus jeffreyi* Grev. & Balf., utilizando dos métodos de fertilización con FHS y FLC y la adición al sustrato del inóculo de *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch., al final de la prueba, la adición de micorriza tuvo un efecto positivo en ambos métodos de fertilización, con un incremento considerable para las variables altura y peso seco de las plantas en los tratamientos donde se fertilizó con FLC.

2.2.2.4. Posibilidad de ajuste de fórmulas y contenidos nutrimentales

Diversos investigadores que se dedican a producir y estudiar el uso de este tipo de fertilizantes en viveros, hacen énfasis en la conveniencia de trabajar mezclas de FLC con diferentes contenidos nutrimentales y tiempos de liberación, e inclusive de varias marcas comerciales. Lo anterior, para asegurar la liberación de cantidades

específicas de nutrimentos, acordes con las etapas de desarrollo de las plantas, tanto en vivero como en el sitio de plantación, de acuerdo con el hábito de crecimiento de las especies, las condiciones ambientales y la temperatura media del sustrato o del suelo (Oliet *et al.*, 1999; Rose *et al.*, 2004).

2.2.2.5. Posibilidad de uso de los FLC como única fuente de fertilización

Esta modalidad de fertilización de las plantas está tomando interés entre productores e investigadores, por las múltiples ventajas que ofrece respecto a la utilización de FHS. Estudios recientes de diversos autores reportan la producción de planta de especies forestales con calidad apropiada para plantaciones, utilizando FLC como fuente de nutrición.

- *Cedrela odorata* L., en charolas con cavidades de 140 cm³, durante un período de tres meses en vivero, con una dosis de 8 g L⁻¹ de Osmocote[®] Plus (15-9-12 8 a 9 meses) y un sustrato compuesto por 60 % de aserrín de pino, 24 % de turba, 8 % de perlita y 8 % de vermiculita (Mateo *et al.*, 2011).
- *Eucryphia cordifolia* Cav., *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Orest. y *Notofagus nervosa* (Mirb.) Orest. en charolas con cavidades de 130 cm³, durante siete meses en vivero, con dosis de 5.0 y 7.5 g L⁻¹ de Osmocote[®] Plus (18-6-12 de 7 a 8 meses), respectivamente, y un sustrato compuesto por 100 % de corteza de pino compostada (Bustos *et al.*, 2008).
- *Pinus canariensis* Chr. Sm. Ex DC. en charolas con cavidades de 305 cm³, durante un período de ocho meses en vivero, con dosis de 7 g L⁻¹ de Osmocote[®] (18-6-12 de 6 a 7 meses) y un sustrato compuesto por 67 % de turba y 33 % de perlita (Díaz *et al.*, 2004).
- *Pinus greggii* Engelm., en charolas con cavidades de 137 cm³, durante ocho meses en vivero, con dosis de 5 g L⁻¹ de Osmocote[®] Plus (14-14-14) y un sustrato compuesto por 80 % de aserrín de pino y 20 % de corteza de pino compostada (Maldonado *et al.*, 2011).
- *Pinus halepensis* Mill., en charolas con cavidades de 230 cm³, durante 11 meses en vivero, con dosis de 7 g L⁻¹ de Osmocote[®] (17-10-10 de 12 a 14 meses) y un sustrato compuesto por 75 % de turba y 25 % de vermiculita (Oliet *et al.*, 2004).

- *Pinus patula* Schl. et Cham., en charolas con cavidades de 140 cm³, durante ocho meses en vivero, con dosis de 6 g L⁻¹ de Osmocote® Plus (15-9-12 + M.E. de 8 a 9 meses) y un sustrato compuesto por 70 % de aserrín de pino, 18 % de turba, 6 % de perlita y 6 % de vermiculita (Mejía, 2007).
- *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis*. en bolsas de polietileno de 635 cm³, durante ocho meses en vivero, con dosis de 5 g L⁻¹ de Multicote® (18-6-12+MgO+M.E. de 8 meses), y un sustrato compuesto por 80 % de aserrín de pino no compostado y 20 % de turba de musgo (Reyes *et al.*, 2005).
- *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco., en charolas con cavidades de 135 cm³, durante nueve meses en vivero, con una dosis de 8 g L⁻¹ de Osmocote® Plus (18-6-12 de 6 a 7 meses) y un sustrato, compuesto por 50 % de turba y 50 % de vermiculita (Jacobs *et al.*, 2003).

2.2.3. Desventajas del uso de FLC en la producción de planta en vivero

2.2.3.1. Dificultad de mezclado homogéneo con los sustratos

El tiempo y la forma de mezclado de los fertilizantes con el sustrato deben realizarse con precisión, de tal manera que los gránulos queden distribuidos en forma homogénea en todo el volumen del sustrato que se prepare. Landis y Dumroese (2009) señalan que la combinación irregular del fertilizante con el sustrato, incrementa la producción de plantas con tallas heterogéneas.

2.2.3.2. Liberación irregular del contenido de nutrimentos

El periodo de liberación de los nutrimentos, señalado en las etiquetas de los FLC, está calculado para condiciones controladas de humedad gravimétrica y temperatura constante de 21°C del suelo o sustrato donde se adicionen; además en estas se describe la reducción del período de liberación en un mes para temperatura promedio de 25 a 27 °C y el incremento de un mes a temperatura de 15 °C. Rose *et al.* (2004) señalan que el grosor del recubrimiento de los gránulos es irregular en todos los fertilizantes comerciales y que los gránulos de tamaño menor liberan los nutrimentos en un tiempo inferior al establecido en las etiquetas. Por su parte, Curtis *et al.* (2011) realizaron un estudio con tres FLC (Polyon®, Nutricote® y Osmocote®) para determinar

su patrón de liberación con respecto a los tiempos señalados en las etiquetas comerciales de los mismos. Los resultados indican que el Osmocote[®] libera los nutrientes en menor tiempo, el Polyon[®] en mayor tiempo y el Nutricote[®] en el período indicado; también concluyen que el tiempo de liberación está más influenciado por la temperatura que por la humedad del suelo o sustrato. Con relación al porcentaje de nutrientes liberados durante los periodos establecidos, Jacobs (2005) reporta los resultados de diferentes pruebas de laboratorio donde se detectó que los gránulos de tres marcas comerciales de FLC (Osmocote[®], Nutricote[®], Polyon[®]) pueden retener hasta 20 % de su contenido al final del período señalado en sus etiquetas, como consecuencia en la menor presión osmótica al interior de los mismos.

2.2.3.3. Liberación irregular por tipo de nutriente

La composición química, tanto de las cubiertas de los gránulos, como del agua de riego y del sustrato, pueden afectar la liberación homogénea o proporcional de cada uno de los nutrientes. En estudios realizados en la Universidad Estatal de Oregón se encontró que los nutrientes contenidos en los FLC no se liberan en forma homogénea y proporcional; sino que éstos se liberan de mayor a menor en el siguiente orden: NO₃⁻, NH₄⁺, K, S, Mg, P, Fe, Mg, Zn y Mn (Jacobs, 2005). Por su parte, Newman *et al.* (2006) realizaron un estudio de campo con duración de 54 semanas, para medir el comportamiento de liberación de nutrientes de cuatro FLC (Multicote[®] 17-5-11 + ME, Nutricote[®] 18-6-8 Total, Osmocote[®] 24-4-9 y Polyon[®] 17-5-11 + micros), con los siguientes resultados: los valores de liberación de NH₄⁺, NO₃⁻, K y P fueron ligeramente mayores durante la primera mitad del periodo de medición; el Osmocote[®] presentó el patrón más estable, en tanto que el Multicote[®] registro el menos estable.

2.2.2.4. Liberación tardía de fósforo

El fósforo es el segundo elemento en importancia presente en los tejidos de las plantas después del nitrógeno; está involucrado en el almacenamiento y liberación de energía para diversos procesos fisiológicos de las plantas. Este elemento contribuye

al desarrollo radical y actúa como regulador de energía y el pH. Su deficiencia puede causar enrojecimiento de los tallos, “enanismo”, menor peso radicular y coloración anormal del follaje, variando del verde claro al púrpura; mientras que el exceso puede afectar la asimilación de otros micro nutrientes como Zn, Fe y Cu (Landis, 2004). La liberación tardía de P puede afectar el desarrollo de las plantas, ya que durante los primeros meses de crecimiento estas demandan grandes cantidades de dicho elemento para el desarrollo de las raíces y el tallo (Landis y Dumroese, 2009).

Diversos estudios señalan que este elemento se libera a menor velocidad que los demás elementos contenidos en los fertilizantes. Por ejemplo, en un estudio de laboratorio realizado por Broschat (2005) se evaluó el patrón de liberación de los nutrientes N, P y K de dos FLC comerciales (Osmocote® y Nutricote®), con periodos de liberación de 8 a nueve meses, incubados en sustrato de turba, a una temperatura de 23 °C y humedad gravimétrica constante, durante siete meses; y se observó un patrón de liberación mayor para el N, seguido del K y el P en ambos fertilizantes. En otro estudio, realizado por Hasse *et al.* (2007) en una plantación forestal, se evaluaron dos presentaciones comerciales del FLC denominado Apex®, con periodos de liberación 3 a 4 meses y 8 a 9 meses, en el cual se observó el mismo patrón de liberación de nutrientes.

2.3. Sustratos

2.3.1. Definición

Se define como sustrato a todo material sólido distinto del suelo *in situ*, natural o de síntesis, mineral u orgánico, que, colocado en un recipiente, en forma pura o mezclado, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando un papel de soporte para la planta, y que puede intervenir activamente o no en el proceso de la nutrición vegetal (Abad *et al.*, 2004).

2.3.2. Utilización de sustratos en los viveros forestales

La CONAFOR señala que durante el 2013 los viveros que le abastecen de planta para su programa anual de reforestación de terrenos forestales perturbados produjeron 259 millones de plantas, en charolas con cavidades promedio de 160 cm³. Detalla que los

materiales orgánicos utilizados en los sustratos fueron: turba de musgo, 63 %; corteza de pino, 15 %, aserrín de pino, 9 %, tierra de monte, 3 % y otros materiales, 10 % (CONAFOR, 2014).

Durante el proceso de llenado de las charolas el sustrato se compacta al interior de las cavidades de producción, de tal manera que se utiliza un volumen de sustrato adicional a la capacidad volumétrica de las cavidades; en promedio, para el llenado de una cavidad de 160 cm³ se utilizan 200 cm³ de sustrato (Aldana y Aguilera 2003). Con este consumo por cavidad se puede estimar un consumo de 51 800 m³ de sustrato utilizado en la producción de planta en charolas durante el ciclo 2013, con la siguiente distribución: turba de musgo, 32 634 m³; corteza de pino, 7770 m³; aserrín de pino, 5220 m³; tierra de monte, 174 m³; y otros materiales, 6002 m³.

2.3.3. Disponibilidad de aserrín de coníferas

El uso de aserrín y corteza de coníferas en la elaboración de sustratos representa una alternativa promisoriosa para reducir el uso de turba de musgo de importación, la cual es casi diez veces más cara que el aserrín de coníferas y tres veces más que la corteza de pino compostada. En un estudio de coeficiente de aserrío, realizado por Zavala y Hernández (2000), con trocería de cinco de las especies de pino de mayor aprovechamiento en el país (*P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. ayacahuite*, *P. pringlei* y *P. douglasiana*), se reporta que del total del volumen de madera en rollo se obtienen, en promedio, los siguientes productos: madera aserrada, 51 %; tiras y costeras, 27 %; y aserrín, 22 %. Por su parte, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) reporta que en México, anualmente se produce, en promedio, de 3.7 millones de metros cúbicos de madera aserrada, de los géneros *Pinus* y *Abies* (SEMARNAT, 2013). Por lo anterior, se puede estimar una producción anual promedio de 1.6 millones de metros cúbicos de aserrín de estos dos géneros forestales, cifra casi 30 veces superior al consumo total del sustrato requerido por año en los viveros forestales que abastecen de planta a la CONAFOR.

2.3.4. Experiencias de producción de planta con sustratos de aserrín de pino

A partir del 2003, se han utilizado con éxito sustratos formulados con aserrín y corteza de pino en viveros forestales ubicados en los estados de Puebla, Hidalgo, México, Guerrero, Veracruz, Guanajuato y Jalisco. En estos se utiliza corteza y aserrín de pinos de madera suave y madera dura, como *P. douglasiana* Martínez, *P. devoniana* Lindley, *P. pseudostrobus* Lindl., *P. montezumae* Lamb. y *P. patula* Schiede ex Schlechtendal et Chamisso.

Los trabajos de investigación encaminados a fomentar el uso de estos materiales en los viveros forestales aún son incipientes, aunque prometedores. A la fecha, se encuentran publicadas en revistas científicas y bibliotecas digitales experiencias de producción para las siguientes especies nativas:

- *Pinus pseudostrobus*, var. *apulcensis* en bolsas de polietileno con sustrato compuesto por 80 % de aserrín de pino sin compostar y 20 % de turba de musgo (Reyes *et al.* 2005).
- *Pinus patula* Schl. et Cham. en charolas de plástico con sustrato compuesto por 70 % de aserrín de pino sin compostar, 18 % de turba, 6 % de perlita y 6 % de vermiculita (Mejía, 2007).
- *Cedrela odorata* L., en charolas de poliestireno con sustrato compuesto por 60 % de aserrín de pino sin compostar, 24 % de turba, 8 % de perlita y 8 % de vermiculita (Mateo *et al.* 2011).
- *Pinus greggii* Engelm., en sustrato compuesto por 80 % de aserrín de pino sin compostar y 20 % de corteza de pino compostada (Maldonado *et al.*, 2011).
- *Pinus montezumae* Lamb., en tubetes de plástico con dos sustratos: S1 (70 % de aserrín de pino no compostado, 10 % de turba, 10 % de vermiculita y 10 % de perlita) y S2 (70 % de aserrín de pino no compostado, 10 % de perlita, 10 % de vermiculita y 10 % de corteza compostada) (Hernández, 2014).

2.3.5. Uso de sustrato de coníferas en los Estados Unidos

En un estudio realizado por Jackson *et al.*, (2007) reporta que la turba de musgo y la corteza de pino son los principales materiales utilizados en los viveros del sureste de

los Estados Unidos, a pesar de que en las dos últimas décadas el costo de la turba se ha incrementado en más de cien por ciento, como consecuencia del incremento de los precios del combustible utilizado para su extracción y transporte. También señala, que como alternativa para reducir los costos de producción se ha estado utilizando con éxito, en forma creciente, el sustrato de pino (*pine tree substrate*), elaborado mediante el astillado y molienda de trocería sin descortezar de *Pinus taeda* L., mismo que resulta hasta tres veces más económico que la turba. En el mismo estudio se indica que para compensar la alta inmovilización del nitrógeno que se presenta en este tipo de sustrato durante el crecimiento de las plantas, se requiere adicionar un promedio de 2 g de FLC por 1 m³ de sustrato, o 100 mg L⁻¹ de N (20-10-20) adicional a las cantidades de FHS utilizados.

Por su parte, Schaefer (2009) reporta que una importante empresa forestal del estado de Idaho, EUA, ha utilizado por más de 10 años un sustrato compuesto por 70 % de turba de musgo y 30 % de aserrín de diversas especies de los géneros *Pinus*, *Abies* y *Pseudotsuga*, mismo que resulta 50 % más económico que el sustrato tradicional que se utilizaba anteriormente, compuesto por 50 % de turba y 50 % de vermiculita; incluso, señala que con este sustrato de pino se han reducido notoriamente los daños a las plantas por *Pythium* spp. y *Fusarium* spp. En la actualidad, el aserrín y los sustratos de pino (*pine tree substrate*) más utilizados en viveros forestales de los Estados Unidos corresponden a coníferas de madera suave y bajo contenido de resina, como *Pinus taeda* L., *Pinus strobus* L. y *Pseudotsuga menziesii* (Jackson *et al.*, 2007; Wrigth *et al.*, 2007a; Wrigth *et al.*, 2009).

