



Efecto de tres secuencias de dosis de fertilizante (N,P,K) en plántulas de dos especies de pinos
piñoneros en condiciones de invernadero

POR

ALEJANDRO GONZALEZ LOPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para

Obtener el título de:

Ingeniero Forestal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Junio de 2001

piñoneros en condiciones de invernadero.

Por:

ALEJANDRO GONZALEZ LOPEZ

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado examinador como un requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Forestal

APROBADA

Dr. Miguel Angel Capó Arteaga
Presidente del jurado

M.C. Salvador Valencia Manzo

Vocal

Ing. Sergio Braham Sabag

Vocal

M.C. Reynaldo Alonso Velasco
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Junio de 2000.

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUCCION..... | 1 |
| 1.1 Objetivos..... | 2 |
| 1.2 Hipótesis..... | 2 |
| 2 REVISION DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 Conceptos generales..... | 3 |
| 2.1.1 Calidad de planta..... | 3 |
| 2.1.2 Invernadero..... | 3 |
| 2.1.3 Lignificación de la planta..... | 3 |
| 2.2 <i>Pinus cembroides</i> | 4 |
| 2.2.1 Morfología..... | 4 |
| 2.2.2 Condiciones ecológicas | 4 |
| 2.2.3 Distribución geográfica..... | 5 |
| 2.2.4 Importancia..... | 5 |
| 2.3 <i>Pinus nelsonii</i> | 5 |
| 2.3.1 Morfología | 5 |
| 2.3.2 Condiciones ecológicas..... | 6 |
| 2.3.3 Distribución geográfica..... | 6 |
| 2.3.4 Status de la especie..... | 7 |
| 2.3.5 Importancia..... | 7 |
| 2.4 Sustratos | 7 |
| 2.4.1 Peat-moss o turba..... | 8 |
| 2.4.2 Perlita..... | 8 |
| 2.4.3 Vermiculita..... | 9 |
| 2.4.4 Bagazo de caña..... | 9 |
| 2.4.5 Cáscara de arroz..... | 10 |
| 2.4.6 Productos derivados de la madera..... | 10 |
| 2.5 Fertilizantes más importantes..... | 10 |
| 2.5.1 Primarios..... | 11 |
| 2.5.2 Secundarios..... | 13 |
| 2.5.3 Micronutritivos..... | 14 |
| 3 MATERIALES Y METODOS..... | 17 |

| | |
|--|----|
| 3.2.4 Peso verde..... | 21 |
| 3.2.5 Peso seco aéreo y de raíz..... | 21 |
| 3.3 Diseño experimental | 22 |
| 3.3.1 Análisis estadístico utilizado | 22 |
| 4 RESULTADOS Y DISCUSION..... | 24 |
| 4.1 <i>Pinus cembroides</i> | 24 |
| 4.1.1 Altura..... | 24 |
| 4.2 <i>Pinus nelsonii</i> | 27 |
| 4.2.1 Longitud de la raíz | 27 |
| 5 CONCLUSIONES..... | 31 |
| 6 RECOMENDACIONES..... | 32 |
| LITERATURA CITADA..... | 33 |
| APENDICE..... | 36 |

INDICE DE CUADROS

| | página |
|---|--------|
| 1. Dosis de fertilizantes utilizadas en el experimento para la aplicación de los elementos mayores de fertilizante y la duración de cada dosis..... | 19 |
| 2. Contenido de micronutrientes del producto micromax, aplicado en el experimento..... | 19 |

INDICE DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| 1. Altura aérea de 9 tratamientos de fertilización en vivero de <i>Pinus cembroides</i> | 25 |
| 2. Tendencia de los tratamientos que no presentaron diferencias estadísticas, mostrando únicamente la tercera evaluación de cada variable de <i>Pinus cembroides</i> | 26 |
| 3. Altura aérea de 9 tratamientos de fertilización en vivero de <i>Pinus nelsonii</i> | 28 |
| 3 Tendencia de los tratamientos que no presentaron diferencias estadísticas, mostrando únicamente la tercera evaluación de cada variable de <i>Pinus cembroides</i> | 30 |

raramente se realizan investigaciones para determinar la dosis de fertilizante más adecuada para cada especie, y por tanto carecen de información confiable para un adecuado manejo de fertilizantes en el vivero. Es por ello que se llevó a cabo un experimento donde se probaron 9 secuencias de dosis de fertilizantes, en cuatro fases, con la finalidad de producir en invernadero planta de *Pinus cembroides* Zucc, y *Pinus nelsonii* Shaw. El experimento se realizó en el invernadero del Departamento Forestal ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Se usó un arreglo experimental completamente al azar con tres repeticiones, 54 unidades experimentales, cada unidad experimental contenía 14 plantas. Los sustratos que se utilizaron fueron 2 partes de peat-moss y 1 de perlita, en todas las unidades experimentales. Las variables evaluadas fueron: altura aérea de la planta, longitud de la raíz, diámetro del cuello, peso verde aéreo, peso seco aéreo y el peso seco de la raíz.

Los resultados indicaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para las variables: altura de la parte aérea para el *Pinus cembroides* y longitud de la raíz para *Pinus nelsonii* causado por la combinación de los tres fertilizantes usados durante el experimento. Los tratamientos que dieron resultados significativos fueron el tratamiento 1 sobre *P. cembroides* en la altura aérea y el 7 sobre el *P. nelsonii* en la longitud de la raíz, los cuales consistieron en las siguientes dosis de fertilizantes expresadas en ppm. Tratamiento 1 : durante 4 semanas se aplicaron en partes por millón 2.8 de $\text{NH}_4 \text{NO}_3$, 4 de H_3PO_4 , 6.6 de K_2SO_4 . En las siguientes 8 semanas 9.8 de $\text{NH}_4 \text{NO}_3$, 4 de H_3PO_4 , 6.6 de K_2SO_4 . En las siguientes 12 semanas 15.4 de $\text{NH}_4 \text{NO}_3$, 4 de H_3PO_4 , 6.6 de K_2SO_4 . Y posteriormente en las 4 semanas que fue el periodo de castigo se volvió aplicar la primera dosis.

de aplicación.

año se deforestan alrededor de 212 mil hectáreas por diversas causas. Por otro lado, las necesidades globales de reforestación con propósito de protección y restauración forestal ascienden a 3.5 millones de hectáreas; y a finales del sexenio pasado la relación de hectáreas deforestadas contra reforestadas tenía una relación de 1.9 por 1 (Cano, 1994).

En vista de lo anterior se han realizado diversos esfuerzos de reforestación para evitar o reparar el deterioro del suelo, pero esto ha resultado con frecuencia en muchos fracasos. Causa importante de estos fracasos es la baja calidad en el estado físico y fisiológico de las plantas producidas en los viveros.

Existe una gran necesidad y preocupación en la mayoría de los Estados de la República Mexicana por producir plantas de buena calidad, en el menor tiempo y al menor costo posible. Para los viveristas esto es uno de los grandes problemas, ya que raramente se realizan investigaciones para determinar la dosis de fertilizantes más adecuada para cada especie.

Es por ello que se realizó el presente trabajo con el propósito de determinar la o las dosis más adecuada(s) de fertilizantes, y con ello tener bases para producir plantas de buena calidad, que reúnan las características morfológicas y fisiológicas apropiadas y tengan mayor probabilidad sobrevivir en el área en donde quedarán establecidas.

negro bajo condiciones de invernadero.

El objetivo específico es evaluar el efecto de 9 tratamientos de fertilización sobre la sobrevivencia y el crecimiento en altura, diámetro basal, longitud de la raíz, peso seco y peso verde de raíz y tallo, para cada una de las dos especies utilizadas.

1.2 Hipótesis

La hipótesis nula propuesta fue la siguiente:

Ho: No existen diferencias entre los tratamientos para sobrevivencia y las diferentes características morfológicas (altura aérea, longitud de la raíz, diámetro del cuello, peso verde y peso seco de la parte aérea y radicular de la planta) en cada una de las especies utilizadas.

La calidad de planta se puede definir como el conjunto de características morfológicas y fisiológicas de la misma, que permiten su óptimo establecimiento. De forma práctica ello equivale al logro de un fácil y rápido arraigo en campo (Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación s/a).

2.1.2 Invernadero

El invernadero es el hábitat más representativo de las condiciones de máxima protección, es una estructura concebida para que deje atravesar la radiación solar, sin alterar por ello su espectro y al mismo tiempo impedir la dispersión del calor hacia el exterior. De hecho es un actuador, si bien se regula con dificultad, su funcionamiento está determinado por las características estructurales, pero sobre todo, con el ambiente colindante; por lo que de vez en cuando es necesario elevar y bajar la temperatura, intensidad luminosa, la humedad relativa y el nivel de CO₂, o sustituir ampliación o reducción de la duración del día o la noche, los niveles de las variables ambientales espontáneas del invernadero con intervenciones capaces de adecuarlos a las exigencias específicas de las plantas en cultivo (Alpi y Tognoni,1999).

2.1.3 Lignificación de la planta

Al reducir la frecuencia de riegos se reduce el crecimiento del brote así como la producción de un follaje exuberante, y se produce la lignificación de la planta. Este acondicionamiento se hace necesario tanto en plantas cultivadas en recipientes como en aquellas que se cultivan a raíz desnuda (Alpi y Tognoni,1999).

generalmente bajo, de 4 a 15 m de altura, de 20 a 60 cm de diámetro a la altura de pecho, el tronco puede ser corto y de ramaje ralo, sobre todo en terrenos muy secos, la corteza es cenicienta, delgada, agrietada y dividida en placas cortas e irregulares; ramas ascendentes, irregularmente distribuidas formando una copa abierta, redondeada o piramidal en los árboles maduros, las ramas grandes comienzan desde poca altura y son extendidas, cubriendo con frecuencia el 70 a 90 % del fuste y formando una copa densa, redondeada o cónica. Hojas en fascículos generalmente de 3, a veces 4, tiesas erguidas y curvadas, de 2 a 5 cm de largo y de 0.8 a 1.2 cm de largo y de 3 a 6 cm de ancho cuando se abren, las ramillas son grisáceas y ásperas. Mostrando bien marcadas las huellas que dejan al caer, conos solitarios o en grupos de 2 a 5, lustrosos, de color café amarillento o café rojizos, madura a finales de otoño y en invierno; pedúnculo de 2 a 5 mm.

2.2.2 Condiciones ecológicas

Vive en áreas de clima templado seco o semiseco, en laderas o planicies entre los 1800-2000 metros de altitud; se asocia con frecuencia con *Quercus arizonica* Sarg, *Quercus eduardii* Trel, *Quercus emory* Torr, *Juniperus* spp o *Yuca* spp, formando bosques bajos y abiertos (García y González 1998).

Rzedowski (1978) señala que del lado de los climas semiáridos los pinares más típicos son los constituídos por las especies piñoneras; crecen frecuentemente en colindancia con los pastizales, matorrales xerófilos o encinares arbustivos. Ocupan casi siempre zonas de transición entre la vegetación xerófila de clima áridos y las boscosas de la montaña más húmedas; teniendo una precipitación media anual que oscila entre los 350 y 700 mm, esta especie tiene gran potencial adaptativo y

Martínez (1948), Zarzosa (1941) y García y González (1998) mencionan que el *Pinus cembroides* crece en pendientes secas y mesetas y se distribuye en los Estados Unidos en Arizona, Nuevo México Colorado, Utah y Texas. En México se distribuye en Chihuahua, Jalisco, Baja California, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Querétaro y Coahuila (Robert, 1977).

2.2.4 Importancia

La semilla (piñón) de esta especie es comestible, por lo cual se le da el nombre de “piñonero”. Por lo que destaca su importancia como árbol productor de semillas, debido a que proporciona poco más de 90% de la cosecha de piñones en la República Mexicana siguiéndole en importancia el *Pinus nelsonii* (Martínez, 1948; Eguiluz, 1971).

2.3 *Pinus nelsonii*

2.3.1 Morfología

Shaw (1909), Martínez (1948) y Perry (1998), describen a este piñonero como un árbol pequeño y ramudo de 5 a 10 metros de altura, con diámetro normal de fuste de 10 a 30 cm, de copa redondeada corteza gris y lisa, con ramas bajas, densamente colocadas, las ramas más bajas se doblan casi hasta el suelo, formando una copa redondeada; las ramas largas duras permanecen adheridas al largo tronco antes de la muerte. Cuando el árbol es joven tiene una forma piramidal; ramillas opuestas o verticiladas cenicientas y lisas, delgadas y flexibles, correosas, con las hojas erguidas y agrupadas en los extremos. Hojas en grupos de 3, por lo común unidas,

de ancho (abiertos), a veces algo resinosos, de color rojizo anaranjado. El pedúnculo es fuerte y encorvado de 3 a 5 cm, articulado en la base del cono, de modo que al caer éste, el pedúnculo permanece mucho tiempo en la ramilla. Semillas, sin ala, color moreno oscuro, con manchitas amarillentas o anaranjadas, con el extremo rojizo.

2.3.2 Condiciones ecológicas

Shaw (1909) y Perry (1998) lo describen como un pino típico de zonas áridas y semiáridas; de crecimiento lento y porte pequeño, casi arbustivo. Crece asociado con plantas típicas de zonas áridas, en San Luis Potosí, se asocia con *Yuca* spp, *Prosopis* spp, *Quercus* spp, en suelos calizos alrededor de los 1600 msnm. También se asocia con *Juniperus monosperma* var. *gracilis*, *Pinus pinceana* Gordon, matorral de *Dasyllirion* sp, *Agave* sp, y *Mimosa* spp, además de asociarse con el *Pinus cembroides*, *Pinus johannis* M-F Robert-Passini y *Juniperus* spp. El área donde se distribuye presenta una precipitación de 300 a 600 mm y altitudes de 2500 a 3000 metros. El clima es extremoso, con precipitación variable de 450 a 700 mm anuales, repartidos en los meses de junio a septiembre. Las temperaturas extremas descienden hasta -5°C y ascienden hasta 45°C , las medias oscilan alrededor de los 19°C aproximadamente. Los meses más calientes se registran en la primavera y parte del verano.

2.3.3 Distribución geográfica

Shaw (1909), Martínez (1948) y Perry (1998) mencionan que esta especie se concreta a franjas estrechas y manchones al Norte de la Sierra Madre Oriental. Se

Actualmente esta especie se encuentra en la categoría de “rara” de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, (INE, 1994) que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección.