2.3.6. Desventajas del uso de aserrín como sustrato

El principal problema del uso de aserrín de coníferas como componente de los sustratos puede ser la generación de planta con tallas reducidas y cloróticas, como consecuencia de la inmovilización temporal del nitrógeno y otros nutrientes que utilizan los microorganismos saprófitos. Para corregir este problema, Landis y Morgan (2009) hacen énfasis en la necesidad de compostar el aserrín y la corteza de especies forestales previo a su uso como sustratos, ya que su relación C:N puede

alcanzar valores de hasta 1300:1; agregan que normalmente la inmovilización temporal del N se puede presentar en sustratos cuya relación C:N sea mayor de 15:1.

2.4. Conclusiones

El uso apropiado de los fertilizantes de liberación controlada requiere no solo del conocimiento de las características técnicas y recomendaciones señaladas por los fabricantes, sino que se deben conocer las experiencias de su uso reportadas en artículos científicos, preferentemente con especies de crecimiento similar a las que se desea producir.

El aserrín y la corteza de coníferas son subproductos de la industria forestal abundantes y de bajo costo, con características apropiadas para utilizarse como componentes orgánicos de los sustratos, con potencial para sustituir el uso de la turba de musgo.

Para mejorar la técnica de producción con FLC, es necesario fomentar el establecimiento de experimentos y ensayos con mezclas de fertilizantes de diferentes períodos de liberación y contenidos nutrimentales; de ser preciso, se pueden incluir combinaciones de marcas comerciales para aumentar o reducir el contenido de los nutrimentos, de acuerdo con la fisiología y requerimiento de las especies.

CAPÍTULO III. PRODUCCIÓN DE *Pinus montezumae* Lamb. EN VIVERO, CON DIFERENTES SUSTRATOS Y FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA

RESUMEN

Los fertilizantes de liberación controlada se utilizan poco en los viveros forestales, porque se consideran más caros que los hidrosolubles. El objetivo del presente trabajo fue el de probar la efectividad de tres fertilizantes de liberación controlada y dos sustratos. Se produjo planta de *Pinus montezumae* Lamb., en charolas de poliestireno con tres fertilizantes (Basacote[®] Plus, Multicote[®] y Osmocote[®] Plus, de 8 a 9 meses), en tres niveles de aplicación (4, 6 y 8 g L⁻¹) y dos sustratos: S1 (turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %) y S2 (aserrín de pino compostado 70 %, corteza de pino compostada 15 % y vermiculita 15 %). Se evaluaron 18 tratamientos en un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 × 3 × 3. Después de 9.5 meses de la siembra, el efecto por el tipo de sustrato, fertilizante y nivel de aplicación, fue significativo en las variables diámetro del tallo, peso seco aéreo, peso seco radicular, peso seco total y la relación peso seco aéreo / peso seco radicular. En 16 de los tratamientos se obtuvieron plantas con diámetros mayores de 6 mm. En el sustrato con turba, los valores más altos se presentaron a partir del tratamiento con 6 g L⁻¹, y en el sustrato con aserrín en los tratamientos con 8 g L⁻¹. La concentración de nutrimentos en el follaje se incrementó conforme lo hizo la dosis de fertilización; los tratamientos con Multicote[®] generaron planta con la mayor asimilación de N. Los tres fertilizantes retuvieron concentraciones residuales del 10 al 40 % de N, P, K; el Basacote[®] Plus retuvo la mayor cantidad de éstos. El Tratamiento 12 (S2 - Basacote[®] Plus - 8 g L⁻¹) presentó los mejores valores y el Tratamiento 1 (S1 - Basacote[®] Plus 4 g L⁻¹) los más bajos. Se concluye que es factible producir planta de calidad con fertilizantes de liberación controlada y sustratos con turba de musgo o aserrín de pino compostado.

Palabras claves: *Pinus montezumae* Lamb., aserrín de pino, turba de musgo, liberación controlada.

ABSTRACT

The controlled release fertilizers are little used in forest nurseries, because they are considered more expensive than water-soluble fertilizers. The aim of this study was to test the effectiveness of three controlled release fertilizers and two substrates. Plant of *Pinus montezumae* Lamb. was produced in polystyrene trays with three fertilizers (Basacote[®] Plus, Multicote[®] and Osmocote[®] Plus 8-9 months), at three levels of application (4, 6 and 8 g L⁻¹) and two substrates: S1 (peat moss 60 %, perlite 20 %, and vermiculite 20%) and S2 (composted pine sawdust 70 %, composted pine bark 15 %, and vermiculite 15%). Eighteen treatments were evaluated in a completely randomized experimental design with factorial arrangement 2 × 3 × 3. After 9.5 months the sowing, the effect of the type of substrate, fertilizer and application level was significant in the variables stem diameter, aerial and root dry weight, total dry weight and relation aerial dry weight / root dry weight. In 16 treatments were obtained plants with diameters greater than 6 mm. In the peat substrate, the highest values were from treatment with 6 g L⁻¹, and the substrate with sawdust in treatments with 8 g L⁻¹. The concentration of nutrients in the leaves increased as did the fertilization levels; Multicote[®] treatments generated plant with greater assimilation of N. The three fertilizer residuals retained were from 10 to 40 % of N, P, K; the Basacote[®] Plus retained as many of these. Treatment 12 (S2 - Basacote[®] Plus 8 g L⁻¹) presented de best values and Treatment 1 (S1 Basacote[®] Plus - 4 g L⁻¹) the lowest. We conclude that it is feasible to produce quality plant with controlled release fertilizer and substrates with peat moss or composted pine sawdust.

Key words: *Pinus montezumae* Lamb., pine sawdust, peat moss, controlled release.

3.1 Introducción

Los viveros forestales que producen planta en charolas, en su mayoría utilizan turba de musgo como componente principal de los sustratos y fertilizantes hidrosolubles (FHS) para nutrir a las plantas (CONAFOR, 2014). En ambientes con ventilación deficiente, la turba puede ser un medio propicio para el desarrollo de musgo en la superficie de las cavidades de producción de planta y de patógenos de los géneros *Pythium*, *Phytophthora* y *Fusarium* (Hoitink *et al.*, 1997; Schaefer 2009). Por otra parte, durante el presente milenio el valor de la turba se ha incrementado en más de cien por ciento, por el aumento constante en los costos de los combustibles y el transporte (Shaefer, 2009). Los FHS se aplican a las plantas a través del sistema de riego, parte de estos se pierden, por el agua que cae a los pasillos y periferia del área de producción; adicionalmente, en algunos viveros, este tipo de fertilizantes se aplica con aspersores manuales (CONAFOR, 2014), sin conocer las cantidades de nutrimentos suministrados a cada planta, lo cual repercute en pérdidas en plantas con deficiencias nutrimentales o con tallas desproporcionadas por exceso de fertilización.

El uso de fertilizantes de liberación controlada (FLC) constituye otra alternativa de fertilización, ya que su diseño permite suministrar los nutrimentos requeridos por las plantas durante su desarrollo en vivero, en una sola aplicación al sustrato; lo anterior simplifica el proceso de producción, reduce los costos de mano de obra y minimiza las pérdidas por lixiviación (Landis y Dumroese, 2009). A pesar de tales bondades, estos fertilizantes se utilizan poco en los viveros del país, debido a que se desconocen sus propiedades y se cree que son más caros que los FHS (Rose *et al.*, 2004).

Como alternativa para reducir el costo de los sustratos, a partir de 2003, en algunos viveros del centro del país se utilizan con éxito sustratos con aserrín y corteza de pino. Estos subproductos de la industria forestal son abundantes y más económicos que la turba de musgo, la cual se importa de Canadá y países europeos (Mateo *et al.*, 2011). En la actualidad, en los viveros del centro y norte del país, la turba tiene un costo promedio de \$ 1500.00 / m³, en tanto que para el aserrín crudo y la corteza de pino compostada su costo es de \$ 150.00 y \$ 900.00 / m³, respectivamente. Al año se producen 3.7 millones de metros cúbicos de madera aserrada de los géneros *Pinus* y

Abies (SEMARNAT, 2013), en cuyo proceso se generan 1.6 millones de metros cúbicos de aserrín (Zavala y Hernández, 2000). Existen antecedentes recientes de experimentos exitosos con FLC y sustratos de aserrín de pino para las siguientes especies forestales: *Cedrela odorata* L. (Mateo *et al.*, 2011), *Pinus greggii* Engelm. (Maldonado *et al.*, 2011) y *Pinus Pseudostrobus* var. *apulcensis* (Reyes *et al.*, 2005).

Por lo anterior, se requiere continuar realizando trabajos de investigación encaminados al aprovechamiento de las bondades de los diferentes FLC y los sustratos formulados con subproductos de la industria forestal. El propósito del presente trabajo consistió en probar la eficiencia de los tres FLC de mayor uso en los viveros forestales del país, adicionados en diferentes dosis a dos sustratos, uno con turba de musgo y otro con aserrín de pino. Se eligió la especie de *Pinus montezumae* Lamb. por ser una de las 10 especies forestales de mayor distribución natural (Perry, 1991) y la de mayor producción de planta para reforestación de terrenos forestales perturbados (CONAFOR, 2014).

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Área de estudio

El experimento se desarrolló de la primera semana de octubre de 2012 a la tercera semana de julio de 2013, en el vivero forestal "GUMAIR", localizado en las coordenadas geográficas 20° 09' 08.10" latitud norte y 98° 13' 11.95" longitud oeste, ubicado en el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo, a una altitud de 2400 m. El clima de la zona corresponde al tipo templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media de 15.1 °C y precipitación anual promedio de 915.5 mm (CONAGUA, 2014).

3.2.2. Insumos utilizados

3.2.2.1. Charolas: bloques de poliestireno expandido de 77 cavidades de 160 cm³ de capacidad y una densidad de siembra de 360 plantas / m².

3.2.2.2 Sustratos: S1= aserrín de pino compostado 70 %, corteza de pino compostada 15 % y vermiculita 15 %, y S2 = turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %.

3.2.2.3. Fertilizantes: Basacote[®] Plus 9M 16-8-12 + M.E. (BASF Aktiengesellschaft - Limburgerhof, Alemania); Multicote[®] (8) 18-6-12 + 2Mg + M.E. (Haifa Chemicals Ltd. - Haifa, Israel) y Osmocote Plus[®] 8-9M 15-9-12 + M.E (eveRRIS. ILC Fertilizer Company, Dublin, OH, Estados Unidos). En las etiquetas de los envases comerciales de estos fertilizantes se especifica que los nutrimentos se liberan entre 8 y 9 meses a temperatura media del suelo de 25 °C, y de 9 a 10 meses, a temperatura media del suelo de 15 °C.

3.2.3. Tratamientos establecidos

La combinación de los sustratos con los fertilizantes, generó 18 tratamientos, nueve para cada sustrato y seis para cada fertilizante (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Tipo de sustrato, fertilizantes y dosis utilizada por tratamiento, para la producción de planta de *P. montezumae* Lamb.

Tratamiento	Sustrato	Fertilizantes		Tratamiento	Sustrato	Fertilizantes	
		Tipo	Dosis g L ⁻¹			Tipo	Dosis g L ⁻¹
1	S1	B	4	10	S2	B	4
2	S1	B	6	11	S2	B	6
3	S1	B	8	12	S2	B	8
4	S1	M	4	13	S2	M	4
5	S1	M	6	14	S2	M	6
6	S1	M	8	15	S2	M	8
7	S1	O	4	16	S2	O	4
8	S1	O	6	17	S2	O	6
9	S1	O	8	18	S2	O	8

Donde: S1 = aserrín de pino compostado 70 %, corteza de pino compostada 15 % y vermiculita 15 %, S2 = turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20%, B = Basacote[®] Plus, M = Multicote[®], O = Osmocote[®] Plus.

Cada tratamiento incluyó cuatro charolas o repeticiones, con un total de 72 charolas y 5544 cavidades o plantas producidas en el experimento. Las charolas se acomodaron en un diseño aleatorio sobre una de las mesas del centro del área de producción, para minimizar efectos de orilla.

3.2.4. Manejo de la producción

Para promover la poda química de las raíces laterales de las plantas, se impregnaron las paredes internas de las cavidades de las charolas con una solución de hidróxido cúprico al 7 %, propuesta por Aldana y Aguilera (2003). Los materiales utilizados en los sustratos se pasaron por un cernidor con orificios de 10 mm de diámetro, para eliminar las partículas gruesas. La semilla se remojó en agua durante 8 h, se

desinfectó en solución de agua oxigenada comercial al 5 % durante 20 min, y se impregnó con Bactiva® (*Basilus* spp. y *Trichoderma* spp.), en una dosis de 3 g k⁻¹ de semilla. La siembra se realizó en la primera semana de octubre de 2012. La malla sombra se mantuvo en el área desde la siembra hasta el mes de abril de 2013. Durante el desarrollo de la planta no se presentaron problemas con patógenos o fenómenos meteorológicos que pudieran haber alterado el experimento.

3.2.5. Materiales y variables evaluadas

3.2.5.1. Sustratos

Los sustratos utilizados se valoraron en el laboratorio de Física de Suelos, del Colegio de Postgraduados, con tres repeticiones para cada característica analizada, mediante los procedimientos siguientes: diámetro medio ponderado (DMP), mediante el cernido de muestras de 500 g durante 3 min, en agitador mecánico con tamices de 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.4, 4.8, 6.4 y 10 mm de diámetro; densidad aparente (DA), al dividir el peso seco de muestras de 1 L de sustrato (secado en horno durante 24 h a 70 °C), entre sus volúmenes aparentes; porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA) y porosidad de retención de agua (PRA), se determinaron siguiendo el procedimiento de recipientes de 1 L, descrito por Landis *et al.* (1990); el pH y la conductividad eléctrica (CE) se midieron en muestras de 100 mL de sustrato disuelto en 100 mL de agua destilada con 20 h de reposo; los contenidos de materia orgánica, C, N, y la relación C:N, se determinaron con los procedimientos descritos en la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, (SEMARNAT, 2002).

3.2.5.2. Características morfológicas de las plantas

Las plantas producidas se evaluaron después de 9.5 meses de la siembra, tiempo equivalente al período en que los nutrientes contenidos en los gránulos de los fertilizantes debieron liberarse, conforme a las especificaciones descritas en las etiquetas comerciales de los mismos y a la temperatura media de la zona donde se encuentra el vivero (Anexos 3 y 4). De la parte central de cada charola se extrajeron, en forma aleatoria, 20 plantas, con un total de 80 unidades por tratamiento. El diámetro de la planta se midió en la base de su tallo; en este punto, se seccionaron y,

por separado, se colocó la raíz y el tallo en bolsas de papel. Las plantas se deshidrataron en un horno durante 72 h, a 70 °C, se determinó el peso seco radicular (PSR) y el peso seco de la parte aérea (PSA) en una báscula analítica.

3.2.5.3. Concentración residual de N, P, K, en el follaje y fertilizantes

De cada tratamiento se integraron muestras representativas del follaje con cinco acículas secas de cada planta. De igual manera, durante el lavado de los cepellones se colectaron cinco gránulos de fertilizante de cada planta por tipo de fertilizante. Estas muestras, se separaron en forma aleatoria en tres submuestras o repeticiones para su análisis químico en el laboratorio.

La concentración de N en el follaje se determinó mediante el método semimicro-Kjeldahl (Bremmer, 1965), utilizando ácido sulfúrico-salicílico para su digestión. La concentración de P y K se determinó mediante digestión húmeda del material seco, con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). La lectura de los extractos obtenidos después de la digestión y el filtrado, se determinó en el equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma ICP-OES (Varian 725-OES, Australia), en el laboratorio de Nutrición Vegetal “Salvador Alcalde Blanco”, del Colegio de Postgraduados. La concentración de N soluble en los fertilizantes se determinó mediante el método semimicro-Kjeldahl (Bremmer, 1965), como se describió previamente, mientras que las concentraciones de P y K solubles se determinaron por lectura directa en el equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma antes referido.

3.2.6. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, con arreglo factorial $2 \times 3 \times 3$, consistente en dos sustratos, tres fertilizantes y tres dosis de aplicación, representado por el modelo $Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$, donde A corresponde al sustrato, B al fertilizante y C a la dosis. Los valores de las variables de respuesta se sometieron a un análisis de varianza tradicional y comparación de medias entre tratamientos mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), y

determinación de efectos de las interacciones entre sustratos, fertilizantes y dosis, mediante el software estadístico InfoStat[®] versión 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Propiedades físicas y químicas de los sustratos

Las características físicas y químicas de los sustratos presentaron valores dentro de los rangos sugeridos para producir planta en charolas (Landis *et al.*, 1990; Mathers *et al.*, 2007), con excepción de las variables PRA y C:N en el Sustrato 1 (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Características físicas y químicas de los sustratos utilizados en la producción de planta de *P. montezumae* Lamb.