2.3.5 Importancia

Eguiluz (1978) dice que el *Pinus nelsonii* común mente llamado “piñón prieto” es un gran productor de semilla comestible, sigue en importancia al *Pinus cembroides* con quien frecuentemente se encuentra asociado. Su madera se emplea para usos domésticos como la leña y el carbón, también se utiliza para la venta como árbol de ornato, árbol de navidad y para construcciones rurales. Es posible introducirlo para fines de reforestación en suelos degradados, por su adaptación a suelos sumamente pobres.

2.4 Sustratos

Se define como el soporte físico del cultivo y la protección para las raíces durante el crecimiento y durante el transporte a campo, e incluso en el instante mismo de la plantación. Debe permitir además que las raíces de la planta respiren y proporcionar el agua y los nutrientes que necesitan. Siempre debe de permitir la mejor formación posible de raíces (Montoya y Cámara, 1996).

formando estratos más o menos densos de materia orgánica, en los que se puede identificar los restos de las diferentes especies vegetales que las forman.

Por su parte, Resh (1982) menciona que la turba consiste en una vegetación acuática pantanosa o de ciénega, parcialmente descompuesta. Los diferentes depósitos de turba varían ampliamente dependiendo de la vegetación original, estado de descomposición, contenido mineral y grado de acidificación.

A su vez, Venator y Liegel (1985) señalan que el "musgo sphagnum" es el componente básico del material a utilizarse en los recipientes para el cultivo de las plántulas de especies forestales, hortícola y agrícolas. Por otra parte, el tipo de musgo sphagnum conocido como "moss", integrado de materiales descompuestos, no es adecuado para el medio de crecimiento en recipientes. Todas las turbas son pobres en minerales, requiriendo fertilizantes para mantener el crecimiento de las plántulas; la acidez final debe valorarse en pH de 5.5 a 6.0 para las plantas de pino, para mezclas de recipiente se utiliza hasta un 75% de turba; pero sólo alrededor de 50% es adecuado. Otros componentes que se combinan con la turba son vermiculita, perlita, gránulos de poliestireno y corteza descompuesta de árboles.

2.4.2 Perlita

Resh (1992) y Venator y Liegel (1985) indican que la perlita es un material de peso ligerísimo, usualmente de forma granular que se obtiene del calentamiento a 760°C, proceso que proporciona gránulos similares a esponjas. La perlita absorbe de 3 a 4 veces su peso de agua, con un pH de 6 a 8 sin amortiguamiento químico; no tiene capacidad de intercambio iónico y no contiene nutrimentos minerales. Es más

Venator y Liegel (1985) describen a la vermiculita como un elemento voluminoso que se utiliza en las mezclas para evitar que el medio de cultivo se sedimente y compacte, y para mantener buena aireación y drenaje. Es un material de silicato que es liviano, expansible, en forma de esquirlas. Después de ser extraído la vermiculita del lugar de origen, pasa por hornos y se somete a altísimas temperaturas que forjan la extracción del contenido de agua derivada químicamente, y hace que se separe en estratos o plaquitas. Este proceso da como resultado partículas estériles, porosas, similares a esponjas que se humedecen y secan rápidamente. Tiene una reacción neutral y gran capacidad de amortiguamiento, gran capacidad de intercambio catiónico y suficiente cantidad de Mg y K natural para satisfacer las necesidades de la mayoría de las plantas en la etapa de vivero.

2.4.4 Bagazo de caña

Venator y Liegel (1985) señalan que se obtiene después de refinar la caña de azúcar. Este material es abundante y relativamente barato en muchas áreas tropicales. Este bagazo absorbe fácilmente la humedad cuando está seco y su relación de volumen y peso es bajo. De los principales nutrientes de plantas, el bagazo es el más alto en fósforo; y el contenido de nitrógeno es más bajo. El contenido de calcio es alto, promediando en alrededor del 3 por ciento en forma de óxido de calcio; el magnesio y elementos menores tales como el hierro, y boro están presentes en cantidades suficientes para ser utilizadas por las plantas.

alrededor de 5.5 y son fáciles de obtener en los países productores de arroz. La cáscara de arroz puede utilizarse en compuestos y como medios de germinación en las bandejas de semillas. Las únicas inconveniencias de utilizar la cáscara es que a menudo tiene granos que germinan, además de unas cuantas moscas que viven en la mezcla, pero estas moscas no representan un problema para las plántulas; sus principales características son: bajo peso, dependiendo de los elementos utilizados; poca reducción en volumen; la buena retención de la humedad; fácilmente triturable y tamizado hasta conseguir uniformidad; no inmoviliza al nitrógeno u otros nutrientes; el pH puede controlarse mediante la selección apropiada de los materiales iniciales.

2.4.6 Productos derivados de la madera

Venator y Liegel (1985) dicen que el aserrín, la viruta y la corteza de árbol molida puede utilizarse en lugar de la turba *sphagnum* en las mezclas compuestas. Los productos derivados de la madera que mejores resultados dan son aquellos que han sido descompuestos, ya que los materiales frescos tienen altas equivalencias de C:N, de hasta 150:1, que inmovilizan el nitrógeno y tornan las plántulas cloróticas. Algunas cortezas frescas contienen químicos que son tóxicos para las plántulas. Las ventajas de los derivados de la madera en mezclas para recipientes incluyen el peso ligero y facilidad en el manejo cuando han sido molidos; un intercambio catiónico moderado, y cantidades pequeñas pero importantes de todos los elementos mayores y menores

2.5 Fertilizantes más importantes.

a) Nitrógeno

Tamhane *et al.* (1978), Tisdale y Nelson (1991) y Alpi y Tognoni (1999) mencionan que el nitrógeno es un constituyente esencial de todos los tejidos vegetales, ya que es un mineral absorbido por las plantas en mayor cantidad porque es el componente principal de las sustancias proteicas y desempeña un papel de máxima importancia en el desarrollo y funcionamiento del protoplasma en las estructuras vegetales, y además en la clorofila, los nucleótidos, fosfátidos y alcaloides, así como en muchas enzimas, hormonas y vitaminas. El nitrógeno hace a las plantas de color verde oscuro y más suculentas; también hace que las células sean más grandes con paredes celulares más delgadas. Además, fomenta el desarrollo vegetativo e impulsa la formación del follaje de buena calidad facilitando la producción de carbohidratos ayudando a la succulencia. La fertilización con nitrógeno incrementa la capacidad de intercambio de cationes de la raíz de la planta y, por consiguiente hace que sean más eficaces para la absorción de otros iones nutrientes. Así mismo, Tisdale y Nelson (1991) mencionan que existen datos evidentes indicando que la velocidad del desarrollo de las plantas depende más del nitrógeno que de ningún otro elemento.

Russell (1968) afirma que tan pronto el aporte de nitrógeno asciende en comparación con el de otros nutrientes, las proteínas producidas en exceso permiten a las hojas de la planta alcanzar un mayor tamaño, y con ello tener una mayor superficie asequible a los procesos de fotosíntesis.

b) Fósforo

importancia para el crecimiento de las plantas, como los ácidos nucleicos, las lecitinas, los nucleótidos con papel de factores enzimáticos, los fosfolípidos, además de estar comprendidos en la molécula de muchas otras sustancias como los fosfoglicidos, su función es fundamental en el metabolismo energético. También mencionan que encontraron que la asimilación del fósforo se favorece cuando hay un buen nivel de materia orgánica y de fósforo en el suelo. El efecto más evidente del fósforo se observa sobre el sistema de raíces de la planta; fomenta la formación de raíces laterales y fibrosas, lo que aumenta la superficie de absorción de nutrimentos. Además hace mayor la resistencia a las enfermedades de las plantas.