S	DMP	PT	PA	PRA	C:N	pH	CE
	mm		%				dS m ⁻¹
S1	1.2	85	22	63	261	4.8	0.04
S2	1.6	79	21	58	130	5.3	0.12
VRS	0.8 a 6.0	60 a 80	15 a 35	25 a 55	<140	5 a 6.5	<1.0

Donde: S = Sustrato, S1 = aserrín de pino compostado 70 %, corteza de pino compostada 15 % y vermiculita 15 %, S2 = turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %, DMP = diámetro medio ponderado; PT = porosidad total, PA = porosidad de aireación, PRA = porosidad de retención de agua, VRS = valores recomendados para los sustratos.

3.3.2. Variables morfológicas de las plantas

En el análisis de varianza realizado, el efecto por el tipo de sustrato, el fertilizante y la dosis de aplicación fue significativo en las todas las variables analizadas. De igual manera, el efecto de las interacciones fue significativo en la mayoría de las variables, con excepción de la interacción sustrato-dosis que no lo fue en las variables D y PSA/PSR y la interacción fertilizante-dosis que tampoco lo fue en las variables D y PSR. El sustrato con turba (S2) presentó valores estadísticos superiores a los del sustrato con aserrín (S1) en todas las variables. El Multicote[®] presentó los mejores valores en las variables D, PSA, PSR y PST, seguido de los fertilizantes Osmocote[®] Plus y Basacote[®] Plus; en la variable PSA/PSR, el Basacote[®] Plus generó los

mejores valores, seguido del Osmocote[®] Plus y del Multicote[®]. Respecto a la dosis de aplicación al sustrato, en las variables D, PSA y PST, los valores estadísticos fueron de mayor a menor para las dosis 8 g L⁻¹, 6 g L⁻¹ y 4 g L⁻¹; en la variable PSR las dosis 6 g L⁻¹ y 8 g L⁻¹ presentaron los valores más altos y similares, en tanto que en la variable PSA/PSR los valores obtenidos fueron de menor a mayor para las dosis 4 g L⁻¹, 6 g L⁻¹ y 8 g L⁻¹ de sustrato, es decir que las dosis intermedias generaron los valores más equilibrados. El Tratamiento 10 (S2 - Basacote[®] Plus - 4 g L⁻¹) presentó los mejores valores en el conjunto de variables analizadas, en tanto que, el Tratamiento 1 (S1 - Basacote[®] Plus - 4 g L⁻¹) presentó los valores más bajos (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Valores estadísticos promedio por tratamiento, para las variables morfológicas medidas a las plantas de *Pinus montezumae* Lamb. después de 9.5 meses de la siembra.

T	Diámetro mm	PSA	PSR G	PST	PSA / PSR
1	6.02g	2.17j	0.73i	2.90i	3.08a
2	6.67f	2.97i	0.95fgh	3.92h	3.33ab
3	7.06ef	3.46gh	0.94gh	4.40gh	3.78cde
4	7.16def	3.28hi	0.91h	4.19h	3.73bcd
5	7.30cde	4.02def	1.05cdefg	5.07def	3.94cdef
6	7.34bcde	4.41bcd	1.11bcde	5.51abcd	4.08def
7	5.92g	3.87efg	0.91h	4.78fg	4.36fg
8	5.97g	3.92ef	0.99efgh	4.91ef	4.08def
9	6.72ef	4.05def	1.01defgh	5.06def	4.08def
10	7.82abc	3.83fg	1.27a	5.10def	3.11a
11	8.02a	4.03def	1.12bcde	5.15cdef	3.71bcd
12	8.14a	4.00def	1.15abc	5.15cdef	3.68bcd
13	7.30cde	4.54abc	1.11bcde	5.65abc	4.20efg
14	7.74abcd	4.65ab	1.20ab	5.85ab	3.94cdef
15	7.94ab	4.89a	1.09bcdef	5.98a	4.59g
16	7.88abc	3.91ef	1.13bcd	5.04def	3.59bc
17	8.09a	4.26bcd	1.16abc	5.42bcde	3.77bcde
18	7.94ab	4.17cdef	1.15abcd	5.32cdf	3.71bcd

Donde: T = tratamiento, PSA = peso seco de la parte aérea, PSR = radicular, PST = peso seco total, PSA/PSR = relación peso seco aéreo entre peso seco radicular.

Con excepción de los Tratamientos 6 y 7, en los demás tratamientos el diámetro fue superior a 6 mm. En dos trabajos de evaluación de calidad de planta producida en los estados de Jalisco y Michoacán, realizados por Rueda *et al.* (2010) y Sáenz *et al.* (2010), se propone este valor de 6 mm como diámetro mínimo para las especies del género *Pinus* con crecimiento inicial “cespitoso”, desarrolladas en charolas con cavidades de 160 cm³ de capacidad, similares a las del experimento. Por su parte, Bautista *et al.* (2005) realizó un estudio de campo con plántulas de *Pinus montezumae* Lamb., con diámetros mayores de 6 mm y menores a este valor; doce meses después de la plantación, la supervivencia fue del 84 % para las plantas con diámetro mayor de 6 mm y del 76 % para las de diámetro menor.

En los mismos trabajos de evaluación realizados por Rueda *et al.* (2010) y Sáenz *et al.* (2010), en seis de los viveros evaluados donde se produjo planta de *Pinus montezumae* y *Pinus devoniana*, con diámetros mayores de 6 mm, se registraron los siguientes valores: PSA de 2.9 a 5.0 g; PSR de 0.9 a 1.6 g; PST de 3.9 a 6.1 y PSA/PSR de 2.0 a 4.9. Con excepción del Tratamiento 1 (Basacote Plus 4 g L⁻¹) en los demás tratamientos del experimento los valores de las mismas variables se encuentran dentro de estos rangos. Los valores, aparentemente altos para la Variable PSA/PSR, se explica porque la planta se produjo en cavidades impregnadas con sales de cobre, lo cual contribuyó a generar raíces con un eje central y raíces laterales muy delgadas, menores de 0.5 mm de diámetro y de 3 cm de largo, con bajo peso seco (Anexo 5).

3.3.3. Contenido nutrimental del follaje de las plantas

En todos los tratamientos, como se esperaba, la concentración de nutrimentos en el follaje se incrementó conforme aumentó la dosis de fertilización. La mayor concentración de N se presentó en los tratamientos con Multicote[®]. La concentración más alta de P y K ocurrió en los tratamientos con Multicote[®] y Osmocote[®] Plus. La menor concentración de los tres nutrimentos se presentó en los tratamientos con Basacote[®] Plus. En el Tratamiento 15 (S2 - Multicote[®] 8 g L⁻¹) se registró la mayor asimilación de N, P, K en el follaje de las plantas. (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4. Concentración porcentual de N, P, K en el follaje de las plantas de *Pinus montezumae* Lamb., por tratamiento, después de 9.5 meses de la siembra.

T	Sustrato	Fertilizante		N	P	K
		Tipo	Dosis g L ⁻¹	%		
1	S1	Basacote® Plus	4	0.79	0.10	0.23
2	S1		6	1.00	0.14	0.29
3	S1		8	1.20	0.16	0.31
4	S1	Multicote®	4	0.96	0.07	0.13
5	S1		6	1.11	0.13	0.26
6	S1		8	1.29	0.13	0.27
7	S1	Osmocote® Plus	4	0.86	0.09	0.16
8	S1		6	0.93	0.12	0.22
9	S1		8	1.13	0.14	0.25
10	S2	Basacote® Plus	4	0.86	0.07	0.12
11	S2		6	1.00	0.11	0.15
12	S2		8	1.22	0.13	0.24
13	S2	Multicote®	4	1.00	0.14	0.25
14	S2		6	1.13	0.13	0.26
15	S2		8	1.33	0.15	0.31
16	S2	Osmocote® Plus	4	0.91	0.14	0.26
17	S2		6	1.11	0.13	0.27
18	S2		8	1.19	0.15	0.30

Donde: T = tratamiento, S1 = aserrín de pino compostado 70 %, corteza de pino compostada 15 % y vermiculita 15 %, S2 = turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %.

La mayor concentración de N se registró en los tratamientos con Multicote®, lo cual puede explicarse en parte, a que este fertilizante contiene 3 % más de N que el Osmocote® Plus y 2 % más que el Basacote® Plus.

En un estudio sobre indicadores de calidad de planta en viveros forestales, realizado por Prieto y Sáenz (2011), se propone para los pinos nativos las siguientes concentraciones de nutrimentos en el follaje: N, de 1.1 a 3.5 %; P, de 0.1 a 0.6 % y K, de 0.5 a 2.5 %. Con esta escala de calificación se puede establecer que se produjo planta de calidad media en los Tratamientos 3, 6 y 9 (S1 y dosis de 8 g L⁻¹) y en los

Tratamientos 12, 14, 15, 17 y 18 (S2 y dosis de 6 y 8 g L⁻¹). Estas últimas dosis coinciden con las utilizadas en trabajos experimentales de otros países en la producción de coníferas en charolas, con FLC y sustratos con turba similares al S2: *Pinus canariensis* Chr. Sm. Ex DC., con 7 g L⁻¹ de Osmocote® 18-6-12 de 6 a 7 meses (Díaz *et al.*, 2004); *Pinus halepensis* Mill., con 7 g L⁻¹ de Osmocote® (17-10-10 de 12 a 14 meses), Oliet *et al.* (2004); *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco., con 8 g L⁻¹ de Osmocote® Plus 18-6-12 de 6 a 7 meses, (Jacobs *et al.*, 2003).

En su conjunto, de los valores obtenidos en las variables morfológicas y la concentración de N, P, K en el follaje de las plantas, se concluye que el Tratamiento 12 (S2 - Basacote® Plus - 8 g L⁻¹) presentó los mejores valores y el Tratamiento 1 (S1 - Basacote® Plus 4 g L⁻¹) los más bajos.

3.3.4. Contenido residual de N, P, K en los fertilizantes

Después de 9.5 de la siembra, el contenido residual de N, P y K en los gránulos de los fertilizantes fue de la siguiente manera: Basacote® Plus (24.8, 34.6 y 44.7 %); Multicote® (14.6, 25.5 y 39.8 %) y Basacote® Plus (12.8, 38.4 y 33.3 %). Respecto al patrón de liberación, diversos autores coinciden en señalar que el N, se libera en mayor proporción, seguido del K y el P (Rose *et al* 2004; Jacobs, 2005; Broschat, 2005; Newman *et al.*, 2006); este patrón se observó solo en el Osmocote Plus, en los otros fertilizantes el patrón fue N, P y K.

Respecto a las cantidades de nutrimentos retenidos en los tres FLC, diversos autores señalan que al final del periodo de liberación se reduce la presión osmótica al interior de los gránulos y puede permanecer en éstos de 10 a 20 % del contenido inicial reportado en las etiquetas (Jacobs, 2005; Landis y Dumroese, 2009). Las altas cantidades de nutrimentos retenidos pudieron ser ocasionados por las bajas temperaturas que se registran en el vivero durante los meses de septiembre a febrero, cuyos promedios mensuales fueron de 12 a 14 °C.

3.4. Conclusiones

Los tres fertilizantes de liberación controlada y los sustratos formulados con turba de musgo o aserrín de pino compostado, son insumos apropiados para producir planta

de calidad de *Pinus montezumae* Lamb., en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³ o de mayor capacidad.

Para obtener planta de calidad aceptable para plantación de *Pinus montezumae* Lamb. se requieren dosis mínimas de 8 g L⁻¹, al utilizar sustratos con aserrín compostado de pino y de 6 g L⁻¹ con sustratos de turba, con excepción del fertilizante Basacote[®] Plus que requiere de 8 g L⁻¹

Después de nueve meses y medio de la siembra, los fertilizantes utilizados retuvieron de 15 al 45 % de N, P, K, al interior de los gránulos, lo cual sugiere que en este vivero la producción de esta especie debe programarse para un periodo de 10 a 11 meses, a fin lograr planta con mayor biomasa y nutrimentos en el follaje.

**CAPÍTULO IV. PRODUCCIÓN DE PLANTA DE *Pinus pseudostrobus* Lindl.
CON SUSTRATOS DE ASERRÍN Y FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN
CONTROLADA**

RESUMEN

El aserrín de pino puede ser utilizado como sustrato para producir planta de calidad en viveros. El objetivo del presente trabajo fue el de probar la eficiencia de dos sustratos elaborados con aserrín de pino, combinados con dos fertilizantes de liberación controlada. Se produjo planta de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en charolas de poliestireno con dos sustratos: S1 (aserrín de pino compostado 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba de musgo 15 % y vermiculita 10 %) y S2 (aserrín de pino sin compostar 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba de musgo 15 % y vermiculita 10 %) y dos fertilizantes con dos periodos de liberación de nutrimentos: (Multicote® 8 meses y 4 meses, con la fórmula 18-6-12 + 2MgO + microelementos) y (Osmocote® Plus 8 a 9 meses y 5 a 6 meses, con la fórmula 15-9-12 + microelementos), con una dosis única de 8 g L⁻¹ de sustrato. Se evaluaron 12 tratamientos en un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial 2 × 2 × 3. Diez meses después de la siembra, en los 12 tratamientos se obtuvo planta con calidad aceptable para plantación, con diámetro mayor de 5 mm, altura de 22 a 25 cm e índice de calidad de Dickson mayor de 0.7. En ambos sustratos los valores estadísticos de las variables fueron iguales, con excepción de la variable peso seco radicular, cuyo valor fue superior en el sustrato S2. El fertilizante Osmocote® Plus presentó valores superiores al Multicote®, excepto en la variable altura, en la cual el Multicote® fue superior. El Tratamiento 11 (S2 Osmocote® Plus 4 g L⁻¹ de 5 a 6 meses + 4 g L⁻¹ de 8 a 9 meses) presentó los valores más altos y el Tratamiento 9 (S2 Multicote® 8 g L⁻¹ de 8 meses) los más bajos. Se concluye que es factible producir planta de calidad con sustratos de aserrín de pino y que la combinación de fertilizantes con diferentes períodos de liberación es más eficiente que el uso tradicional de un solo período de liberación.

Palabras claves: *Pinus pseudostrobus* Lindl., aserrín de pino, combinación de períodos de liberación de nutrimentos.

ABSTRACT

Pine sawdust can be used as substrate to produce quality nursery plant. The aim of this study was to test the efficiency of two substrates made from pine sawdust, combined with two controlled release fertilizers. *Pinus pseudostrobus* Lindl. plant was produced in polystyrene trays with two substrates: S1 (composted pine sawdust 60 %, composted pine bark 15 %, peat moss 15 %, and vermiculite 10%) and S2 (pine sawdust none composted 60 %, composted pine bark 15 %, peat moss 15%, and vermiculite 10%) and two fertilizers, with two release nutrients periods: (Multicote[®] 8 months and 4 months, with de formula 18-6-12 + 2MgO + microelements) and (Osmocote[®] Plus 8 to 9 months and 5 to 6 months, with de formula 15-9-12 + microelements), with a single dose of 8 g L⁻¹ of substrate. Twelve treatments were evaluated in a completely randomized experimental design, with factorial arrangement 2 × 2 × 3. Ten months after sowing, in the 12 treatment plant with acceptable quality for planting was obtained, with larger diameter of 5 mm, height from 22 to 25 cm, and quality index Dickson greater than 0.7. In both substrates statistical values of the variables were equal, except for the variable root dry weight, whose value was higher in the substrate S2. The Osmocote[®] Plus fertilizer presented higher values than Multicote[®], except for the height variable, which value was higher in Multicote. Treatment 11 (S2 Osmocote[®] Plus 4 g L⁻¹ 5 to 6 months + 4 g L⁻¹ 8 to 9 months) presented the highest values and Treatment 9 (S2 Multicote[®] 8 g L⁻¹ 8 months) the lowest. We conclude that it is feasible to produce quality plants with pine sawdust substrates and the combination of fertilizer with different release periods is more efficient than the traditional use of a single period of release.

Key words: *Pinus pseudostrobus* Lindl., pine sawdust, combination of nutrient release periods.