Tisdale y Nelson (1982) indican que el pH del suelo es uno de los factores que afecta la utilización del fósforo y de muchos otros elementos. En la mayoría de los suelos la disponibilidad del fósforo es máxima en un pH que oscila de 5.5 a 7, disminuyendo cuando el pH está por debajo de 5.5 y cuando es mayor de 7. La presencia de iones de calcio o magnesio deben acompañar a altos valores de pH si hay una continua disminución en la solubilidad del fósforo.

c) Potasio

Tamhane *et al.* (1978), Tisdale y Nelson (1991) y Alpi y Tognoni (1999) describen al potasio como un elemento mineral sumamente importante, ya que incrementa la eficacia de la hoja para elaborar azúcares y almidón. Ayuda a mantener la permeabilidad de la célula, ayuda al traslado del lugar de los carbohidratos y hace que el hierro sea más móvil en la planta. Aumenta la resistencia de las plantas a las enfermedades. Es un activador de muchas de las enzimas que activan los aminoácidos y la síntesis de las proteínas. Impulsa la división celular

Recientemente, el Potash Phosphate Institute of Canadá (1988) indicó que la alta movilidad del potasio permite que se traslade rápidamente de célula a célula o de tejido viejo a tejido nuevo en desarrollo, o a órganos de almacenamiento y que una cantidad inadecuada de potasio para cubrir todas las necesidades de las partes de la planta disminuye el crecimiento y pone al cultivo en condiciones indeseables, tales como incremento en enfermedades, rompimiento de tallo y susceptibilidad a otras condiciones de estrés.

2.5.2 Secundarios

Función de los elementos considerados como secundarios por las cantidades que usan las plantas son calcio, magnesio, azufre. Enseguida se describen sus principales funciones.

a) Calcio

Alpi y Tognoni (1999) mencionan que este elemento parece jugar un importante papel en la información de la paredes celulares ligando las sustancias pépticas de la pared primaria; además, parece que contribuye a las características de la permeabilidad de la membrana. A veces el calcio absorbido por las plantas se utiliza para neutralizar, en forma fisiológicamente inactiva, algunos ácidos orgánicos (por ejemplo ac. oxálico) que sin ello podría llegar ser tóxico. La absorción del calcio por parte de las plántulas depende sobre todo de la capacidad de cambio catiónico de las raíces. Cuando es elevada se produce una absorción excesiva de iones de Ca, lo que puede inhibir la absorción del Fe o del Mn.

del pigmento verde y para la fotosíntesis. Es también necesario para la formación de carotenoides y de otros pigmentos; realiza un papel fundamental en el metabolismo de las grasas y de los compuestos fosforados. Es activador de muchas reacciones enzimáticas. Tiene una gran movilidad en el interior de la planta, por lo que a diferencia del calcio, puede ser fácilmente trasladado de los tejidos más viejos a los más jóvenes.

c) Azufre

Alpi y Tognoni (1999) lo mencionan como el componente de algunos aminoácidos proteicos como la metionina y cisteína y, por lo tanto, presente en todos los centros activo de las llamadas enzimas; forma parte también de muchas otras moléculas relevante en el metabolismo celular, como de algunas vitaminas y la coenzima. En los vegetales se encuentra en cantidad notable y , en algunos casos, se pueden encontrar en cantidades iguales al fósforo asimilado o mayores. Se absorbe por las raíces como ion sulfato (SO_4) pero parece que también puede ser absorbido en pequeña cantidad por las hojas como ion sulfito (SO_2) generado a veces por la actividad industrial.

2.5.3 Micronutritivos

Función de los elementos considerados como micronutritivos por las cantidades que usan las plantas son hierro, zinc, cobre, boro, manganeso, molibdeno y cloro. Enseguida se describen sus principales funciones.

la síntesis de la clorofila. Como constituyente de las proteínas hémicas es fundamental en los sitios activos de dichas enzimas.

b) Zinc

Alpi y Tognoni (1999) indican que interviene en las síntesis de la auxinas y como tal puede tener un papel en los procesos de crecimiento. Además forma parte de las moléculas y activa importantes enzimas, con un mecanismo no conocido.

c) Cobre

Alpi y Tognoni (1999) mencionan que es un constituyente esencial de algunas enzimas, entre las que se encuentran algunas de la cadena respiratoria y de la cadena de transporte de electrones de la fotosíntesis.

d) Boro

Alpi y Tognoni (1999) dicen que el mecanismo de su acción es todavía desconocido, es cierto que aun en pequeña cantidad, resulta fisiológicamente necesario. Es un elemento muy móvil en las raíces pretende a ser inmovilizado en las hojas. Las plantas pueden absorber del suelo el boro como aniones bóricos y a pesar de que en los suelos de constitución normal y bien provistos de materia orgánica no suelen presentarse carencias, si pueden aparecer en terrenos sueltos, pobres de coloides y en calcio. Además también pueden producirse carencias de boro en suelos muy ricos en calcio debido a la formación de compuestos bóricos poco

Alpi y Tognoni (1999) mencionan que este elemento realiza varias funciones activantes en las reacciones enzimáticas de varios procesos como: respiración, metabolismo del nitrógeno y fotosíntesis. El manganeso es absorbido por los vegetales como ion bivalente, por lo que todas las condiciones que favorezcan el paso de este elemento del estado manganeso al mangánico determinan la aparición de carencias.

f) Molibdeno

Alpi y Tognoni (1999) señalan que las plantas con carencia de molibdeno contiene un exceso de nitratos, se supone que también este elemento sea el encargado de la reducción de los nitratos en iones amonio. En las leguminosas, su carencia puede producir una reducción de la fijación del nitrógeno atmosférico por parte de las bacterias simbiotas.

g) Cloro

Alpi y Tognoni (1999) mencionan que su descubrimiento como elemento esencial para la vida de las plantas es relativamente reciente y su papel está ligado al proceso de la fotosíntesis según un mecanismo que aun falta por definir. Está presente en las plantas en dosis variables según la riqueza del terreno. Es muy móvil en los tejidos y emigra con mucha facilidad hacia las partes en plena actividad fisiológica; un exceso de cloro puede inhibir la absorción del potasio.

101° 00' de longitud Oeste, con una altitud de 1742 msnm (CETENAL,1975).

3.1 Trabajo de invernadero

Para poder establecer el experimento se preparó el sustrato lo cual consistió en revolver manualmente, dos partes de peat-moss y una de perlita, para que quedaran bien mezcladas, y después en forma manual llenar las bolsas de polietileno negro que tenía las medidas de 20x11 cm, a las cuales tenían un volumen de 1250 cm³. Las bolsas con las que se trabajaron fueron colocadas en grupos de 14 en cajas de madera tipo rejas para frutas.

Hechas las labores anteriores el experimento se estableció el 25 de junio de 1999. Se inició al momento en que se sembró en los recipientes, para lo cual se depositaron 2 semillas por envase con una profundidad aproximada de el doble del tamaño de la semilla; inmediatamente se iniciaron los riegos con agua destilada durante dos meses y medio (la cual tenía un pH de 5) para que la semilla pudiera emerger, además de tener una humedad adecuada y uniforme.