4.1. Introducción

En el año de 1993, en México, se inició la producción intensiva de planta de especies forestales en charolas. En los primeros años, toda la producción se realizaba sustratos elaborados con turba de musgo, importada de Canadá, posteriormente, se empezó a sustituir este material por otros materiales locales más económicos, como la corteza y el aserrín de pino, la fibra de coco, bagazos de agave y caña de azúcar, y el compost de café, entre otros. Durante la última década el costo de la turba se ha duplicado, como consecuencia del incremento en el costo de los combustibles y el transporte (Landis y Morgan, 2009; Schaefer, 2009); sin embargo, por su fácil manejo aún se utiliza en el 63 % de la producción en charolas (CONAFOR, 2014).

De los insumos orgánicos locales utilizados como sustratos, el aserrín presenta las siguientes ventajas: es el más abundante y su producción tiende a incrementarse en el mediano plazo; al año, la industria del aserrío produce 3.7 millones de metros cúbicos de madera aserrada, de los géneros *Pinus* y *Abies* (SEMARNAT, 2013), en cuyo proceso se generan 1.6 millones de metros cúbicos de aserrín (Zavala y Hernández, 2000). Además, su costo es bajo, de \$ 100.00 a \$ 300.00 por metro cúbico, con flete incluido; es fácil de cernir y depurar; se puede utilizar sin compostar y no presenta problemas de toxicidad para las plantas en vivero (Mateo, 2011).

A partir del 2003, en algunos viveros del centro del país se han utilizado con éxito sustratos formulados con aserrín de pino sin compostar. En la mayoría de estos viveros se adicionan al sustrato fertilizantes con recubrimiento de polímero denominados fertilizantes de liberación controlada (FLC), en dosis promedio de 5 a 7 g L⁻¹, más fertilizantes hidrosolubles (FHS) durante todo el período de desarrollo de las plantas en vivero (Hernández *et al.*, 2014). En ocasiones, se utiliza aserrín compostado, extraído de los depósitos localizados en los patios de los aserraderos, con riesgo de utilizar material contaminado con patógenos, semillas de malezas, o aserrín de latifolias, que pueden afectar el desarrollo normal de las plantas.

El uso de FLC como única fuente de nutrición de las plantas es una práctica que simplifica el manejo de la producción, reduce los costos de la planta y las pérdidas de fertilizantes por lixiviación (Rose *et al.*, 2004; Landis y Dumroese, 2009). En la última

década, se han realizado experimentos con sustratos de aserrín de pino, compostado y sin compostar, y dos FLC como única fuente de nutrición, en los que se ha producido planta de buena calidad de las siguientes especies forestales: *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis*, *Pinus greggii* Engelm. y *Cedrela odorata* L. (Reyes *et al.*, 2005; Maldonado *et al.*, 2011; Mateo *et al.*, 2011).

Por las ventajas que representa el uso de sustratos con aserrín de pino y la simplicidad en el manejo de los FLC, el objetivo del presente trabajo consistió en probar la eficiencia de dos sustratos formulados con aserrín de pino compostado y sin compostar y FLC (Multicote[®] y Osmocote[®] Plus) con diferentes tiempos de liberación de nutrientes, para producir planta de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en charolas de poliestireno. La especie seleccionada es una de las cinco especies de pino de mayor distribución natural en el territorio nacional (Perry, 1991); adicionalmente, es la especie más utilizada en los programas de reforestación que realiza la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2014).

4.2. Materiales y métodos

4.2.1. Área de estudio

El experimento se desarrolló de la tercera semana de septiembre de 2013 a la tercera semana de julio de 2014, en el vivero forestal "GUMAIR", localizado en las coordenadas geográficas 20° 09' 08.10" latitud norte y 98° 13' 11.95" longitud oeste, ubicado en el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo, a una altitud de 2400 m. El clima de la zona corresponde al tipo templado subhúmedo, con lluvias en verano, con temperatura media de 15.1 °C y precipitación anual promedio de 915.5 mm (CONAGUA, 2014). El área de producción del vivero cuenta con estructura metálica tipo "casa sombra" de 5 m de alto con malla sombra con 50 % de cobertura, mesas metálicas porta charolas de 1.5 m de ancho y 80 cm de alto, malla plástica antihierbas (*ground cover*) en la superficie del piso, sistema de riego fijo por microaspersión, dosificador hidráulico de agroquímicos, pozo profundo y cisterna cerrada para almacenar agua de reserva.

4.4.2. Insumos utilizados

A) Charolas: bloques de poliestireno expandido de 77 cavidades de 160 cm³ de capacidad y una densidad de siembra de 360 plantas/m². B) Germoplasma: semilla de *Pinus pseudostrobus* Lindl. procedente de bosques del municipio de Chignahuapan, Puebla. C) Sustratos: S1 = aserrín compostado de pino 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba de musgo 15 % y vermiculita 10 % y S2 = aserrín de pino sin compostar 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba de musgo 15 % y vermiculita 10 %. D) Fertilizantes: dos productos comerciales con diferentes tiempos de liberación de nutrimentos, Multicote[®] de 8 meses y de 4 meses, con la fórmula 18 N - 6 P₂O₅ - 12 K₂O + 2 MgO + microelementos (Haifa Chemicals Ltd. Haifa, Israel) y Osmocote[®] Plus de 8 a 9 meses y de 5 a 6 meses, con la fórmula 15 N - 9 P₂O₅ - 12 K₂O + microelementos (eveRRIS ILC Fertilizer Company, Dublin, OH, Estados Unidos).

En las etiquetas de los envases comerciales de estos productos se especifica que los periodos de liberación en meses, se presentan a temperatura media del suelo de 25 °C y que se incrementan un mes más, a temperatura media del suelo de 15 °C.

Adicional a estos FLC, se utilizó un fertilizante de liberación lenta (sin recubrimiento de polímero) compuesto por micro nutrimentos, denominado Micromax[®] (eveRRIS ILC Fertilizer Company, Dublin, OH, Estados Unidos), para prevenir deficiencias nutrimentales en las plantas.

4.2.3. Tratamientos establecidos

La combinación de sustratos con los fertilizantes, generaron 12 tratamientos, seis para cada sustrato y seis para cada marca comercial de fertilizante. En todos los tratamientos se utilizó una sola dosis de aplicación de fertilizante al sustrato de 8 g L⁻¹, más 1 g L⁻¹ de Micromax[®] (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Tipo de sustrato, fertilizantes y dosis por tratamiento, utilizados en la producción de planta de *P. pseudostrobus* Lindl. en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³

T	S	Tipo de Fertilizante	Dosis	
			Combinación	g L ⁻¹
T1	S1	Multicote [®] 4M + Multicote [®] 8M	I	2 + 6
T2	S1	Multicote [®] 4M + Multicote [®] 8M	II	4 + 4
T3	S1	Multicote [®] 8M	III	8
T4	S1	Osmocote [®] Plus 5-6M + Osmocote [®] Plus 8-9M	IV	2 + 6
T5	S1	Osmocote [®] Plus 5-6M + Osmocote [®] Plus 8-9M	V	4 + 4
T6	S1	Osmocote [®] Plus 8-9M	VI	8
T7	S2	Multicote [®] 4M + Multicote [®] 8M	I	2 + 6
T8	S2	Multicote [®] 4M + Multicote [®] 8M	II	4 + 4
T9	S2	Multicote [®] 8M	III	8
T10	S2	Osmocote [®] Plus 5-6M + Osmocote [®] Plus 8-9M	IV	2 + 6
T11	S2	Osmocote [®] Plus 5-6M + Osmocote [®] Plus 8-9M	V	4 + 4
T12	S2	Osmocote [®] Plus 8-9M	VI	8

Donde: T = tratamiento, S = sustrato, S1 = aserrín de pino compostado 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba de musgo 15 % y vermiculita 10 %, S2 = aserrín de pino sin compostar 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba de musgo 15 % y vermiculita 10 %, M = periodo de liberación de nutrimentos en meses.

4.2.4. Manejo de la producción

Antes de llenar las charolas con los sustratos, las paredes interiores de las cavidades de producción se impregnaron con una solución de hidróxido cúprico al 7 %, propuesta por Aldana y Aguilera (2003) para promover la poda química de las raíces laterales de las plantas. De los materiales utilizados en los sustratos se eliminaron las partículas mayores de 10 mm de diámetro. La semilla se remojó en agua durante 8 h, se desinfectó en solución de agua oxigenada comercial a 5 %, durante 20 min, y se impregnó con Bactiva[®] (*Basilus* spp. y *Trichoderma* spp.), en una dosis de 3 g k⁻¹. La

siembra se realizó durante la tercera semana del mes de septiembre de 2013. La cubierta de malla sombra se mantuvo en el área de producción desde la siembra hasta el mes de abril de 2014. Durante el desarrollo de la planta no se registraron afectaciones a las plantas por patógenos o fenómenos meteorológicos.

4.2.5. Materiales y variables evaluadas

4.2.5.1. Sustratos

En el laboratorio de Física de Suelos, del Colegio de Postgraduados se evaluaron a los sustratos las siguientes propiedades: diámetro medio de las partículas (DM), mediante el cernido de muestras de 500 g de sustrato durante 3 min, en un agitador mecánico con tamices de 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.4, 4.8, 6.4 y 10 mm de diámetro; densidad aparente (DA), al dividir el peso seco de muestras de 1 L de sustrato (secado en horno durante 24 h, a 70 °C) entre su volumen aparente; porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA) y porosidad de retención de agua (PRA), mediante el procedimiento de recipientes de 1 L descrito por Landis *et al.* (1990); el pH y la conductividad eléctrica (CE) se midieron en muestras de 100 mL de sustrato disuelto en 100 mL de agua destilada con 24 h de reposo; los contenidos de materia orgánica, C, N, y la relación C:N, se determinaron conforme a los procedimientos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (NOM-021-SEMARNAT-2000).

4.2.5.2. Características morfológicas de las plantas

La evaluación de las plantas producidas se realizó en la tercera semana de julio de 2014, diez meses después de la siembra (Foto 1). De la parte central de cada charola se extrajeron, en forma aleatoria, 20 plantas, lo que sumó 80 plantas por tratamiento. A éstas se les determinaron las siguientes variables: diámetro del tallo (D); altura de la parte de la parte aérea (A); índice de robustez (IR), obtenido al dividir la altura de la planta (cm), entre el diámetro (mm); peso seco radicular (PSR) y peso seco aéreo (PSA), determinados en una báscula analítica, previa deshidratación de las plantas en un horno de secado a 70 °C, durante 72 h; relación PSA/PSR; índice de calidad de Dikson (ICD), obtenido con la ecuación $BST / (A / D) + (PSA / PSR)$, (Dikson *et al.*, 1960).

4.2.5.3. Diseño experimental y análisis estadístico

Se estableció un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial $2 \times 2 \times 3$, consistente en dos sustratos, dos FLC y tres combinaciones de tiempos de liberación de cada fertilizante. Se utilizó el modelo: $Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$, donde A corresponde al sustrato, B al fertilizante y C a las combinaciones de tiempos de liberación de los fertilizantes. Los valores de las variables de respuesta se sometieron a un análisis de varianza y a una comparación de medias, mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); asimismo, se determinó el efecto de las interacciones entre los sustratos, los fertilizantes y las combinaciones de tiempos de liberación de nutrientes, mediante el software estadístico InfoStat® versión 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Propiedades físicas y químicas de los sustratos

Los valores calculados para las propiedades físicas y químicas de los sustratos se encuentran dentro de los intervalos recomendados por diversos autores para la producción de especies forestales en charolas (Landis *et al.*, 1990; Mathers *et al.*, 2007; Prieto *et al.*, 2009), con excepción de la relación C:N, la cual presentó valores altos en los dos sustratos, principalmente en el S2 con aserrín de pino sin compostar (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Características físicas y químicas de los sustratos utilizados en la producción de planta de *P. pseudostrobus* Lindl. en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³.

S	DMP	PT	PA	PRA	C:N	pH	CE
	mm		%				dS m ⁻¹
S1	1.19	80	21	59	252	4.8	0.05
S2	1.27	82	27	65	587	4.3	0.03
IR	0.8 a 6.0	60 a 80	15 a 35	25 a 55	<140	5 a 6.5	<1.0

Donde: S = sustrato, DMP = diámetro medio ponderado, PT = porosidad total, PA = porosidad de aireación, PRA = porosidad de retención de agua, IR = intervalo recomendado, S1 = aserrín de pino compostado 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba de musgo 15 %, vermiculita 10 %, S2 = aserrín de pino sin compostar 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba de musgo 15 %, vermiculita 10 %.

Sustratos con aserrín de pino, similares al S2, en cuanto a su composición y a sus características fisicoquímicas, se han probado con éxito en viveros de la zona centro del país. En un estudio de producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb. en charolas con cavidades 220 cm³, realizado por Hernández *et al.* (2014), se evaluaron nueve sustratos con aserrín de pino sin compostar; la planta de mejor calidad se produjo en dos de los sustratos, uno compuesto por aserrín 70 %, corteza de pino compostada 10 %, perlita 10 % y vermiculita 10 % y otro compuesto por aserrín 70 %, turba de musgo 10 %, perlita 10 % y vermiculita 10 %.

4.3.2. Variables morfológicas de las plantas

En la prueba de medias, el sustrato con aserrín compostado (S1) presentó valores estadísticos superiores en la variable PSR, respecto al sustrato con aserrín sin compostar (S1); en las demás variables no hubo diferencias significativas. Los tratamientos con fertilizante Osmocote[®] Plus presentaron valores superiores al Multicote[®], en todas las variables, excepto en la variable A, donde el Multicote[®] fue superior, y en la variable PSA/PSR no hubo diferencias entre ambos fertilizantes. Los Tratamientos 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10 y 11 donde se combinaron fertilizantes con diferentes periodos de liberación de nutrimentos (Combinaciones I y II con Multicote[®], IV y V con Osmocote[®] Plus), presentaron diferencias significativas superiores en las variables

ICD, PSR y PSA/PSR, respecto a los Tratamientos 3, 6, 9 y 12, en los cuales se utilizó un solo período de liberación de ambos fertilizantes; en promedio, en ambos sustratos, los mejores valores fueron para la Combinación V (4 g L⁻¹ de Osmocote® Plus 5-6M + g L⁻¹ de Osmocote® Plus 8-9M) y los más bajos para las Combinaciones III (8 g L⁻¹ de Multicote® 8M) y VI (8 g L⁻¹ de Osmocote® Plus 8-9M). En las diversas interacciones generadas, solo se presentaron diferencias significativas en las siguientes combinaciones: sustrato-fertilizante, en las variables D, A, ICD e IR; sustrato-combinación de períodos de liberación, en las variables A, PSR, ICD y PSA/PSR; fertilizante-combinación de períodos de liberación, en las variables A, ICD e IR; sustrato-fertilizante-combinación de períodos de liberación, en las variables PSR y PSA/PSR. El Tratamiento 11 presentó los valores más altos y el Tratamiento 9 los más bajos (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3. Valores promedio obtenidos por tratamiento, para las variables morfológicas de las plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl., después de 10 meses de la siembra.

T	C	D	A	PSA	PSR	IR	PSA / PSR	ICD
		mm	cm	g				
1	I	5.61a	22.13cd	4.36a	1.29d	4.11a	3.47cd	0.78bcde
2	II	5.33ab	23.36bc	4.15a	1.51abc	4.53abcd	2.80ab	0.80abcde
3	III	5.33ab	23.43b	4.26a	1.31d	4.52abc	3.33bcd	0.74cde
4	IV	5.51ab	24.26ab	4.38a	1.44bcd	4.54abcd	3.12abc	0.79abcde
5	V	5.47ab	22.09cd	4.72a	1.55ab	4.16a	3.09abc	0.90ab
6	VI	5.43ab	24.03ab	4.43a	1.35cd	4.51abc	3.31abcd	0.75cde
7	I	5.11b	23.18bcd	4.36a	1.55ab	4.68bcd	2.85ab	0.82abcd
8	II	5.20ab	25.49a	4.31a	1.43bcd	5.01d	3.28abcd	0.71de
9	III	5.26ab	24.43ab	4.27a	1.26d	4.74cd	3.70d	0.68e
10	IV	5.65a	23.31bcd	4.44a	1.52abc	4.22ab	3.09abc	0.85abc
11	V	5.56ab	22.09cd	4.42a	1.62a	4.06a	2.77a	0.91a
12	VI	5.26ab	24.43ab	4.27a	1.26d	4.74cd	3.70d	0.69e

Donde: T = tratamiento, C = Combinación de períodos de liberación de nutrimentos por tipo de fertilizante, D = diámetro del tallo, A = altura de la planta, PSA = peso seco aéreo, PSR = peso seco radicular, IR = índice de robustez, PSP/PSR = relación peso seco aéreo entre peso seco radicular, ICD = índice de calidad de Dikson.

En los 12 tratamientos valorados se produjo planta con diámetro medio mayor de 5 mm y altura de 22 a 25.5 cm. Estos valores se consideran apropiados para diversas especies del género *Pinus* para plantaciones con fines de reforestación; como ejemplo, en la norma mexicana para la certificación de la operación de viveros forestales NMX-AA-170-SCFI-2014 (2014), para *Pinus pseudostrobus* Lindl. se establece un diámetro mínimo de 4 mm y una altura de 20 a 25 cm.

Por su parte, Prieto *et al.* (2011) proponen una metodología para calificar la planta de los pinos nativos de la sierra Madre Occidental, como *Pinus pseudostrobus* Lindl. y otras especies no “cespitosas”, producidas en charolas con cavidades de 160 cm³ o de mayor capacidad; en esta metodología, se considera como planta de alta calidad para reforestación, aquella cuyas variables morfológicas se ubiquen en los siguientes intervalos: A, 15 a 25 cm; D, \geq 4mm; IR, \leq 6; relación PSA/PSR, de 1.5 a 2.5; ICD \geq 0.5. En el presente trabajo, los valores obtenidos para las variables evaluadas en los 12 tratamientos se ubican dentro de estos intervalos, con excepción de los valores calculados para la Variable PSA/PSR, los cuales resultaron superiores en todos los tratamientos, con valores de 2.7 a 3.7.

Los valores, aparentemente altos para la Variable PSA/PSR, se explica en parte, porque la planta se produjo en cavidades impregnadas con sales de cobre, lo cual contribuyó a generar raíces con un eje central y raíces laterales muy delgadas, menores de 0.5 mm de diámetro y de 3 cm de largo, con bajo peso seco (Figura 2); lo anterior, con la ventaja de que no se generaron raíces envolventes ni ascendentes, como ocurre en las cavidades de plástico sin poda química de la raíz, cuyo peso seco es más alto. De manera complementaria, en dos trabajos de evaluación de calidad de planta de los estados de Jalisco y Michoacán, realizados por Rueda *et al.* (2010) y Sáenz *et al.* (2010), se encontraron valores promedio de 2.9 a 4.9 para la misma variable en la planta de *Pinus pseudostrobus* Lindl. producida en charolas con cavidades de 160 cm³ de capacidad e impregnadas con sales de cobre.

La Variable PSR presentó valores superiores en los tratamientos con sustrato de aserrín sin compostar (S2), como consecuencia de un mayor desarrollo de micorrizas que se observó durante el lavado de los cepellones. En la misma variable, el Osmocote[®] Plus presentó diferencias significativas superiores respecto al Multicote[®]. Esta respuesta puede tener su explicación en el hecho de que el Osmocote[®] Plus contiene un 3 % más de P que el Multicote[®]. El efecto de estas diferencias en la cantidad de P de los FLC utilizados, coincide con un estudio sobre potencial de crecimiento radical en planta de *Pinus halepensis* Miller, realizado por Oliet *et al.* (2003), en el que se probaron tres formulaciones de Osmocote[®] (9N - 13P₂O₅ -

18K₂O, 17N - 10P₂O₅ - 10K₂O y 15N - 8P₂O₅ - 11K₂O), de las cuales la primera presentó diferencias significativas en la emisión de nuevas raíces en más de 50 %, respecto a las raíces emitidas en los tratamientos con las otras formulaciones.

La combinación de FLC con diferentes periodos de liberación, permitió una mayor disponibilidad de nutrimentos, lo cual se tradujo en planta con variables morfológicas más equilibradas, en comparación con las plantas producidas con FLC de un solo periodo de liberación. En el experimento no se valoró la conductividad eléctrica o la composición química de los sustratos durante el desarrollo de las plantas, con lo cual se podría mejorar las combinaciones y proporciones de FLC en futuras producciones.

4.4. Conclusiones

Los sustratos formulados con aserrín no compostado o compostado de pino, combinados con Multicote[®] u Osmocote[®] Plus, en dosis de 8 g L⁻¹ de sustrato, son adecuados para producir planta de calidad de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en charolas con cavidades de 160 cm³ o de mayor capacidad, con ciclo de producción de 10 meses, con manejo y condiciones ambientales similares a las del vivero "GUMAIR".

La combinación de fertilizantes de periodos de liberación de ocho a nueve meses con fertilizantes de cuatro a seis meses de liberación, generan planta con características morfológicas más equilibradas que con el uso tradicional de producir planta de pino con fertilizantes de un solo periodo de liberación, de ocho a nueve meses.

El uso de aserrín de pino recién no compostado en los sustratos es preferible al uso de aserrín compostado, ya que en el primero es posible seleccionar la especie de pino en el aserradero y elaborar sustratos con características fisicoquímicas constantes en los siguientes ciclos de producción; adicionalmente, es más económico que el aserrín compostado.

Se requiere establecer nuevos experimentos donde se evalúe el patrón de liberación de nutrimentos de los fertilizantes utilizados, la concentración de nutrimentos en el follaje y el comportamiento de otros sustratos con mayor cantidad de corteza compostada de pino o vermiculita, para incrementar la capacidad de intercambio catiónico y la asimilación de nutrimentos en las plantas.

CAPITULO V. ANÁLISIS DE COSTOS DE SUSTRATOS Y FERTILIZANTES PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE *Pinus montezumae* Lamb.

RESUMEN

En un estudio sobre producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb., en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, desarrollado en el vivero forestal "GUMAIR", ubicado en Acaxochitlán, Hidalgo, se probaron tres fertilizantes de liberación controlada (Basacote[®] Plus 9M 16-8-12 + M.E., Multicote[®] (8) 18-6-12 + 2Mg + M.E. y Osmocote Plus[®] 8-9M 15-9-12 + M.E) en tres dosis de aplicación (4, 6 y 8 g L⁻¹), combinados con dos sustratos: S1 (turba de musgo, 60 %; perlita, 20 %; y vermiculita, 20 %), mismo que se utiliza en la mayor parte de los viveros forestales del país, y S2 (aserrín de pino compostado, 70 %; corteza de pino compostada, 15 %; y vermiculita, 15 %), el cual se maneja en el vivero desde 2010. De los resultados obtenidos, se eligieron los tratamientos de cada sustrato y de cada tipo de fertilizante que produjeron planta con características morfológicas y concentración de nutrimentos en el follaje dentro de los valores recomendados para la especie, con la dosis mínima de fertilizante. Esto permitió seleccionar seis tratamientos, a los que se les calculó el consumo y costo de fertilizantes hidrosolubles, con base en el programa de fertilización tradicional que se utiliza en el propio vivero y otros viveros del país, para la producción de esta especie. Durante el mes de agosto de 2014 se obtuvieron tres cotizaciones comerciales para cada tipo de insumo utilizado, con las cuales se determinaron los costos promedio de los sustratos y los fertilizantes. El costo promedio del esquema de fertilización realizado en el experimento con fertilizantes de liberación controlada y sustrato de aserrín de pino compostado fue de \$ 0.19 por planta; en tanto, el costo promedio por planta, en el caso de haberse utilizado el esquema tradicional con fertilizantes hidrosolubles y sustrato a base de turba de musgo, fue de \$ 0.41 por planta.

Palabras clave: Fertilización en viveros, costo de sustratos, costo de fertilización.

ABSTRACT

During the period from September 2012 to July 2013 an experiment on plant production of *Pinus montezumae* Lamb. Was developed in polystyrene trays with 160 cm³ cavities in the tree nursery "GUMAIR" located in Acaxochitlán, Hidalgo. Three controlled-release fertilizers were tested (Basacote[®] Plus 9M 16-8-12 + M.E., Multicote[®] (8) 18-6-12 + 2Mg + M.E. y Osmocote Plus[®] 8-9M 15-9-12 + M.E) in application three doses (4, 6 and 8 g L⁻¹) in combination with two substrates: S1 (peat moss, 60 %; perlite, 20 %; and vermiculite 20 %), same as is used in most of forest nurseries country and S2 (composted pine sawdust, 70 %; composted pine bark, 15 %; and vermiculite 15 %), which is handled in the nursery since 2010. From the results, the treatments of each substrate and of each type of fertilizer were chosen those that produced plant with morphological characteristics and nutrient concentration in the foliage within the recommended range for the specie, with the lowest dose of fertilizer. This allowed to select six treatments, which were calculated consumption and cost of controlled-release and water-soluble fertilizer; these last based on the traditional fertilization program used in the nursery and other nurseries in the country for the production of this species. During the month of August 2014 three commercial quotes for each type of input used, with which the average cost of substrates and fertilizers obtained were determined. The average cost of fertilization scheme in the experiment performed with controlled-release fertilizers and substrate of composted pine sawdust was \$ 0.19 per plant; meanwhile, the average cost per plant in the case of using the traditional pattern with water soluble fertilizers and substrate based on peat moss was \$ 0.41 per plant.

Key words: *Pinus montezumae* Lamb., substrates cost, fertilization cost.

5.1. Introducción

El uso de fertilizantes de liberación controlada (FLC) adicionados a los sustratos puede ser un método económico y fácil de manejar en la fertilización de las plantas en vivero, en comparación con el esquema tradicional de fertilización con fertilizantes hidrosolubles (FHS) (Landis y Dumroese, 2009). El uso intensivo de este tipo de fertilizantes aún no se ha generalizado en los viveros forestales de México, debido a que los trabajos de investigación para las especies forestales son incipientes. Por otra parte, existe la creencia de que los FLC son más caros que los FHS (Rose *et al.*, 2004).

A partir de 2003, en algunos viveros forestales de la zona centro del país han utilizado con éxito sustratos con aserrín de pino. Este material es casi 10 veces más económico que la turba de musgo y muy abundante en las entidades con bosques de coníferas; al año se producen 3.7 millones de metros cúbicos de madera aserrada de los géneros *Pinus* y *Abies* (SEMARNAT, 2013), en cuyo proceso se genera, al menos, 1.6 millones de metros cúbicos de aserrín, (Zavala y Hernández, 2000).

Con el propósito de comprobar que la fertilización con FLC puede ser tan funcional como la fertilización con FHS, se desarrolló un trabajo de investigación sobre producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb. en charolas de poliestireno, en el estado de Hidalgo. Se compararon tres FLC en diferentes dosis de aplicación, combinados con sustratos cuyos elementos principales fueron turba de musgo, de uso normal en los viveros del país, y aserrín de pino, como sustrato alternativo. Para determinar los costos de los sustratos y los fertilizantes utilizados en este trabajo, se obtuvieron tres cotizaciones de cada insumo utilizado en los tratamientos que generaron planta de calidad con el mínimo consumo de FLC.

Adicionalmente, para los mismos tratamientos se estimó el consumo hipotético de FHS y su costo, tomando como base esquemas de fertilización recomendado para la producción de planta de coníferas (Landis *et al.*, 1989; Prieto *et al.*, 2009) y el mismo esquema de nutrición del propio vivero "GUMAIR" que se ha utilizado desde hace tres años para esta especie.

5.2. Materiales y métodos

5.2.1. Tratamientos evaluados

El trabajo se desarrolló durante los meses de octubre de 2012 a julio de 2013, en el vivero forestal "GUMAIR", ubicado en el municipio de Acaxochitlán, Hgo. Se utilizaron charolas de poliestireno de 77 cavidades de 160 cm³ de capacidad. Se probaron tres marcas comerciales de FLC, en tres dosis de aplicación, con dos sustratos formulados con turba de musgo y aserrín de pino compostado. En nueve de los 18 tratamientos valorados se obtuvo planta con características morfológicas y contenidos de N, P, K, con valores aceptables para su utilización en plantaciones (Prieto *et al.*, 2011). De estos tratamientos, sólo se incluyeron aquellos de cada tipo de sustrato que demandaron el mínimo de fertilizante (Cuadro 6.1).

Cuadro 5.1. Tratamientos que generaron planta de *Pinus montezumae* Lamb. con calidad aceptable para reforestación.

Tratamientos	Sustratos	Tipo de fertilizante	Dosis
			g L ⁻¹
3	S1	Basacote [®] Plus 9M 16-8-12 + M.E	8
6	S1	Multicote [®] (8) 18-6-12 + 2Mg + M.E.	8
9	S1	Osmocote [®] Plus 8-9M 15-9-12 + M.E	8
12	S2	Basacote [®] Plus 9M 16-8-12 + M.E	8
14	S2	Multicote [®] (8) 18-6-12 + 2Mg + M.E.	6
17	S2	Osmocote [®] Plus 8-9M 15-9-12 + M.E	6

Donde: S1 = aserrín de pino compostado 70 %, corteza de pino compostada 15 %, y vermiculita 15 %; S2 = turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %.

5.2.2 Cotización de insumos

Durante el mes de agosto de 2014 se solicitaron tres cotizaciones para los fertilizantes e insumos utilizados; para ello, se recurrió a empresas proveedoras de insumos para

viveros forestales con capacidad de abasto a cualquier parte del país, así como empresas forestales dedicadas al aserrío de trocería de coníferas que generan y comercializan aserrín de pino. Los costos unitarios de los insumos cotizados incluyen el flete a los viveros, considerando la ubicación de estos en los estados del centro, centro norte y centro sur del país. En total se obtuvieron 11 cotizaciones para sustratos, 10 para FLC y nueve para FHS, con las cuales se calcularon los costos promedio de cada insumo utilizado (Anexos 9, 10, 11 y 12).

5.2.3. Requerimiento y costo de sustratos

Para determinar la cantidad de sustrato utilizado por cavidad de producción de 160 cm³, se llenaron 20 charolas con cada sustrato, se vaciaron y se midió, por separado, el volumen de material utilizado en las mismas para su llenado. En promedio, se utilizaron 200 cm³ de sustrato por cavidad, es decir, 40 cm³ de sustrato adicional al volumen de las cavidades, por concepto del volumen que se compacta durante el llenado de las charolas y un sobrante, por concepto de las partículas mayores de 1 cm que se separan durante el cernido de los insumos (Anexo 13).

5.2.4. Requerimiento y costo de fertilizantes

5.2.4.1. Fertilizantes de liberación controlada (FLC)

Al igual que en los sustratos, el costo del fertilizante utilizado por cavidad de producción se calculó sobre la base de 200 cm³ de sustrato por cavidad de 160 cm³ (Anexo 14).

5.2.4.2. Consumo estimado de fertilizantes hidrosolubles (FHS)

Para determinar los requerimientos de FHS para producir planta de *Pinus montezumae* Lamb. en charolas y sustratos similares a los utilizados en el experimento, primeramente se estimó el consumo de agua durante el ciclo de producción. Tomando en consideración que en México se carece de estudios o trabajos de investigación en este tema, se tomó como base un reporte de medición del consumo de agua señalado por Landis *et al.* (1990), quién refiere que en un trabajo realizado en un vivero forestal de Colorado, EUA, se midió el requerimiento de agua para producir 1000 plantas de especies de coníferas en charolas con cavidades

de 164 cm³, con un consumo promedio de 228 L por mes, durante la etapa de crecimiento inicial, y hasta de 760 L mensuales durante las etapas de crecimiento rápido y de lignificación; es decir, de 0.228 L a 0.760 L por planta y por mes. Adicional a este consumo, se incluyó un gasto complementario de 27 % de agua por aquella que cae a los pasillos y periferia del área de producción, ya que en el vivero donde se desarrolló el experimento se cuenta con equipos de riego fijo y mesas porta charolas de 1.5 m de ancho con pasillos de 0.5 m de ancho. Del total de agua irrigada, se determinó que sólo 85 % de la misma contiene fertilizante, ya que de 15 riegos que, en promedio, se aplican al mes, en dos no se aplican fertilizantes, con el propósito de eliminar las sales acumuladas en el sustrato de las charolas al evaporarse parte del agua irrigada (Anexos 15, 16 y 17).