Cabe mencionar que durante el experimento el invernadero tenía una temperatura de 23°C para el día y de 27°C para la noche.

3.1.1 Preparación y aplicación de la dosis de fertilizante

Para poder realizar la actividad de aplicación de fertilizantes se prepararon las dosis de fertilizante expresadas en partes por millón para lo cual los fertilizantes que se utilizaron como fuente fueron: Para el nitrógeno se empleó nitrato de amonio (NH₄

medio de haber sembrado la semilla, esto es, en agosto de 1999, cuando los tallos de las plantas alcanzaron un estado de lignificación.

Para llevar a cabo esta actividad, los pasos que se siguieron fueron: a) se acarrea agua destilada de la planta purificadora al invernadero en 9 garrafones de 21 litros cada uno; b) a cada garrafón se le agregaban los fertilizantes con la ayuda de tres pipetas, una para cada fertilizante, las cuales servían para medir la solución a mezclar, las cantidades se muestran en el Cuadro 1; c) Una vez hecha la combinación se procedió a aplicar 250 ml de la solución a cada planta de los diferentes tratamientos, medida con un vaso de precipitado; ésto con el fin de que cada planta recibiera la misma cantidad de agua y de fertilizante con una frecuencia de una vez a la semana.

También se realizó un aplicación de micronutrientes. El producto que se aplicó fue el denominado Micromax, el cual fue de 202.5 gramos que se disolvía en agua en un garrafón de 21 litros, y se aplicó a cada planta 30.86 ml con ayuda de una jeringa (Cuadro 2).

3.1.2 Mediciones

Las mediciones se realizaron de acuerdo con las variables a evaluar que se propusieron en un principio los cuales fueron: altura de la parte aérea, diámetro del cuello, peso verde, peso seco y longitud de la raíz. La primera evaluación se realizó en septiembre de 1999; la segunda evaluación a finales de noviembre de 1999; la tercera se realizó a mediados de abril de 2000; y la cuarta evaluación en agosto de 2000. Cabe mencionar que las primeras 3 evaluaciones realizadas se hicieron una

| Trat | 1 Dosis | | | Semanas | 2 dosis | | | Semanas | 3 dosis | | | Semanas | 4 dosis | | | Semanas |
|------|---------|----|------|---------|---------|----|------|---------|---------|----|------|---------|---------|----|------|---------|
| | N | P | K | | N | P | K | | N | P | K | | N | P | K | |
| 1 | 2.8 | 4 | 6.6 | 4 | 9.8 | 4 | 6.6 | 8 | 15.4 | 4 | 6.6 | 12 | 2.8 | 4 | 6.6 | 4 |
| 2 | 2.8 | 6 | 13.2 | 4 | 9.8 | 6 | 13.2 | 8 | 15.4 | 6 | 13.2 | 12 | 2.8 | 6 | 13.2 | 4 |
| 3 | 2.8 | 8 | 20 | 4 | 9.8 | 8 | 20 | 8 | 15.4 | 8 | 20 | 12 | 2.8 | 8 | 20 | 4 |
| 4 | 2.8 | 10 | 6.6 | 4 | 9.8 | 10 | 6.6 | 8 | 15.4 | 10 | 6.6 | 12 | 2.8 | 10 | 6.6 | 4 |
| 5 | 2.8 | 12 | 13.2 | 4 | 9.8 | 12 | 13.2 | 8 | 15.4 | 12 | 13.2 | 12 | 2.8 | 12 | 13.2 | 4 |
| 6 | 2.8 | 14 | 20 | 4 | 9.8 | 14 | 20 | 8 | 15.4 | 14 | 20 | 12 | 2.8 | 14 | 20 | 4 |
| 7 | 2.8 | 16 | 6.6 | 4 | 9.8 | 16 | 6.6 | 8 | 15.4 | 16 | 6.6 | 12 | 2.8 | 16 | 6.6 | 4 |
| 8 | 2.8 | 18 | 13.2 | 4 | 9.8 | 18 | 13.2 | 8 | 15.4 | 18 | 13.2 | 12 | 2.8 | 18 | 13.2 | 4 |
| 9 | 2.8 | 20 | 20 | 4 | 9.8 | 20 | 20 | 8 | 15.4 | 20 | 20 | 12 | 2.8 | 20 | 20 | 4 |

Cuadro 2, contenido de micronutrientes del producto micromax aplicado a todas las plantas que recibían fertilizantes durante el experimento

| Elemento | Porcentaje |
|------------------------|------------|
| Azufre (S) (combinado) | 12% |
| Boro (B) | 0.1% |
| Cobre (Cu) | 0.5% |
| Fierro (Fe) | 12% |
| Manganeso (Mn) (Total) | 2.5% |
| Soluble en agua | |
| Molibdeno (Mo) | 0.05% |
| Zinc (Zn) | 1.0% |

adherido se le quitó con agua a presión, poniendo la planta sobre un harnero o criba.

Una vez que las raíces estaban limpias se midió la longitud de la raíz y la altura de la planta, las bolsas de hule en las que se colocaron las plantas fueron etiquetadas con una clave de especie, tratamiento, repetición y número de planta.

La cuarta evaluación, se hizo considerando únicamente la altura aérea de las plantas. Las mediciones que se realizaron fueron hechas a todas las plantas que en ese momento quedaron en las cajas incluyendo todas las plantas del testigo de las 2 especies de *Pinus*. Es decir, 12 plantas en cada unidad experimental para el testigo y 8 plantas para los que recibían fertilizantes.

3.2 Variables a evaluar

3.2.1 Altura

La altura se midió con ayuda de una regla graduada en centímetros, realizando la medición desde el cuello de la planta, hasta la acícula más alta, se realizaron 4 mediciones, en las cuales fueron extraídas 2 plantas de cada unidad experimental.

3.2.2 Longitud de raíz

La longitud de la raíz se midió con una regla graduada en centímetros, partiendo del cuello de la planta hasta la raíz más larga para esta actividad se realizaron 3 mediciones. La primera evaluación se realizó en septiembre de 1999; la

El diámetro se midió en milímetros con un vernier al ras del suelo; se hizo una sola medición a mediados de abril de 2000.

3.2.4 Peso verde

La planta en verde se pesó en gramos con una báscula eléctrica con una precisión de centésimas de gramos. Para ello, se cortó en dos la planta a nivel del cuello con ayuda de unas tijeras, para pesar por separado la parte aérea y la raíz, hecho lo anterior se introdujeron las partes en bolsas de plástico debidamente etiquetadas para posteriormente colocarlas en una hielera para que la planta no fuera a perder humedad al momento de transportarlas para pesarlas. Se realizaron 3 mediciones en las primeras fechas de evaluación.

3.2.5 Peso seco aéreo y de raíz

Una vez pesada en verde las plantas, éstas se colocaron en una estufa de secado a una temperatura de 50°C durante 48 horas, transcurrido ese tiempo se procedió a sacar de la estufa de secado las bolsas de plástico, debidamente etiquetadas las cuales fueron transportadas del invernadero al Laboratorio de Fisiología en donde fueron pesadas las dos partes de la planta en una báscula eléctrica con una precisión de centésimas de gramos. Se realizaron 3 mediciones en las primeras fechas antes mencionadas.

utilizaron 2 plantas por repetición para realizar cada medición.