Para suministrar los nutrimentos a las plantas durante el ciclo de producción, se propuso un esquema de consumo progresivo de nitrógeno aplicando FHS durante las tres etapas de desarrollo de las plantas: a) establecimiento, de 40 a 60 mg L⁻¹ de N; b) crecimiento rápido, de 80 a 150 mg L⁻¹ de N; y c) lignificación, de 40 a 50 mg L⁻¹ (Anexos 9, 10 y 11). Este esquema de suministro de fertilizantes se aplica con éxito en la producción de planta de coníferas en charolas con sustratos formulados con turba de musgo y corteza de pino compostada (Landis *et al.*, 1989; Prieto *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2014), similares al sustrato S2 con turba de musgo, utilizado en el experimento.

Para el sustrato formulado con aserrín compostado de pino (S1) se incluyó una dosis de 2 gramos de FLC por 1 L de sustrato (Anexo 12), para compensar el consumo de nitrógeno y demás nutrimentos que demandan los microorganismos saprófitos durante el ciclo de producción, así como para prevenir deficiencias nutrimentales en las plantas (Jackson *et al.*, 2007; Jackson y Wright, 2007).

Para determinar el costo de aplicación de FHS se utilizó, como modelo, la experiencia de producción del vivero donde se realizó el experimento, en el cual se produjo un millón de plantas de diversas especies de pino, durante el ciclo de producción comprendido entre septiembre de 2013 a julio de 2014. A partir de la germinación de las semillas (octubre de 2013) y hasta la salida de la planta se aplicaron, en promedio,

15 láminas de riego por mes, de las cuales sólo en 13 se suministraron fertilizantes y en dos de ellas se suprimió su aplicación, con el propósito de lavar las sales acumuladas en el sustrato de las charolas. En total, se aplicaron 117 láminas de riego con fertilizante.

La preparación de las soluciones nutritivas y el manejo del dosificador de agroquímicos incluido en el sistema de riego del vivero, demandó de 50 % de la jornada laboral de un trabajador, con un costo de \$ 75.00 por aplicación, toda vez que el jornal se pagó a \$ 150.00. Para todo el ciclo de producción se obtuvo un costo total de mano de obra de \$ 8775.00 con un costo por planta de \$ 0.009.

Adicional al costo de mano de obra, se incluyó el costo de uso del dosificador de agroquímicos, mismo que tiene un valor comercial de \$ 8700.00 y una vida útil de cinco años, para una producción anual de un millón de plantas, equivalente a un costo por planta de 0.002. En conjunto, el costo de ambos conceptos fue de \$ 0.01 por planta (Anexo 18).

Para la aplicación del FLC al sustrato con aserrín de pino (S1), no se consideró costo alguno, debido a que estos se aplican al sustrato durante el mezclado de los materiales, bastando pesar y agregar a la mezcla la cantidad requerida.

Finalmente, se determinó el consumo y costo por planta para el esquema de fertilización con FHS para ambos sustratos, incluyendo los fertilizantes y los costos de su aplicación por tipo de sustrato (Anexo 18).

5.3. Resultados y discusión

El costo por concepto de sustrato y cavidad de producción fue de \$ 0.12 para el sustrato formulado con aserrín de pino (S1), y de \$ 0.28, para el sustrato tradicional, formulado con turba de musgo (S2). El esquema de producción con sustrato de aserrín (S1) combinado con FLC presentó un costo casi por mitad del esquema de producción con sustrato tradicional a base de turba de musgo (S2) y FHS (Cuadro 5.2).

Cuadro 5.2. Costo total del sustrato y esquema de fertilización para planta de *Pinus montezumae* Lamb., producida en charolas de poliestireno de 77 cavidades de 160 cm³ de capacidad.

T	S	Tipo de fertilizante	Dosis g L ⁻¹	Costo total de sustrato y esquema de fertilización (\$)	
				Sustrato + FLC	Sustrato + FHS
3	S1	Basacote [®] Plus	8	0.200	0.312
6	S1	Multicote [®]	8	0.171	0.279
9	S1	Osmocote [®] Plus	8	0.205	0.379
Promedio				0.192	0.324
12	S2	Basacote [®] Plus	8	0.360	0.372
14	S2	Multicote [®]	6	0.318	0.375
17	S2	Osmocote [®] Plus	6	0.344	0.473
Promedio				0.341	0.407

Donde: T = tratamiento; S = sustrato; FLC = fertilizante de liberación controlada; FHS = fertilizante hidrosoluble; S1 = aserrín de pino compostado 70 %, corteza de pino compostada 15 % y vermiculita 15 %; S2 = turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %.

En un estudio de costos de producción de planta en viveros forestales, elaborado por la CONAFOR (2011), se reporta un costo promedio por planta de \$ 0.272 por concepto de sustrato tradicional con turba de musgo similar al S2 y fertilización con 8 g de FLC por 1 L de sustrato, para especies de clima templado frío producidas en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, (CONAFOR, 2013). El costo promedio de este mismo esquema de producción de \$ 0.341, obtenido en el presente análisis de costos, representa un incremento de 25 % respecto del obtenido por la CONAFOR, en 2011, como consecuencia del incremento en los costos del precio del dólar y la turba de musgo, importada de otros países, principalmente de Canadá (Landis y Morgan, 2009; Schaefer, 2009).

5.4. Conclusiones

El esquema tradicional de fertilización con FHS en los viveros forestales, puede ser sustituido por el esquema de fertilización con FLC, ya que, además de ser más económico, es más fácil de manejar. Previo a su reemplazo, se requiere hacer pruebas o ensayos con FLC y dosis recomendadas en la literatura científica o probadas en otros viveros forestales.

El uso de sustratos formulados con aserrín y corteza de pino representa una alternativa promisorio para reducir el uso de turba de musgo de importación, ya que en México se produce anualmente suficiente aserrín para abastecer a todos los viveros forestales del país.

Para estimar con precisión el consumo de agua y FHS requerido por planta de *Pinus montezumae* Lamb, se requiere desarrollar trabajos de investigación encaminados a cuantificar el consumo de las plantas, así como las pérdidas de agua y fertilizantes durante el ciclo de producción en vivero.

Los sustratos y los FLC con sus dosis utilizadas en los tratamientos que produjeron planta de de calidad de *Pinus montezumae* Lamb, pueden utilizarse para realizar experimentos o ensayos de producción con las demás especies cespitosas del género *Pinus*, como *P. engelmannii*, *P. devoniana*, *P. rudis*, *P. arizonica* y *P. hartwegii*.

VI. LITERATURA CITADA

- Abad, M., y P. Noguera, y C. Carrión. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Tratado de cultivo sin suelo. (Ed. Miguel Urrestarazu). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Pp: 113-158.
- Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 150 p.
- Aldana B., R. y M. Aguilera, R. 2003. Procedimientos y Cálculos Básicos Útiles en la Operación de Viveros que Producen en Contenedor. Documento técnico. Programa Nacional de Reforestación. CONAFOR. Guadalajara, Jalisco, México. 41 p.
- Bautista Z., N., V. M. Cetina A., J. A. G. Vera C. y C. T. Cervantes M. 2005. Evaluación de la calidad de brinzales de *Pinus montezumae* Lamb., producidos en el vivero San Luis Tlaxialtemalco, Distrito Federal. Ra Ximhai 1: 167-176.
- Bremer, J. M. 1965. Total nitrogen, In: Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy p. Black, C. A. (ed.). American Society of Agronomy. Madison. WI. USA. Pp. qq. 49-1178.
- Broschat, T. K. 2005. Rates of ammonium-nitrogen, nitrate-nitrogen, phosphorus, and potassium, from Two controlled-release fertilizers under different substrate environments. HortTechnology 15(2): 332-335.
- Bustos F., M. E. González, P. Donoso, V. Gerding, C. Donoso y B. Escobar. 2008. Efectos de distintas dosis de fertilizante de liberación controlada (Osmocote®) en el desarrollo de plantas de coigüe, raulí y ulmo. Bosque 29: 155-161.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2014. Normales Climatológicas-Servicio Meteorológico Nacional. [En línea]. Disponible en http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75 (revisado el 28 de febrero de 2014).

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2013. Evaluación de Costos de Producción de Planta en Viveros Forestales que Abastecen Proyectos de Plantaciones Forestales Comerciales. Documento técnico. Guadalajara, Jalisco, México. 65 pp: 13-14.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2014. Objetivo Específico 1 del Monitoreo y Evaluación Complementaria de los Apoyos de Reforestación y Suelos 2012. Documento técnico. Guadalajara, Jalisco, México. pp: 178-187.
- Curtis, A., J. Frantz, and B. Bugbee. 2011. Macro and micronutrient release characteristics of three polymer-coated fertilizers: Theory and measurements. *J. Plant Nutr. Soil. Sci.* 176: 76-78.
- Diaz L., V. C., J. Climent M., J. Peters., E. Pérez M., J. Puértolas S., D. Morales M., M.S. Jiménez P. y L. Gil S. 2004. Evaluación de la calidad de plántulas de *Pinus canariensis* cultivadas con diferentes métodos en la supervivencia y crecimiento en campo. *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 17: 63-67.
- Dickson, A., A. L. Leaf, and J. F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *For. Chron.*, v. 36, p. 10-13.
- Di Rienzo J., A., F. Casanoves, G. Balzarini M., L. González, M. Tablada y W. Robledo C. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Drahn, S. R. 2007. Propagating with controlled-release fertilizers. *Combined Proceedings International Plant Propagators' Society* 57: 521-522.
- Dumroese, R. K., R. J. Parkhurst, and J. P. Barnett. 2005. Controlled release fertilizer improves quality of container longleaf pine. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-35*: 3-8.
- Dumroese, R. K., J. P. Barnett, D. P. Jackson, and M. J. Hains. 2009. 2008 Interim guidelines for growing longleaf pine seedlings in container nurseries. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-35*: 101-112.

- Hasse, D. L., P. Alzugaray, R. Rose, and D. F. Jacobs. 2007. Nutrient-release rates of controlled-release fertilizers in forest soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38: 739–750.
- Hernández Z., L., A. Aldrete, V. M. Ordaz C., J. López U. y M. A. López L. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de de sustratos. *Agrociencia* 48: 627-637.
- Hoitink, H. A. J., A. G. Stone, and D. Y. Han. 1997. Supresión de enfermedades de plantas mediante compost. *Agronomía Costarricense* 21: 25-35.
- Jackson, B. E., and R. D. Wright. 2007. Pine tree substrate: Fertility Requirements. *SNA Research Conference* 52: 523-526.
- Jackson, B. E., R. D. Wright, and J. O. James. 2007. Pine tree substrate: Current Status. *SNA Research Conference* 52: 518-522.
- Jacobs, D. F. 2005. Variation in nutrient release of polymer-coated fertilizers. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-35*: 113-118.
- Jacobs, D. F., R. Rose, and D. L. Haase. 2003. Ecophysiological response of douglas-fir seedlings to polymer-coated fertilizer. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-28*: 84–88.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald, and J. P. Barnett. 1989. Seedling Nutrition and Irrigation, Vol. 4, *The Container Tree Nursery Manual*. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: US Department of Agriculture, Forest Service. 119p.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S.E. Mc Donald, and J. P. Barnett. 1990. Containers and Growing Media, Vol. 2. *The Container Tree Nursery Manual*. Agric. Handbook 674. USDA Forest Service. Washington, DC. USA. 88 p.
- Landis, T. D. 2004. Macronutrients-phosphorus. *Forest Nursery Notes*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Summer: 5-17

- Landis, T. D., and N. Morgan. 2009. Growing media alternatives for forest and native plant nurseries. U.S. Department of Agriculture, Forest Service Proceedings RMRS-P-58: 26-31.
- Landis, T. D. and R. K. Dumroese. 2009. Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after outplanting. Forest Nursery Notes. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Winter 2009: 5-12.
- Maldonado B., K. R., A. Aldrete., J. López U., H. Vaquera H. y V. M. Cetina A. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en sustrato con hidrogel y riego en vivero. Agrocienca 45: 389-398.
- Mateo S., J. J., R. Bonifacio V., S. R. Pérez R., L. Mohedano C. y J. Capulín G. 2011. Producción de *Cedrela odorata* L. en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Técpan de Galeana, Guerrero, México. Ra Ximhai 7: 123-132.
- Mathers, H. M., S. B. Lowe, C. Scagel, D. K. Struve, and L. T. Case. 2007. Abiotic factors influencing root growth of woody nursery plants in containers. HortTechnology 17(2): 151:162
- Mejía S., J.J. 2007. Producción de *Pinus patula* Schl. et Cham. en sustratos a base de aserrín crudo y dosis de fertilización. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, México. 98 p.
- Newman, P. J., J. P. Albano, D. J. Merhaut, and E. K. Blythe. 2006. Nutrient release from controlled-release fertilizer in a neutral-pH substrate in an outdoor environment: I. Leachate Electrical Conductivity, pH and Nitrogen, Phosphorus and Potassium Concentrations. HortScience 41(7): 1674-1682.
- NMX-AA-170-SCFI-2014. 2014. Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2014. Certificación de la operación de viveros forestales. Diario Oficial de la Federación. 22 de septiembre de 2014. México, D.F. 172 p.

NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, martes 31 de diciembre de 2002 (2ª Sección).

Oliet, J., M. L. Segura, F. Martínez D., E. Blanco, R. Serrada., M. López A. y F. Artero. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal en vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 8: 207-228.

Oliet, J., R. Palanelles, M. L. Segura, F. Artero, and D. F. Jacobs. 2004. Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* under controlled-release fertilizer. Scientia Horticulturae 103: 113-129.

Oliet, J., R. Palanelles, 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. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 12: 51-60.

Perry, P. J. 1991. The Pines of México and Central América. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.

Prieto R., J. A., J. L. García R., J. M. Mejía B., S. Huchín A. y J. L. Aguilar V. 2009. Producción de Planta del Género *Pinus* en Vivero en Clima Templado Frío. Publicación especial No. 28. Campo Experimental valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. 48 p.

Prieto R., J. A., y J. T. Sáenz R. 2011. Indicadores de Calidad de Planta en Viveros Forestales de la Sierra Madre Occidental. Libro Técnico Núm. 3. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. 210 p.

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

- Reyes R., J. A. Aldrete, V.M. Cetina A. y J. López U. 2005. Producción de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustratos a base de aserrín. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11: 105-110.
- Rincón, A., J. Parladé and J. Peréa. 2007. Influence of the fertilization method in controlled ectomycorrhizal inoculation of two Mediterranean pines. Ann. For. Sci. 64: 577-583.
- Rose, R., D. L. Haase y E. Arellano. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. Bosque 25: 89-100.
- Rueda S., A., J. D. Benavides S., J. A. Prieto R., J. T. Sáenz R. y G. Orozco G. 2010. Calidad de Planta Producida en los Viveros Forestales de Jalisco y Nayarit. Folleto técnico Núm. 17. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. INIFAP. Guadalajara, Jal. 166 p.
- Sáenz R., J. T., F. J. Villaseñor R., H. J. Muñoz F., A. Rueda S. y J. A. Prieto R. 2010. Calidad de Planta en Viveros Forestales de Clima Templado en Michoacán. Folleto técnico Núm. 17. Campo Experimental Uruapan, del Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. INIFAP. Uruapan, Mich. 41 p.
- Schaefer, K. J. (2009). Growing reforestation conifer stock: utilizing peat/sawdust medium. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-58: 35-36.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2012. México, D.F. pp: 44-46.
- Walker, R. F. 2001. Growth and nutritional responses of containerized sugar and Jeffrey pine seedlings to controlled released reutilization and induced mycorrhization. Forest Ecology and Management 149: 163-179.
- Wright, R. D. and B. E. Jackson. 2007. Pine tree substrate: A promising alternative to peat moss and pine bark. Combined Proceedings International Plant Propagators' Society 57: 632-635

Wright, R. D., B. E. Jackson and M. C. Barnes. 2009. White pine as a pine tree substrate. SNA Research Conference 54: 221-223

Zavala Z., D. y R. Hernández C. 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. Madera y Bosques 6: 41-155.