El modelo estadístico que se utilizó fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, 3, 4, 5 \dots 9$ tratamientos.

$J = 1, 2$ (plantas)

Donde:

Y_{ij} = Valor observado en las diferentes variables.

μ = Efecto de la media poblacional.

T_i = Efecto verdadero del i -ésimo tratamiento.

ϵ_{ij} = Error experimental (efecto del i -ésimo tratamiento, en la j -ésima repetición).

3.3.1 Análisis estadístico utilizado

El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete SAS (Statistical Analysis System) en el cual se obtuvieron los análisis de varianza para cada variable de cada especie, cuando los análisis de varianza mostraron diferencia significativas ($P=0.05$)

significancia ($P \geq 0.05$). En todas las figuras se incluyen los valores de un lote de plantas que no recibió fertilización y que se usa como un “testigo” para enfatizar la importancia del uso de fertilizantes, pero que no se usó en el análisis de varianza por no tener repeticiones.

4.1 *Pinus cembroides*

4.1.1 Altura

El análisis de varianza (apéndice) determinó que sí hay diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la altura, en la cuarta y última evaluación. En la Figura 1 se muestran las medias de los tratamientos para la altura de la parte aérea.

En esta figura se muestra la altura total alcanzada por las plantas en la última evaluación, donde se encontró que el tratamiento en el que las plantas crecieron más fue el 1 con 15.35 cm, y los que dieron diferencias estadísticas además de que crecieron menos fueron los tratamientos 2, 3, 4 y 8 con 13.39 cm, 13.80 cm, 14.01 cm y 14.04 cm, respectivamente.

El efecto de mayor crecimiento aéreo causado por el tratamiento 1 con respecto al 2, 3, 4 y 8 podría ser atribuido a que durante las 28 semanas que duró el experimento la proporción de nitrógeno fue mayor con respecto al fósforo y al potasio, produciendo un adecuado equilibrio entre dichos nutrientes. Como soporte para este argumento está el hecho de que en cuanto a la longitud de la raíz, también el tratamiento 1 sea el mayor y los tratamientos 2, 3, 4 y 8 están entre los menores (Figura 2), aún cuando no hay diferencias estadísticas en esta última variable.

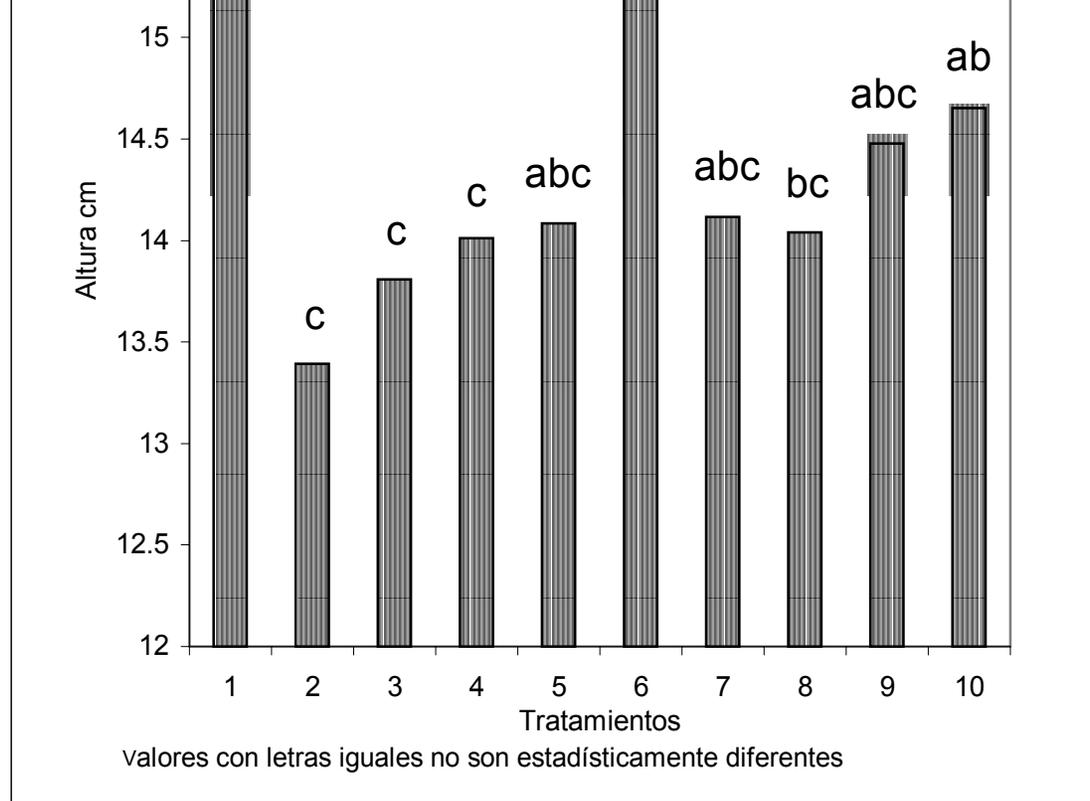
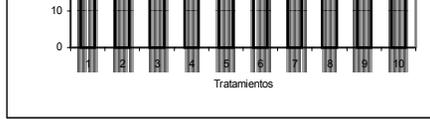
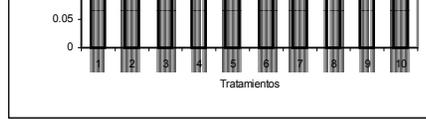


Figura 1. Altura aérea de 9 tratamientos de fertilización en vivero de *Pinus cembroides*

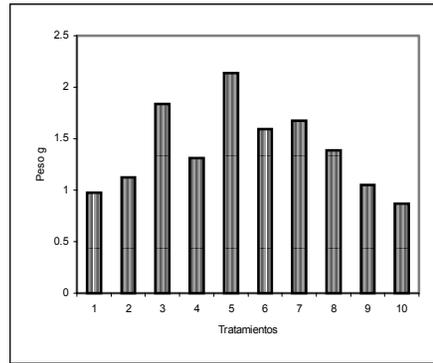
En la Figura 2 se puede observar las variables que no presentaron diferencias estadísticas mostrando únicamente la tercera evaluación.



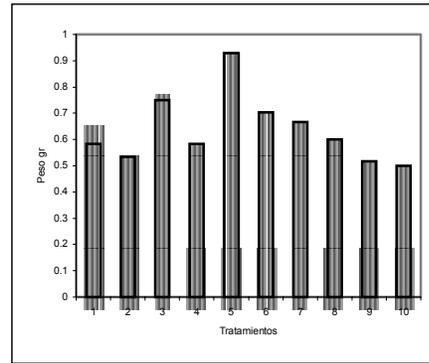
a) Longitud de la raíz.



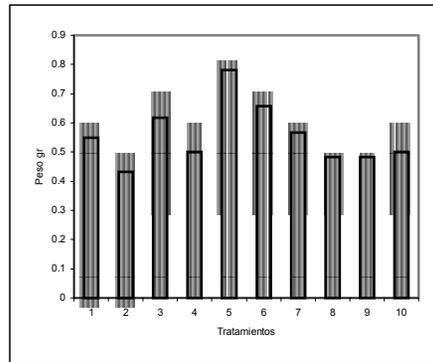
b) Diámetro de cuello.



c) Peso verde aéreo.



D) Peso seco aéreo.



e) Peso seco de la raíz.

Figura 2. Tendencia de los tratamientos que no presentaron diferencias estadísticas, mostrando únicamente la tercera evaluación de cada variable de *Pinus cembroides*.

verde aéreo, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz.

La falta de significancia entre tratamientos con respecto a las variables longitud de la raíz, diámetro del cuello, peso verde aéreo, peso seco aéreo y peso seco de la raíz para *Pinus cembroides* podría atribuirse a:

- a) El reducido número de plantas utilizadas en cada unidad experimental
- b) La no inclusión de un testigo sin fertilizante.
- c) Que las mencionadas variables son menos sensibles al efecto de los tratamientos en el período en que se realizó este experimento.
- d) Que las cantidades de fertilizantes aplicadas no fueron suficientes para producir diferencias en las variables mencionadas.
- e) Que la semilla que se utilizó, fue la denominada agranel, lo que pudo ocasionar que las plantas tuvieran amplias diferencias genéticas en su desarrollo.

4.2 *Pinus nelsonii*

4.2.1 Longitud de la raíz

El análisis de varianza (apéndice) determinó que sí hay diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a longitud de la raíz del *Pinus nelsonii* en la segunda evaluación ($P \geq 0.052$) En la Figura 3 se muestran las medias de los tratamientos en cuanto a longitud de la raíz de la segunda evaluación.

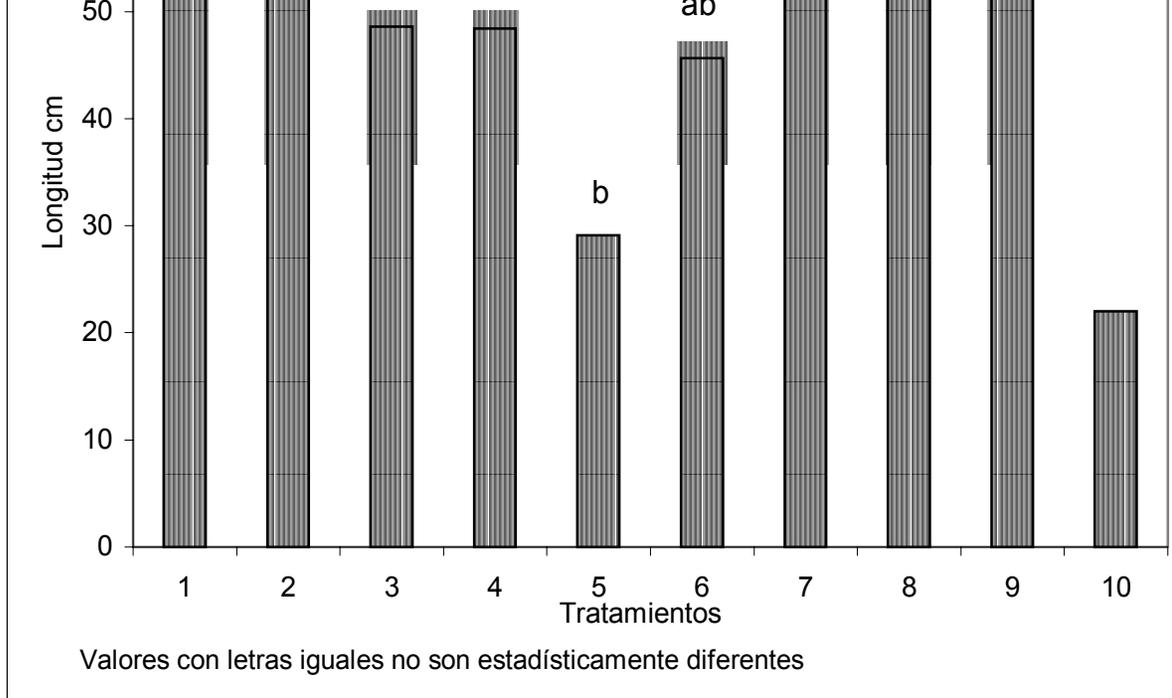


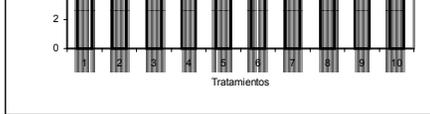
Figura 3. Longitud de la raíz de nueve tratamientos de fertilización en vivero de *Pinus nelsonii*.

En esta figura se puede observar que en la segunda evaluación el tratamiento que presentó mayor longitud es el 7 con 63.16 cm, y el que desarrolló menos además de ser estadísticamente diferentes al 7 fue el 5 con 29.08 cm.

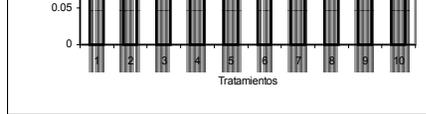
Esta diferencia podría explicarse por la mayor cantidad de fósforo recibida por las plantas del tratamiento 7 en relación al tratamiento 5 puesto que Alpi y Tognoni (1999), Fuentes (1994) y Tamhane *et al.* (1978) indican que el efecto más evidente del fósforo se observa sobre el sistema de raíces de la planta; fomenta la formación de raíces laterales y fibrosas, lo que aumenta la superficie de absorción de nutrimentos.

se probaron 20 sustratos combinados con nueve rutinas de fertilización, para determinar las mejores combinaciones con la finalidad de producir planta de *Pinus duranguensis* Mtz en invernadero. En su experimento se suministraron 2.6 ml de fertilizante con 50 ppm de N, 100 ppm de P y 100 ppm de K en la etapa establecimiento cada semana. Así como 2.6 ml de fertilización con 150 ppm de N, 60 ppm de P y 150 ppm de K, durante la fase crecimiento rápido cada semana. Por ultimo 2.6 ml de fertilizante con 50 ppm de N, 60 ppm de P y 150 ppm de K por semana por planta durante la fase llamada de templamiento. Los tratamientos que produjeron las mejores características de altura y biomasa en las plantas se enlistan en seguida, con sustratos que contenían rangos de: a) 40% a 80% de corteza molida de pino; b) 20% a 50% de vermiculita; c) 20% a 40% de germinaza y d) 20 % de perlita. Los cuales alcanzaron una altura de 14.22 cm; y de biomasa 4.16 g.

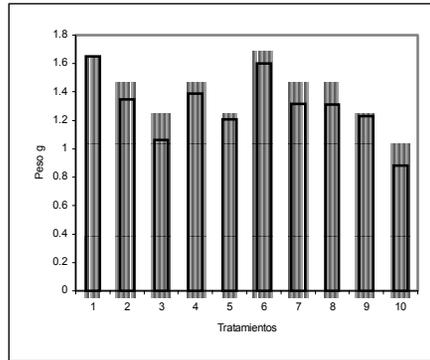
Los resultados que se presentaron anteriormente obtuvieron alturas inferiores a los resultados del presente trabajo con respecto a el tratamiento 6 del *Pinus cembroides* que alcanzó una altura de 14.5 cm en 7 meses en la tercera medición. Y en la cuarta medición que se realizó a los 12 meses se pudo observar que se encontraron plantas de hasta 15.35 cm de altura del *Pinus cembroides* con el tratamiento 1.