ANEXOS

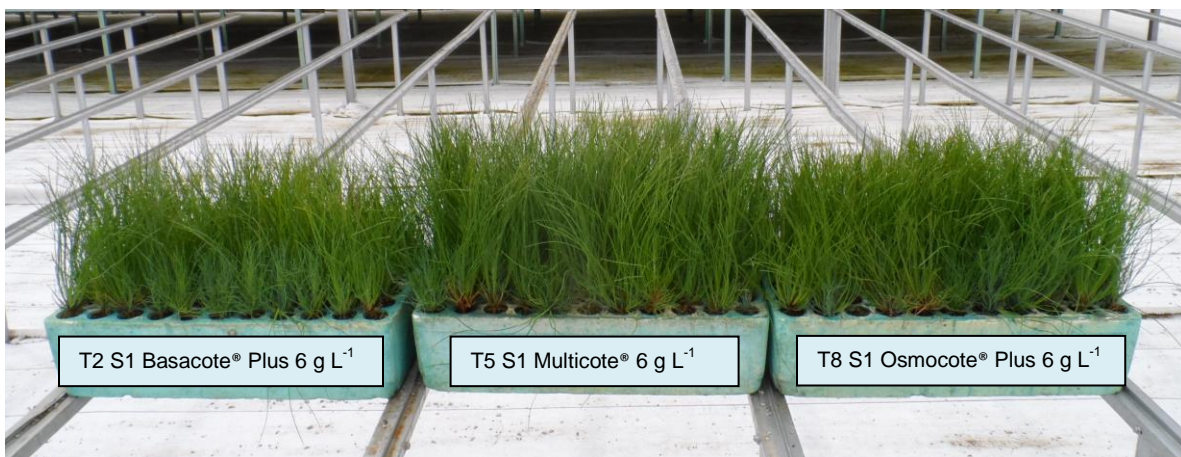
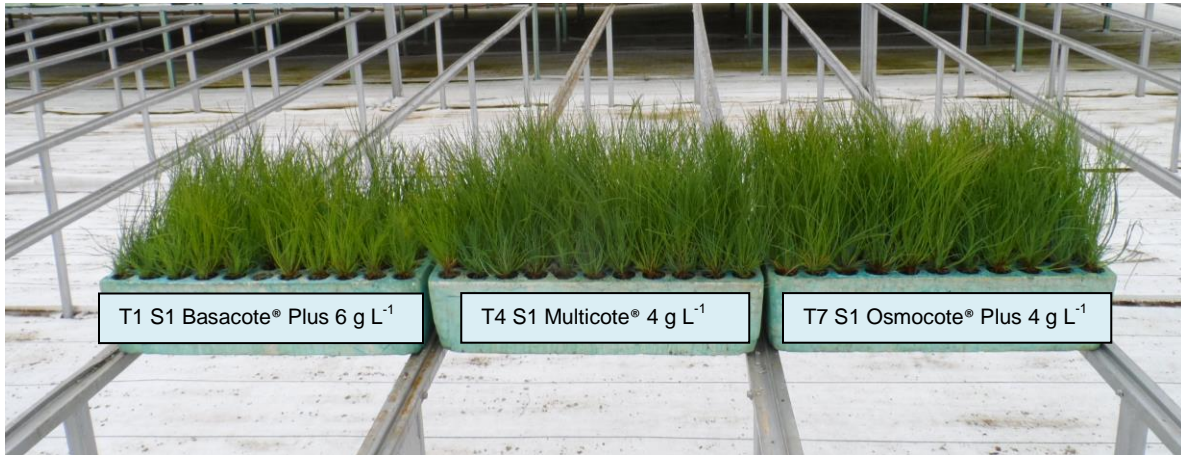
Anexo 1. Contenido porcentual de nutrimentos de los fertilizantes de liberación controlada y de liberación lenta, utilizados en el análisis de costos.

Nutrimento	Basacote [®] Plus	Multicote [®]	Osmocote [®] Plus	Micromáx [®]
	9M	(8)	8-9M	
%				
N total	16.000	18.000	15.000	
NH ₄	8.600	6.600	8.400	
NO ₃	7.400	5.800	6.600	
NH ₂		5.600		
P ₂ O ₅	8.000	6.000	9.000	
K ₂ O	12.000	12.000	12.000	
MgO	2.000	2.000	1.300	3.0
Ca				6.0
S	5.000	4.500	6.000	12.0
B	0.020	0.030	0.020	
Cu	0.050	0.045	0.050	1.0
Fe	0.400	0.400	0.460	17.0
Mn	0.060	0.055	0.060	2.5
Mo	0.015	0.001	0.020	0.05
Zn	0.020	0.060	0.050	1.0

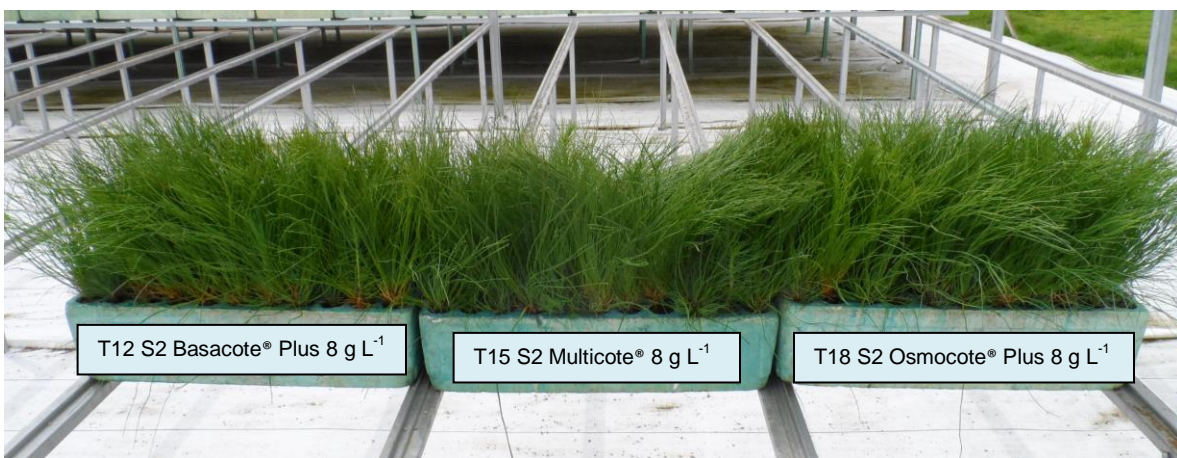
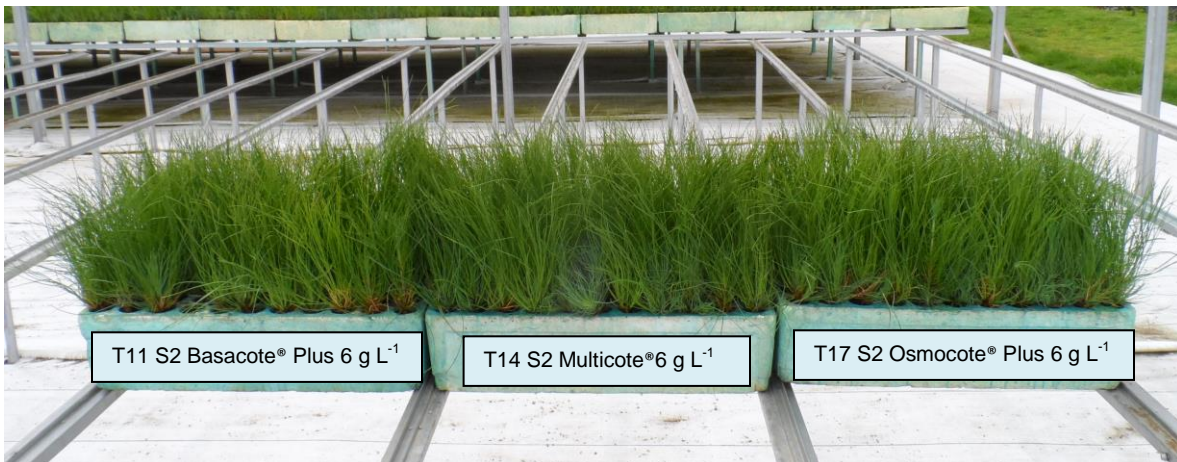
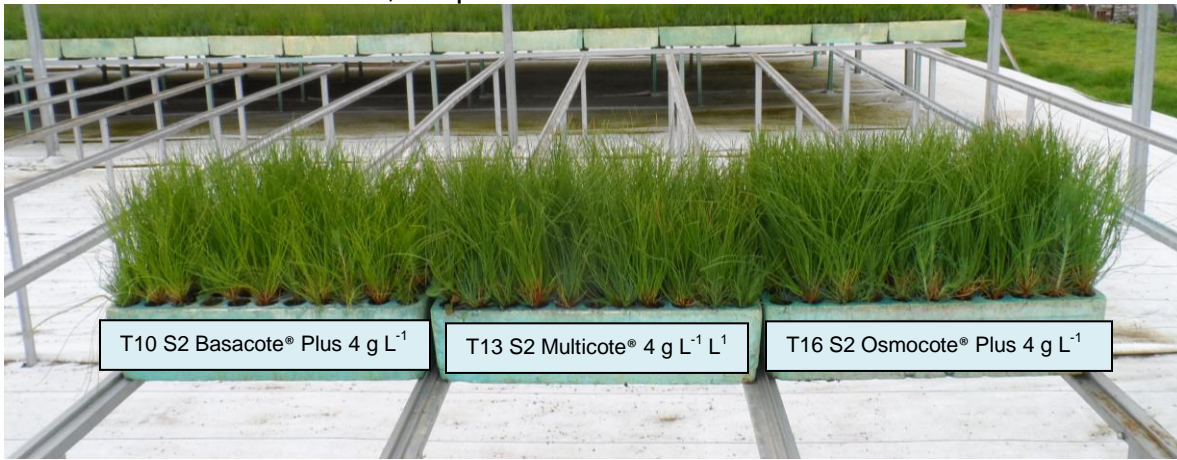
Anexo 2. Períodos de liberación de nutrimentos en función de la temperatura media del sustrato, de los fertilizantes de liberación controlada utilizados en la producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb.

Tipo de fertilizante	Meses de liberación a diferentes temperaturas			
	15 °C	21 °C	26 °C	27 °C
Basacote [®] Plus 9M	9 a 10	8 a 9		7 a 8
Multicote [®] (8)	9 a 10	8		5 a 6
Osmocote [®] Plus 8-9M	9 a 10	8 a 9	6 a 7	

Anexo 3. Planta de *Pinus montezumae* Lamb. producida en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, con sustrato S1 (aserrín compostado de pino 70 %, corteza de pino compostada 15 % y vermiculita 15 %) y tres fertilizantes de liberación controlada en tres dosis de adición al sustrato, después de 10 meses de la siembra.



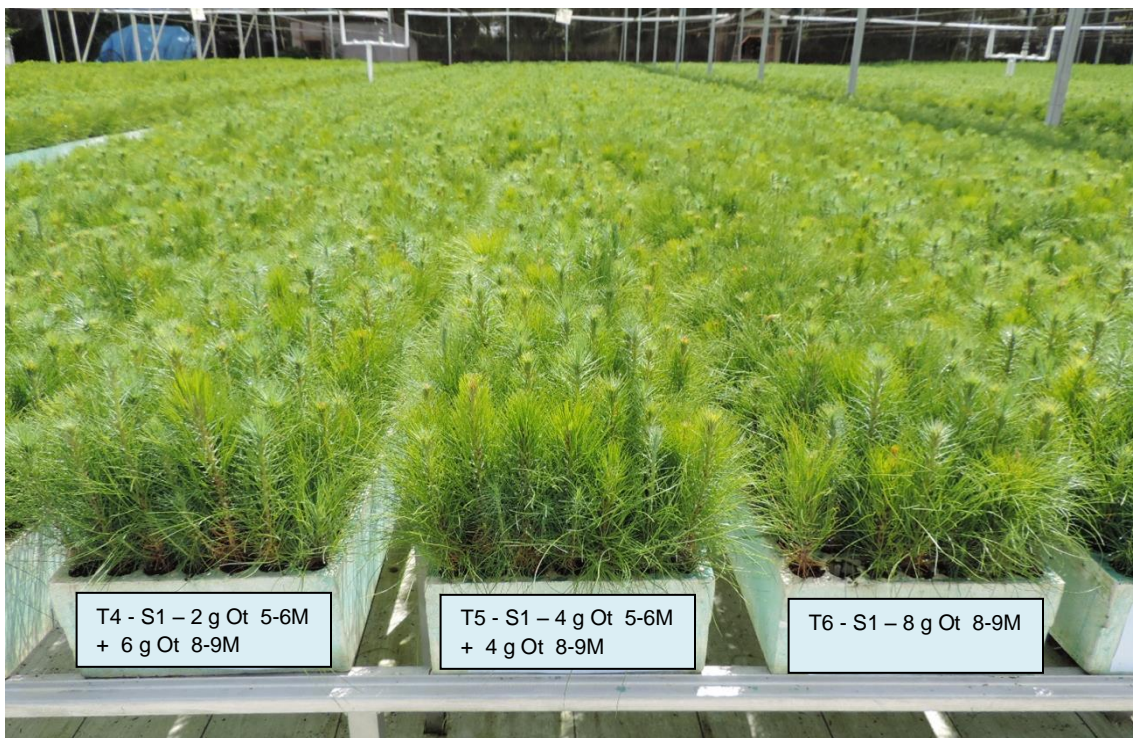
Anexo 4. Planta de *Pinus montezumae* Lamb. producida en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, con sustrato S2 (turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %) y tres fertilizantes de liberación controlada en tres dosis de adición al sustrato, después de 10 meses de la siembra.



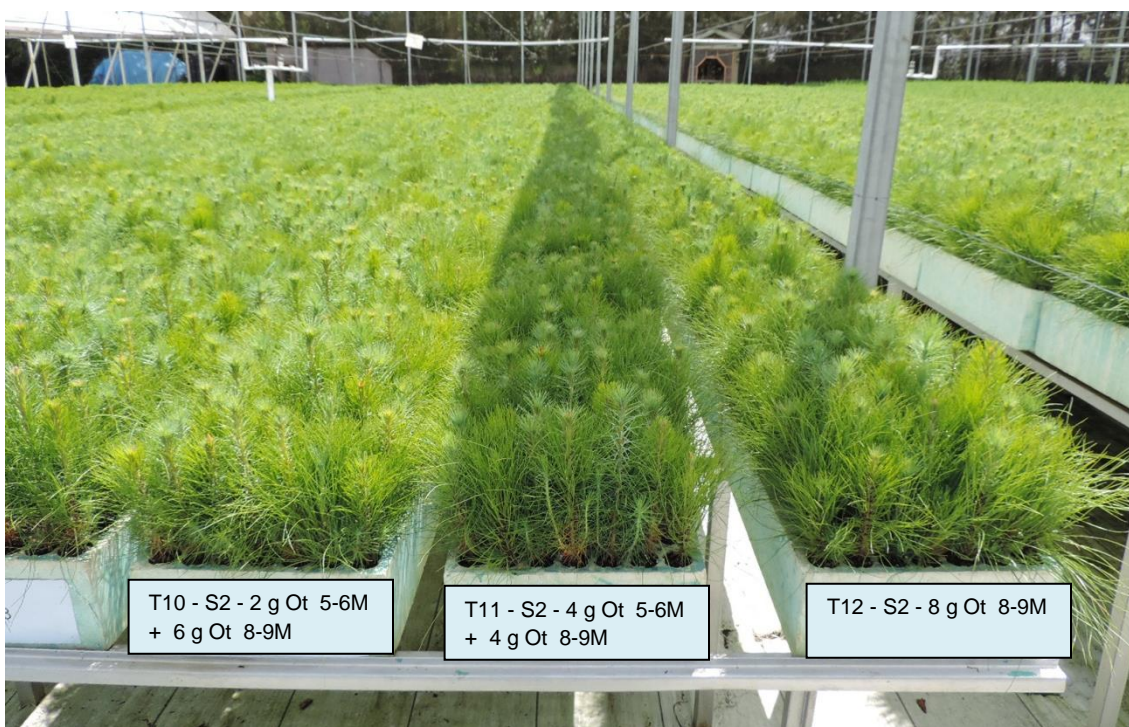
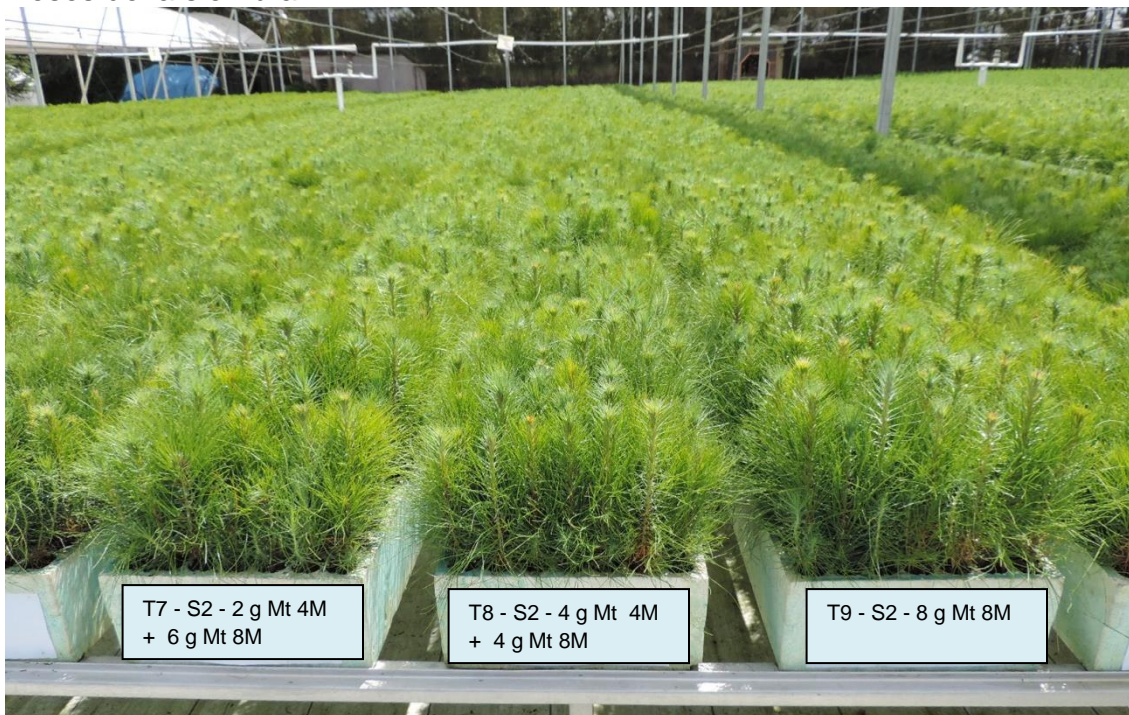
Anexo 5. Conformación de la raíz con poda química lateral de la planta de *Pinus montezumae* Lamb., producida en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, después de 10 meses de la siembra.



Anexo 6. Planta de *Pinus pseudostrabus* Lindl. producida en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, con sustrato S1 (aserrín de pino compostado 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba 15 % y vermiculita 10 %) y tres combinaciones de Multicote® (Mt) y Osmocote® Plus (Ot) después de 10 meses de la siembra.



Anexo 7. Planta de *Pinus pseudostrabus* Lindl. producida en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, con sustrato S1 (aserrín de pino compostado 60 %, corteza de pino compostada 15 %, turba 15 % y vermiculita 10 %) y tres combinaciones de Multicote® (Mt) y Osmocote® Plus (Ot) después de 10 meses de la siembra.



Anexo 8. Conformación de la raíz con poda química lateral de las plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl., producidas en charolas con cavidades de 160 cm³, diez meses después de la siembra.



Anexo 9. Costos promedio de los insumos utilizados en los sustratos, para la producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb.

Insumo	Presentación comercial	Costo (\$)	
		Unitario	Por L
Aserrín de pino compostado	A granel (m ³)	200.00	0.20
Corteza de pino compostada	Saco de 50 litros	45.00	0.90
Perlita	Saco de 100 litros	84.60	0.85
Turba de musgo	Paca de 155 litros*	345.00	1.33
Vermiculita (grado hortícola 2)	Saco de 114 litros	232.67	2.27

*Una paca de 155 L de turba compactada, cubica 260 L al descompactar.

Anexo 10. Costos promedio de los fertilizantes de liberación controlada utilizados en la producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb.

Fertilizante		Costo unitario (\$)		
Presentación comercial	Contenido por saco (kg)	Saco	kg	g
Basacote [®] Plus 9M 16-8-12 + M.E	25.00	1,250.00	50.00	0.050
Multicote [®] (8) 18-6-12 + 2Mg + M.E.	25.00	800.00	32.00	0.032
Osmocote [®] Plus 8-9M 15-9-12 + M.E	22.68	1,200.00	52.91	0.053

Anexo 11. Costo promedio de tres grupos de fertilizantes hidrosolubles, utilizados para estimar los costos de fertilización en la producción de *Pinus montezumae* Lamb. en charolas con cavidades de 160 cm³.

Fabricante	Tipo de fertilizante	kg por saco	EA	Costo unitario (\$)	
				Saco	g
	Hakaphos [®] Violeta 13-40-13	25.00	E	765.00	0.031
COMPO [®]	Hakaphos [®] Calcidic 20-8-11	25.00	CR	697.00	0.028
	Hakaphos [®] Base 7-12-40	25.00	L	726.00	0.029
	Poly-feed [®] GG 12-43-12+ME	25.00	E	602.00	0.024
Haifa [®]	Poly-feed [®] GG 20-9-20+ME	25.00	CR	524.00	0.021
	Poly-feed [®] GG 4-25-40+ME	25.00	L	604.00	0.024
	Plant Starter [®] 8-45-14	11.34	E	485.00	0.043
eveRRIS [®]	Peat-lite Special [®] 20-10-20	11.34	CR	471.00	0.042
	Conifer Finisher [®] 4-25-35	11.34	L	590.00	0.052

Donde: EA = etapa de aplicación en el desarrollo de la planta, E = establecimiento, CR = crecimiento rápido, L = lignificación o endurecimiento de la planta, COMPO[®] = BASF Aktiengesellschaft - Limburgerhof, Alemania, Haifa[®] = Haifa Chemicals Ltd. - Haifa, Israel, eveRRIS[®] = eveRRIS ILC Fertilizer Company, Dublin, OH, Estados Unidos.

Anexo 12. Proporción de insumos utilizados y costo por litro, para los sustratos utilizados en la producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb. en charolas con cavidades de 160 cm³.

Tipo	Costo por litro de insumo (\$)	Sustrato 1			Sustrato 2		
		%	cm ³	\$	%	cm ³	\$
APC	0.20	70	0.700	0.14			
CPC	0.90	15	0.150	0.14			
Perlita	0.85			0.00	20.00	0.200	0.17
Turba de musgo	1.33			0.00	60.00	0.600	0.80
Vermiculita	2.27	15	0.150	0.34	20.00	0.200	0.45
Total por litro (\$)				0.62			1.42

Donde: APC = aserrín de pino compostado, CPC = corteza de pino compostada, sustrato 1 = aserrín de pino compostado 70 %, corteza de pino compostada 15 % y vermiculita 15 %, Sustrato 2 = turba de musgo 60 %, perlita 20 % y vermiculita 20 %.

Anexo 13. Requerimiento de sustrato y costo por cavidad, para producir planta de *Pinus montezumae* Lamb. en charolas con cavidades de 160 cm³.

Sustrato	Volumen de la cavidad	Sustrato adicional	Total de sustrato	Costos (\$)	
				Por litro	Por cavidad
		cm ³			
S1	160	40	200	0.62	0.12
S2	160	40	200	1.42	0.28

Donde: S1 = aserrín de pino compostado 70 %, corteza de pino compostada 15 %, vermiculita 15 %, S2 = turba de musgo 60 %, perlita 20 %, vermiculita 20 %.

Anexo 14. Requerimiento de fertilizantes de liberación controlada y costo por cavidad, para los tratamientos que generaron planta de *Pinus montezumae* Lamb. producida en charolas con cavidades de 160 cm³, con estándares morfológicos apropiados para reforestación.

Tratamiento	Sustrato	Fertilizante y dosis		Costo de fertilizante (\$)		
		Marca comercial	g L ⁻¹	Por g	Por L	Por cavidad
T3	S1	Basacote [®] Plus	8	0.050	0.400	0.080
T6	S1	Multicote [®]	8	0.032	0.256	0.051
T9	S1	Osmocote [®] Plus	8	0.053	0.424	0.085
T12	S2	Basacote [®] Plus	8	0.050	0.400	0.080
T14	S2	Multicote [®]	6	0.032	0.192	0.038
T17	S2	Osmocote [®] Plus	6	0.053	0.318	0.064

Donde: S1 = aserrín de pino compostado 70 %, corteza de pino compostada 15 %, vermiculita 15 %, S2 = turba de musgo 60 %, perlita 20 %, vermiculita 20 %.

Anexo 15. Consumo estimado de fertilizantes hidrosolubles de la compañía COMPO[®], por planta de *P. montezumae* Lamb., a producir en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, con sustrato S1 (turba de musgo 60 %, vermiculita 20 % y perlita 20 %).

Consumo de agua	Período de crecimiento										
	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
	Fase de crecimiento de las plantas										
	G	E	Crecimiento rápido					Lignificación		Cosecha	
ACP	0.228	0.300	0.300	0.300	0.300	0.400	0.500	0.600	0.760	0.760	0.760
ATI	0.290	0.381	0.381	0.381	0.381	0.508	0.635	0.762	0.965	0.965	0.965
AIF	0.246	0.324	0.324	0.324	0.324	0.432	0.540	0.648	0.820	0.820	0.820

Consumo de fertilizante por etapa de desarrollo y costo por planta

Fertilizante	Hakaphos [®] Violeta 13-40-13		Hakaphos [®] Calcidic N-Max 20-8-11					Hakaphos [®] Base 7-12-40	
Dosis (mg L ⁻¹)	40	60	80	100	120	140	150	50	50
Dosis por L de agua	0.308	0.462	0.400	0.500	0.600	0.700	0.750	0.714	0.714
Consumo por mes (g)	0.100	0.149	0.130	0.162	0.259	0.378	0.486	0.586	0.586
Costo por g (\$)	0.031	0.031	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.029	0.029
Costo por mes (\$)	0.003	0.005	0.004	0.005	0.007	0.011	0.014	0.017	0.017

Costo por planta por ciclo de producción (\$) = **0.082**

Donde: G = germinación, E = establecimiento, ACP = agua consumida por las plantas, ATI = agua total irrigada, AIF = agua irrigada con fertilizante.

Anexo 16. Consumo estimado de fertilizantes hidrosolubles de la compañía Haifa[®], por planta de *P. montezumae* Lamb., a producir en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, con sustrato S1 (turba de musgo 60 %, vermiculita 20 % y perlita 20 %).

Consumo de agua	Período de crecimiento										
	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
	Fase de crecimiento de las plantas										
	G	E	Crecimiento rápido					Lignificación		Cosecha	
ACP	0.228	0.300	0.300	0.300	0.300	0.400	0.500	0.600	0.760	0.760	0.760
ATI	0.290	0.381	0.381	0.381	0.381	0.508	0.635	0.762	0.965	0.965	0.965
AIF	0.246	0.324	0.324	0.324	0.324	0.432	0.540	0.648	0.820	0.820	0.820

Consumo de fertilizante por etapa de desarrollo y costo por planta

Fertilizante	Poly-feed [®] 12-43-12 + ME		Poly-feed [®] GG 20-9-20 + ME					Poly-feed [®] GG 4-25-40 + ME	
Dosis (mg L ⁻¹)	40	60	80	100	120	140	150	50	50
Dosis por L de agua	0.333	0.500	0.400	0.500	0.600	0.700	0.750	1.250	1.250
Consumo por mes (g)	0.108	0.162	0.130	0.162	0.259	0.378	0.486	1.026	1.026
Costo por g (\$)	0.024	0.024	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.024	0.024
Costo por mes (\$)	0.003	0.004	0.003	0.003	0.005	0.008	0.010	0.025	0.025

Costo por planta por ciclo de producción (\$) = **0.085**

Donde: G = germinación, E = establecimiento, ACP = agua consumida por las plantas, ATI = agua total irrigada, AIF = agua irrigada con fertilizante.

Anexo 17. Consumo estimado de fertilizantes hidrosolubles de la compañía eveRRIS[®], por planta de *P. montezumae* Lamb., a producir en charolas de poliestireno con cavidades de 160 cm³, con sustrato S1 (turba de musgo 60 %, vermiculita 20 % y perlita 20 %).

Consumo de agua	Período de crecimiento										
	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
	Fase de crecimiento de las plantas										
	G	E	Crecimiento rápido					Lignificación		Cosecha	
ACP	0.228	0.300	0.300	0.300	0.300	0.400	0.500	0.600	0.760	0.760	0.760
ATI	0.290	0.381	0.381	0.381	0.381	0.508	0.635	0.762	0.965	0.965	0.965
AIF	0.246	0.324	0.324	0.324	0.324	0.432	0.540	0.648	0.820	0.820	0.820

Consumo de fertilizante por etapa de desarrollo y costo por planta

Fertilizante	Plant Starter [®] 8-45-14		Peat-lite Special [®] 20-10-20					Conifer Finisher [®] 4-25-35	
Dosis (mg L ⁻¹)	40	60	80	100	120	140	150	50	50
Dosis por L de agua	0.500	0.750	0.400	0.500	0.600	0.700	0.750	1.250	1.250
Consumo por mes (g)	0.162	0.243	0.130	0.162	0.259	0.378	0.486	1.026	1.026
Costo por g (\$)	0.043	0.043	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.052	0.052
Costo por mes (\$)	0.007	0.010	0.005	0.007	0.011	0.016	0.020	0.053	0.053

Costo por planta por ciclo de producción (\$) = **0.183**

Donde: G = germinación, E = establecimiento, ACP = agua consumida por las plantas, ATI = agua total irrigada, AIF = agua irrigada con fertilizante.

Anexo 18. Costo de consumo y aplicación de fertilizantes hidrosolubles por planta de *Pinus montezumae* Lamb., producida en charolas con cavidades de 160 cm³, con tres grupos de fertilizantes comerciales.

Fertilizantes			Consumo en Sustrato 1		Consumo en Sustrato 2	
Denominación comercial	EA	Costo por g (\$)	g	\$	g	\$
Hakaphos [®] Violeta 13-40-13	E	0.031	0.249	0.008	0.249	0.008
Hakaphos [®] Calcidic 20-8-11	D	0.028	1.414	0.040	1.414	0.040
Hakaphos [®] Base 7-12-40	L	0.029	1.172	0.034	1.172	0.034
Total de FHS			2.835	0.082	2.835	0.082
Basacote [®] Plus 9M 16-8-12+M.E	PS	0.050	2.000	0.100		
Total de Fertilizantes			4.835	0.182	2.835	0.082
Costo de aplicación				0.010		0.010
Costo total				0.192		0.092
Poly-feed [®] GG 12-43-12+ME	E	0.024	0.270	0.006	0.270	0.006
Poly-feed [®] GG 20-9-20+ME	D	0.021	1.414	0.030	1.414	0.030
Poly-feed [®] GG 4-25-40+ME	L	0.024	2.051	0.049	2.051	0.049
Total de FHS			3.735	0.085	3.735	0.085
Multicote [®] (8) 18-6-12+2Mg+M.E.	PS	0.032	2.000	0.064		
Total de Fertilizantes			5.735	0.149	3.735	0.085
Costo de aplicación				0.010		0.010
Costo total				0.159		0.095
Plant Starter [®] 8-45-14	E	0.043	0.405	0.017	0.405	0.017
Peat-lite Special [®] 20-10-20	D	0.042	1.414	0.059	1.414	0.059
Conifer Finisher [®] 4-25-35	L	0.052	2.051	0.107	2.051	0.107
Total de FHS			3.870	0.183	3.870	0.183
Osmocote [®] Plus 8-9M 15-9-2+M.E	PS	0.053	2.000	0.106		
Total de fertilizantes			5.870	0.281	3.870	0.183
Costo de aplicación				0.010		0.010
Costo total				0.295		0.193

Donde: EA = etapa de aplicación, E = establecimiento; D = desarrollo, L = lignificación, PS = preparación del sustrato, FSH = fertilizantes hidrosolubles, Sustrato 1 = aserrín de pino compostado 70 %, corteza de pino compostada 15 %, vermiculita 15 %, Sustrato 2 = turba de musgo 60 %, perlita 20 %, vermiculita 20 %.