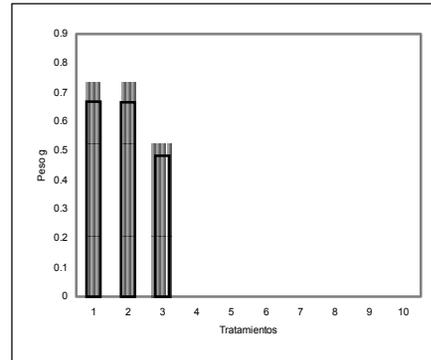
a) Altura.



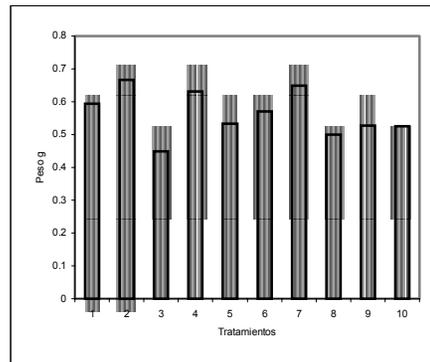
b) Diámetro del cuello.



c) Peso verde aéreo



d) Peso seco aéreo.



e) Peso seco de la raíz.

Figura 4. Tendencia de los tratamientos que no presentaron diferencias estadísticas, mostrando únicamente la tercera evaluación de cada variable de *Pinus nelsonii*.

diferencias para la variable altura de la planta alcanzando su mayor desarrollo con el tratamiento 1 con 15.35 cm de altura.

b) Se encontraron diferencias significativas únicamente en la segunda evaluación en la variable longitud de la raíz para *Pinus nelsonii*, alcanzando una longitud de 63.16 cm con el tratamiento 7.

realizar la mediciones destructivas.

b) Es recomendable experimentar con diferencias mayores en dosis de fertilizante de las que se estaban aplicando en este trabajo, para establecer diferencias más claras en las variables evaluadas.

c) Al establecer algún experimento de este tipo debe de realizarse también un análisis económico, para determinar si es económicamente costeable realizar esta fertilización.

d) También se recomienda darle seguimiento a este trabajo para saber la respuestas que pueden tener las plantas más adelante al quedar establecidas en campo.

e) Por último deben de incluirse los testigos sin fertilizar, para poder comparar los demás tratamientos con el testigo, que representa una práctica tradicional.

España.

Alarcón, B. M. e Iglesias G. 1992. Influencia del sustrato y la fertilización sobre el desarrollo del *Pinus duranguensis* Mtz en invernadero. Ciencia Forestal. 17:71- 157.

Alpi, A. y F, Tognoni. 1999. Cultivo en invernadero. Tercera Edición, Ediciones Mundi-Prensa, España. 345 p.

Carbonero, Z. P. 1985. Química del suelo y los fertilizantes. Quinta Edición. Monografía de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica, Madrid, España. 61 p.

Cano, P. A. 1994. La planta de calidad aumenta el éxito de reforestación. Edición Organo Oficial de Información de la fundación Produce-Coahuila, A.C. Coahuila México 8 p.

CETENAL, 1975. Carta Topográfica Saltillo. G 14. Escala 1:50,000 México.

Eguiluz P; T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. UACH. Tesis profesional. Chapingo, México 623 p.

Fuentes, J. L.1994. El Suelo y los fertilizantes. Cuarta Edición Ediciones Mundi-Prensa. Edición. Madrid, España. 149 p.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (s/a). Manual de Forestación de Tierras Agrícolas. Ediciones Doce Calles S.L. Jamara Madrid. 317 p.

Montoya, O.J. y O. Cámara M. 1996. La planta y el vivero forestal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid 127 p.

INE, 1994. Norma Oficial Mexicana -059 que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. Diario Oficial de la Federación.1993. SEMARNAT, México.

Perry P., J. 1998. The pines of México and Central América. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.

Potash Phosphate Institute (PPI). 1988. Manual de fertilidad de los suelos. Narcross,. Georgia U.S.A. 452 p.

Resh, H. M. 1982. Cultivo hidropónico, nuevas técnicas de producción. Segunda Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 232-238.

Rober P. M. 1971. Notas sobre el estudio ecológico fitogeográfico de los bosques del. *Pinus cembroides* zucc en México. Rev. Ciencia Forestal 2:10-113 México.

- Russell R., S. 1968. Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas. Cuarta Edición. Editorial Aguilar. Madrid, España. 766 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432 p
- Shaw, G.R. 1909. The pines of México. Arn. Arb 1:1-29 U.S.A. 254 p.
- Tamhane, R. V., D.P Motiramani, Y. P Bali y R.L, Donahue 1978 Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales, Editorial Diana. México. 461 p.
- Tisdale, S. L. y W. Nelson L.1995. Soil fertility and fertilizers. Macmillian, New York. 624 p.
- Tisdale, S. L. y W. Nelson L.1982. Fertilidad de suelos y fertilizantes, UTEHA. México. 147 p.
- Venator, C. y H. Liegel L. 1985. Manual de viveros mecanizados para plantas a raíz desnuda y sistema semimecanizado con recipientes menores a 130 cc. Ministro de Agricultura y ganadería. Programa Nacional Forestal. Quito Ecuador. 430 p.
- Zarzoza L. O. 1941. Botánica Forestal. UACH. México. 385 p.

| Fuente de Variación | Grados de libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado de la Media | Valor de F | Pr \geq F |
|---------------------|--------------------|-------------------|----------------------|------------|-------------|
| Tratamiento | 9 | 190.70 | 26.76 | 5.92 | 0.0001 |
| Error | 203 | 709.55 | 9.73 | | |
| Total | 212 | 893.99 | | | |

| R-Cuadrada | C.V. (%) | Altura media |
|------------|----------|--------------|
| 0.20 | 24.88 | 13.74 |

Análisis de Varianza de las medias de la variable longitud de la raíz, de la evaluación 2, para *Pinus nelsonii*.

| Fuente de Variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado de la Media | Valor de F | Pr \geq F |
|---------------------|--------------------|-------------------|----------------------|------------|-------------|
| Tratamiento | 8 | 2435.89 | 304.48 | 2.48 | 0.0520 |
| Error | 18 | 2207.45 | 122.63 | | |
| Total | 26 | 4643.35 | | | |

| R-Cuadrada | C.V. (%) | Altura media |
|------------|----------|--------------|
| 0.52 | 21.68 | 51.07 |

| | | | | |
|----|-------|---|---|---|
| 10 | 14.65 | b | a | |
| 9 | 14.47 | b | a | c |
| 7 | 14.11 | b | a | c |
| 5 | 14.08 | b | a | c |
| 8 | 14.04 | b | | c |
| 4 | 14.01 | | | c |
| 3 | 13.80 | | | c |
| 2 | 13.39 | | | c |

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes

Comparación Tukey de medias para la variable longitud de la raíz en la segunda evaluación del *Pinus nelsonii*.

| Tratamientos | Medias | Agrupación Tukey | |
|--------------|--------|------------------|---|
| 7 | 63.16 | | a |
| 1 | 59.25 | b | a |
| 9 | 57.58 | b | a |
| 2 | 56.58 | b | a |
| 8 | 51.33 | b | a |
| 3 | 48.58 | b | a |
| 4 | 48.41 | b | a |
| 6 | 45.66 | b | a |
| 5 | 29.08 | b | |

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes