

Heredarás tu santa tierra como su fiel sirviente, conservando de generación en generación sus recursos y su productividad.

Salvaguardarás tus campos de la erosión, evitarás que se sequen las aguas vivientes de tu heredad, protegerás tus florestas de la desolación y tus colinas del excesivo deterioro por los rebaños, de manera que tus descendientes puedan disfrutar de eterna abundancia.

Si fallares en esta servidumbre a la madre tierra, tus heredades fructíferas se convertirán en campos pedregosos y estériles, y en barrancas inprovechables, y tus descendientes disminuirán y vivirás en la pobreza y desaparecerás de la faz de la tierra.

DEDICATORIA

A mis padres:

Sra. Esther González Saldaña

Sr. Alberto García Reyes

Por ser las personas a quien más amo, admiro, respeto y quiero con toda el alma, por sus bendiciones, esfuerzos y por sus palabras de aliento, pues sin ustedes esta meta hoy no sería realidad.

Mil gracias por sus noches de desvelo, por sus preocupaciones y por sus bendiciones; hoy esos sacrificios hechos para que yo saliera adelante, no fueron en vano.

Gracias por darme la vida,...estoy orgulloso de ser su hijo.

A mis hermanos:

María Luisa	†	María Soledad
Sanjuana		Alberto
Ramón	†	José Carmen
Ezequiel		Sergio
María Dolores	†	Manuel

Manuela † Rosa

Esther †

Por sus consejos, palabras de aliento y apoyo incondicional en todo momento; a ustedes hermanos que ya no están en este mundo, pero que comparten conmigo esta alegría donde quiera que se encuentren.

Con amor a mi esposa Alma Delia Ortíz Morales

Por la ayuda en las diferentes actividades del presente trabajo, por esos momentos que pasamos juntos y por compartir tu vida a mi lado, además por darme la dicha de ser padre

Con amor a mi hijo Alberto García Ortíz

Por ser un motivo más de vivir y superación ante la vida...gracias por los momentos hijo

A mis cuñados (as)

Por sus palabras de aliento a seguir adelante y por ser parte de mi familia

A mis sobrinos:

Rafael	Liliana Guadalupe	Jéssica
Isidro	Julio Alberto	María Luisa
María de Lourdes	José Carmen	María Guadalupe
Elizabeth	Gabriel	Montserrat
J. Guadalupe	Juan Luis	Sergio

Juan Manuel

Jorge Alberto

José Miguel

Felipe

Ivan Alberto

María de Lourdes

Omar

Sandra Yanet

Sanjuana

Gabriela

Brenda María

Fabiola

Martha Fabiola

Por ser los mejores sobrinos, pues ustedes llenan de alegría el hogar, con sus sonrisas y travesuras; aunque a veces exageran.

A mis compañeros de la generación LXXXVIII de Ingeniero Forestal, especialmente

a: Alejandro, José Luis, Santiago, Luis Manuel, Matilde, José Francisco, Ángel Salvador, Omar, Juan Manuel; a Juliana y a los del 249.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma estuvieron conmigo y me brindaron un gesto de amistad.

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por convertirse en el cómplice de mi formación profesional y por ser el artífice principal en todas y cada una de las etapas del presente trabajo y de mi vida.

Por darme la vida al lado los padres más maravillosos que siempre me han apoyado en todo momento y circunstancia.

A tí mi Dios mil gracias.

A mis padres:

Por alentarme a seguir adelante en busca de mis propósitos y por ser ellos la fuerza que me mueve en mi camino.

A ustedes por ser los seres que más quiero y por forjar en mí los valores de la superación, responsabilidad y el amor al trabajo.

A mi Alma Mater (Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”):

Por brindarme todas las facilidades y darme la oportunidad de forjarme como un profesional más bajo su seno; y por ser en ella donde conocí a la mujer más hermosa...mi esposa.

Al Centro de Educación y Capacitación Forestal No. 1, de Uruapan, Michoacán:

Por ser en él donde se construyeron los cimientos de mi formación profesional.

A todos sus maestros y personal que en él labora.

Al Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga:

Por darme la oportunidad de desarrollar el presente trabajo bajo su asesoría y revisión, además de su confianza y amistad.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo:

Por la amistad y el apoyo incondicional en la revisión del presente trabajo y por su ayuda en la cuestión estadística.

Al Ing. Sergio Braham Sabag:

Por la amistad y por su valiosa participación en la revisión del presente trabajo.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Distribución del género <i>Pinus</i>	4
2.2 <i>Pinus pinceana</i> Gord.	5
2.3 <i>Pinus cembroides</i> Zucc.	6
2.4 <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	9
2.5 Invernadero	10
2.6 Medio de cultivo	11
2.6.1 Descripción de los sustratos utilizados en el experimento	12
2.7 Elementos nutritivos y fertilizantes	13
2.7.1 Funciones generales de los macroelementos primarios (N,P,K)	15
2.7.2 Síntomas de deficiencia de los principales elementos nutritivos	18
2.7.3 Clasificación y alternativas de aplicación de fertilizantes	20
2.7.4 Fertilización en viveros forestales	22
2.8 Envases	23
2.9 Calidad de planta	24
2.10 Trabajos afines	26
3 MATERIALES Y MÉTODOS	30

3.1 Trabajos realizados durante el experimento	30
3.2 Evaluaciones	34
3.3 Diseño experimental	36
3.4 Análisis estadístico	37
4 RESULTADOS	38
4.1 <i>Pinus pinceana</i>	38
4.2 <i>Pinus cembroides</i>	38
4.3 <i>Pinus pseudostrobus</i>	39
5 DISCUSIÓN	41
6 CONCLUSIONES	45
7 RECOMENDACIONES	46
8 RESUMEN	47
9 LITERATURA CITADA	49
APÉNDICE	53

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Síntomas de deficiencia de los principales elementos nutrimentales en coníferas y otras especies.	18
Cuadro 2. Rango óptimo en ppm de los seis elementos más importantes para producción en vivero de <i>Pinus taeda</i> y <i>P. ponderosa</i> .	28
Cuadro 3. Tratamientos y dosis de fertilización empleadas en el experimento	31
Cuadro 4. Procedencia de la semilla de las especies bajo estudio.	32
Cuadro 5. Contenido del análisis del micronutriente.	34
Cuadro 6. Prueba Tukey de separación de medias de la variable diámetro de cuello para <i>Pinus pinceana</i> en la tercer evaluación a 9 meses de edad.	38
Cuadro 7. Prueba Tukey de separación de medias de la variable altura para <i>Pinus cembroides</i>	39
Cuadro 8. Prueba Duncan de separación de medias de la variable peso verde de la raíz para <i>P. pseudostrobus</i> en la tercer evaluación a 9 meses de edad.	40

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente muchas áreas boscosas se encuentran cada vez más deterioradas y son menos productivas, por lo que la extracción de trocería implica mayores costos al tener que abrir al aprovechamiento áreas marginales poco accesibles y de baja productividad, lo cual repercute no solamente en un menor aprovechamiento de madera y otros productos forestales, sino también en menor captación de recursos acuíferos, y escasa retención de suelo al quedar éste desnudo y a merced de la erosión, además del ahuyentamiento de la fauna silvestre en los sitios de aprovechamiento.

Ante tal problemática se han realizado esfuerzos para la pronta recuperación de estas áreas que han sido explotadas y para mitigar los efectos secundarios de los aprovechamientos, y que por diferentes causas no se les ha dado el tratamiento de recuperación correspondiente. Sin embargo, los resultados no han sido tan halagadores, pues muchos de estos proyectos destinados precisamente a la recuperación de estas áreas mediante plantaciones han fracasado, reportando baja sobrevivencia sobre todo en sitios marginales deteriorados, erosionados, pedregosos, infértiles o con suelo poco profundo, o en áreas con poca precipitación; donde además de las condiciones difíciles del terreno, la planta utilizada para estos fines no ha sido de la calidad requerida, debido en parte al trato inapropiado que se le da desde las diferentes etapas de su proceso de producción en vivero, lo cual se ve reflejado en una escasa sobrevivencia y adaptabilidad a los sitios finales de plantación.

En vista de la gran necesidad de llevar al campo una planta más resistente y de calidad que cumpla cabalmente con los objetivos de la plantación, el invernadero quizás sea el mejor medio para su producción, pues además de proporcionar las condiciones ambientales adecuadas es ideal para trabajos de experimentación en el uso de diferentes sustratos y fertilizantes a fin de determinar las dosis adecuadas para cada especie y cada tipo de sustrato en la producción de planta que tenga un alto potencial de sobrevivencia, además de reunir una serie de características tanto morfológicas como fisiológicas favorables para su pronta adaptación al sitio final de plantación.

En el presente estudio, se trabajó con tres especies de pino, utilizando tres tratamientos diferentes de fertilización, con el propósito de ver el efecto de los fertilizantes aplicados y obtener planta de buena calidad en un tiempo corto de producción, además de definir la dosis adecuada para cada especie.

1.1 Objetivos

El objetivo general fue evaluar el crecimiento de las especies *Pinus pinceana* Gord., *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., durante la etapa de vivero, bajo condiciones de invernadero, utilizando tres tratamientos con tres dosis de fertilización cada uno.

Los objetivos específicos fueron:

- Analizar y comparar el desarrollo de las raíces y de la parte aérea en cuanto a las variables altura, longitud de la raíz, peso verde y peso seco aéreo, peso verde y peso seco de la raíz y diámetro de cuello en función de cada tratamiento.
- Definir los tratamientos (dosis de fertilización) adecuadas para cada una de las variables en las especies bajo estudio.

1.2 Hipótesis

Las hipótesis estadísticas propuestas fueron:

Ho: Cada tratamiento genera una respuesta igual en las variables altura, longitud de raíz, peso verde aéreo, peso seco aéreo, peso verde de la raíz, peso seco de la raíz y diámetro de cuello.

Ha: Cada tratamiento genera una respuesta diferente en las variables altura, longitud de raíz, peso verde aéreo, peso seco aéreo, peso verde de la raíz, peso seco de la raíz y diámetro de cuello.

2 REVISION DE LITERATURA

2.1 Distribución del género *Pinus*

En México, los pinares se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo de las cadenas montañosas, especialmente en las Sierras Madre Occidental, Madre del Sur, Madre Oriental, Eje Neovolcánico y en las montañas de Chiapas (Rzedowski, 1978).

Se encuentran entre límites altitudinales muy amplios, desde los 300 msnm en el caso de los pinares de las islas de Baja California y los 600 msnm los pinos subtropicales en el Este del país, hasta cerca de los 4000 msnm los pinos de mayor altitud, encontrados en los cerros y picos más altos del Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Oriental y las montañas de Chiapas (Eguiluz, 1978).

Muchas de las condiciones climáticas van cambiando casi proporcionalmente a la altitud desde especies tropicales en las menores altitudes, hasta especies de clima templado en las máximas altitudes. Además se presenta mucha variación, existiendo especies y ecotipos casi para cada condición ecológica del país. Actualmente se conocen en México, alrededor de 71 taxa de pinos, conformando poco más del 40% de especies reconocidas a la fecha en todo el mundo (Rzedowski, 1978; Eguiluz, 1978).

2.2 *Pinus pinceana* Gord.

Pinus pinceana Gord., como otras especies de piñoneros (*Pinus edulis* Engelm., *P. maximartinezii* Rzedowski, *P. monophylla* Torr. y *P. nelsonii* Shaw.) tiene distribución geográfica restringida en México y en apariencia no constituyen elementos dominantes en los bosques, sino muy localmente (Rzedowski, 1978). Esta especie se encuentra dispersa en la Sierra Madre Oriental, principalmente en los estados de Coahuila y como pequeñas poblaciones dispersas en los estados de Zacatecas (Perry, 1991).

Martínez (1948) cita algunos lugares donde colectó ejemplares de *P. pinceana*: Hacienda del Garambullo, "El Fraile", Coahuila; Sierra del Garambullo y Sierra "La Herradura", Parras, Coahuila; Paso de Carneros, cerca de General Cepeda, Coahuila; Sierra la Concordia, Coahuila; Rancho "El Maguey Verde", cerca de Camargo, Querétaro; La Mesa, Hidalgo y Sierra Negra, 9 km al sur de Parras, Coahuila.

Las condiciones ecológicas donde prospera esta especie es en suelos calizos y desérticos, pedregosos, muy delgados y pobres en materia orgánica; en laderas de montaña y lomeríos donde puede rodar con facilidad su semilla (Eguiluz, 1978). Así mismo se encuentra dispersa en colinas rocosas y montañas muy secas de la Sierra Madre Oriental (Perry, 1991). Forma rodales puros abiertos, a veces en manchones pequeños; pero también se le ve asociado con varios piñoneros y otras coníferas; su rango altitudinal se extiende desde los 1500 en San Luis Potosí, hasta 2700 m en

Querétaro, siendo los 1900 msnm la altitud a la que se encuentra más abundante en Coahuila (Eguiluz, 1978).

Pinus pinceana se asocia principalmente con especies de matorrales desértico como *Mimosa spp.*, también con *Juniperus sp*, *P. cembroides* Zucc., *Yucca sp.* y muy rara vez con *P. nelsonii* Shaw; otras veces se asocia con *Quercus crassifolia* H. et B., *Prosopis laevigata* H. et B. y *P. teocote* Schl. et Cham. (Eguiluz, 1978).

Su madera no tiene usos industriales, se le utiliza con fines domésticos, como leña, postes para cercas y muebles rústicos; sus piñones son comestibles y en la región se venden tostados en el mercado. Puede ser una especie exitosa para programas de reforestación con fines de protección al suelo (Eguiluz, 1978). En tanto, Martínez (1948) menciona que por el follaje y la forma del tronco la especie es interesante en usos hortícolas, particularmente en áreas donde la escasez del agua es un problema.

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-1994, (INE, 1994) la especie también es considerada de importancia especial, debido a que actualmente se considera dentro de la categoría de protección ya que su distribución es restringida. Así mismo, Perry (1991) menciona que la especie se encuentra en pequeños manchones y en áreas apartadas en forma individual y como es la especie complementaria del *Pinus cembroides* en cuanto al aprovechamiento de su semilla (piñón), su regeneración se podría ver afectada en el futuro.

2.3 *Pinus cembroides* Zucc.

El *P. cembroides* es el más común de los pinos en la República Mexicana, la distribución de la especie cubre los extremos de la parte septentrional del país, en latitudes variables de los 18° hasta los 32° de latitud Norte y longitudes desde los 90° a los 116° de longitud Oeste. Forma rodales puros dominantes de varias decenas de kilómetros cuadrados, especialmente en la Sierra Madre Oriental, al Norte del Trópico de Cáncer; pero también puede encontrarse mezclado con otras especies del mismo género (Martínez, 1948; Eguiluz, 1978; Perry, 1991; García y González, 1998).

El área de distribución geográfica conocida se extiende por casi todo el Norte y centro del país, forma bosques más o menos bien definidos y caracterizados por el tamaño reducido de las hojas (Rzedowski, 1978).

Se distribuye en 19 estados de la República Mexicana, dentro de los cuales Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Hidalgo y Zacatecas, son los de mayor población. Los demás estados donde se distribuye son Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Guanajuato, Jalisco, México, Puebla, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, San Luis Potosí, Querétaro y Veracruz (Eguiluz, 1978). También se extiende a Texas, Nuevo México, y Arizona, en el Sur de los Estados Unidos (Perry, 1991).

Las condiciones ecológicas donde ocurre esta especie es en lugares pedregosos secos, laderas y partes bajas de montañas. Su rango es tan amplio que no está asociado a un solo tipo de suelo en particular; aunque la humedad y la altitud son importantes factores ecológicos en su distribución. Su rango altitudinal es de 1500 a 2800 msnm, aunque se ha encontrado en elevaciones de cerca de 3000 m (Eguiluz, 1978). Crece frecuentemente en colindancia con pastizales, matorrales xerófilos o

encinares arbustivos y forman amplias ecotonías con estas comunidades, ocupando casi siempre zonas de transición entre la vegetación xerófila de climas áridos y la boscosa de las montañas más húmedas (Rzedowski, 1978).

La especie se asocia frecuentemente con *Quercus grisea* Liebm., *Q. arizonica* Sarg., *Q. eduardi* Trel., *Q. emoryi* Torr., *Juniperus* o *Yucca*, formando bosques bajos abiertos (García y González, 1998).

Los rangos pluviométricos donde esta especie ocurre son muy amplios, debido a su distribución discontinua; pero la oscilación va desde los 365 mm de lluvia cerca de Galeana, Nuevo León, hasta los 800 mm cerca de Altotonga, Ver., y entre los 400 y 500 mm en regiones de Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y Veracruz; su promedio ocurre alrededor de los 450 mm anuales. La temperatura es muy variable; normalmente varía de los 7 °C como mínimo hasta 40 °C como máximo y promedios de 18 °C; además en temperaturas mínimas extremas de -7 °C y máximas extremas de 42 °C (Eguiluz, 1978)

La especie es importante, ya que tiene un gran potencial adaptativo y resistencia en condiciones climáticas extremas (gran amplitud térmica, heladas, precipitación anual muy variable) por lo que es buena para la reforestación de las zonas áridas, secas y erosionadas de México (Francoise, 1977).

Desde el punto de vista comercial, más que por su madera, esta especie es importante por la producción de piñón, ya que abastece poco más del 90% de los piñones conocidos en el mercado, siendo el *P. nelsonii*, su productor complementario; los muebles rústicos de esta especie son bien aceptados en el medio rural (Martínez, 1948; Eguiluz, 1978).

La especie aún no se encuentra en problemas de conservación, aunque debido a la explotación de sus semillas (piñones) para su venta, su regeneración podría disminuir en el futuro (García y González, 1998).

2.4 *Pinus pseudostrobus* Lindl.

En México la especie se distribuye en los estados de Nuevo León, Jalisco, Michoacán, México, Morelos, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Chiapas (Martínez, 1948), en Sinaloa y Durango hasta Centroamérica (García y González, 1998).

Ocupa laderas montañosas en altitudes muy variables, desde los 1600 a los 3200 msnm, y sobre rangos de lluvia de 800 a 1500 mm anuales en sitios con influencia tropical. Los árboles más grandes se encuentran en elevaciones de 2000 a 2400 m al Oeste del estado de Michoacán. Estos se desarrollan en suelos de origen volcánico con lluvias anuales de cerca de 1500 mm anuales (Perry, 1991).

Los pinares de *Pinus pseudostrobus* representan comunidades climax. Tiene afinidad por climas o microclimas de altura, en donde acompaña al *P. patula* Schl. et Cham., estas comunidades viven frecuentemente en colindancia con el bosque mesófilo de montaña, pues sus exigencias ecológicas son aparentemente similares (Rzedowski, 1978).

Se considera una especie importante, económicamente hablando, ya que es utilizada ampliamente como madera, leña, materia prima para celulosa y papel, en ebanistería, para elaborar triplay, chapas, cajas, duelas, puntales para minas, postes y durmientes de ferrocarril y para la extracción de resina (Rzedowski, 1978). Y por su amplia distribución, la especie no tiene problemas en cuanto a su estatus (García, 1998).

2.5 Invernadero

Matallana y Montero (1995) mencionan que el invernadero es un sistema productivo, el cual debe de ser eficiente para condicionar alguno de los principales elementos del clima, no de manera estática o incontrolable, sino entre límites bien determinados de acuerdo con los requisitos fisiológicos del cultivo. Para Montoya y Cámara (1996) el invernadero permite un mejor crecimiento aunque tiende a producir plantas menos resistentes que a la intemperie, por lo que debe cuidarse especialmente su finalización que debe efectuarse preferentemente al aire libre y antes de la venta de la planta.

Para Romero (1988), todas las ventajas del invernadero se logran aprovechar si se toman en cuenta los principios fundamentales en el tipo de producción, tales como:

- Empleo de semillas mejoradas y variedades selectas.
- Control del ambiente (temperatura y humedad).
- Técnicas de cultivo adecuadas (riego, fertilización, siembra, control de plagas y enfermedades, etc.).

- Uso del suelo o medio de cultivo adecuado.

2.6 Medio de cultivo

Venator y Liegel (1985) mencionan que un medio de cultivo adecuado debe proporcionar firmeza, nutrientes y humedad en beneficio de las plántulas, además ser ligero, fácil de manejar, que mantenga un volumen casi constante de humedad, que se vea libre de plagas, que puedan almacenarse durante largos periodos sin cambios en las propiedades físicas y químicas y pueda mezclarse fácilmente en los materiales reproducibles. El mismo autor señala que los aspectos cruciales de una mezcla para el crecimiento de las plantas son un drenaje adecuado, combinado con una acidez apropiada y que los fertilizantes pueden proporcionarse según sea necesario. Además menciona que como no existe una mezcla natural basada en tierra para la propagación de plántulas, quienes administran viveros se han visto forzados a desarrollar mezclas adecuadas, de las cuales varias se han desarrollado con éxito.

Sin embargo, Bernat y Martínez (1990) mencionan que las mezclas más utilizadas suelen incorporar tierra vegetal, turba, perlita, vermiculita, arcilla expandida, arena, y otras cuyo uso no es específicamente agrícola, y las proporciones entre unas y otras varían sensiblemente y son campo de investigación continuo.

Por otra parte, Venator y Liegel (1985) mencionan que la mezcla moderna tiene muy poco valor nutritivo, pero es muy resistente a la enfermedad de almácigos, ya que los valores nutritivos de estos componentes son muy bajos por lo tanto no existe gran concentración de nutrientes que favorezcan la acumulación de patógenos.

Además, Alarcón e Iglesias (1992) señalan que la mayoría de los medios de cultivo modernos se preparan con dos o más componentes seleccionados para aportar las propiedades físicas, químicas o biológicas deseadas, de acuerdo al cultivo.

2.6.1 Descripción de los sustratos utilizados en el experimento

Peat-moss

Es relativamente estéril, ligero, y con una gran capacidad de retención de agua; puede absorber de ella de unas 10 a 20 veces su peso. El musgo comercial es el producto deshidratado de residuos jóvenes o porciones vivientes de plantas ácidas del género *Sphagnum*, como *S. papillosum*, *S. capillaceum* y *S. palustre*. Este contiene sustancias fungistáticas específicas, lo cual explica su capacidad para inhibir el ahogamiento de plántulas que se desarrollan en él (Hartmann y Kester, 1999).

El musgo *Sphagnum* conocido en inglés como “moss”, es el componente básico del material a utilizarse en los recipientes para el cultivo de plántulas de especies forestales por ser ésta, la turba la que tiene las propiedades físicas y químicas que mejor se adaptan al cultivo y propagación de plántulas, a diferencia de otras turbas, ya que la mayoría de éstas son pobres en minerales, requiriendo fertilizante para mantener el crecimiento de las plántulas; la acidez final debe valorarse en pH de 5.5 a 6.0 para plantas de pino. Para mezclas de recipientes, se utilizan hasta un 75 % de turba; pero sólo alrededor del 50% es adecuado. Otros componentes que se combinan con la turba son vermiculita, perlita, gránulos de poliestireno y corteza de árbol descompuesta. Cuando la turba se utilice para el llenado de envases, ésta debe estar ligeramente

húmeda ya que tiende a hincharse cuando se humedece. Si se utiliza seca, cuando se moje se reducirá el espacio de aire o porosidad a la mezcla (Venator y Liegel, 1985).

Perlita

Es un mineral silíceo de color blanco grisáceo; de origen volcánico y se extrae de los escurrimientos de lava. El mineral crudo se tritura, criba, luego se calienta en hornos a 760 °C; a esta temperatura la poca humedad de las partículas se evapora expandiendo a éstas, formando granos pequeños, ligeros y esponjosos. El tratamiento a tan alta temperatura, deja un producto estéril. En aplicaciones hortícolas se usan partículas de 1.6 a 3.0 mm. La perlita retiene agua en proporción de 3 a 4 veces su peso. Prácticamente es neutra, con un pH de 6.0 a 8.0, pero sin capacidad de amortiguamiento. A diferencia de la vermiculita, no tiene capacidad para intercambio de cationes y no contiene nutrientes minerales, sin embargo resulta muy provechosa para incrementar la aireación en una mezcla (Hartman y Kester, 1999).

2.7 Elementos nutritivos y fertilizantes

Existe desacuerdo sobre cuáles son los elementos verdaderamente esenciales para el crecimiento de las plantas. El carbono, hidrógeno y oxígeno forman la mayor parte del peso de las plantas, y se obtienen directamente del dióxido de carbono (CO₂) y el agua (H₂O) cuya disponibilidad no está generalmente limitada, excepto en terrenos anegados o muy secos. Los elementos nutritivos se denominan en macro o micronutrientes, dependiendo de que las plantas utilicen mayor o menor cantidades. Las raíces toman los minerales principalmente de una solución o complejo de intercambio de la tierra del vivero o del medio de cultivo (Tisdale y Nelson, 1982).

Los macroelementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas son el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. La designación de elementos esenciales ya sea macro o microelementos al parecer está de acuerdo a su disponibilidad, forma y cantidad requerida para la planta (Fowells, 1959). El mismo autor menciona que los elementos esenciales para las plantas se definen por las siguientes condiciones:

- Una deficiencia interrumpe las etapas vegetativas o reproductivas del ciclo de vida de la planta.
- La deficiencia es específica para el elemento en cuestión, puede ser prevenido o corregido solamente suministrando el elemento.
- El elemento es implicado directamente en la nutrición de la planta, aparte de sus posibles efectos en la corrección de algunas funciones microbiológicas y químicas del suelo.

Tamhane *et al.* (1978) mencionan que las plantas contienen cantidades pequeñas de 90 o más elementos, de los cuales sólo 16 son esenciales para ellas, y para que su crecimiento sea normal y saludables dependerá de un suministro adecuado de esos elementos. A su vez, Smith (1970) menciona que de esos 16 elementos, 9 son requeridos en cantidades substanciales y en algún periodo, y 7 son requeridos en muchos casos pero en cantidades prácticamente insignificantes.

Domínguez (1997) menciona que los elementos nutritivos pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios. El más frecuente es aquel que responde a la cantidad utilizada por la planta y frecuencia con que en la práctica es necesaria su aportación a los cultivos. Así, se tiene:

- a) Macroelementos primarios: nitrógeno, fósforo y potasio.
- b) Macroelementos secundarios: azufre, calcio y magnesio.
- c) Microelementos: hierro, cobre, zinc, manganeso, molibdeno, boro y cloro. Son elementos que se absorben por la planta en cantidades mínimas, con las que quedan cubiertas sus necesidades.

Este mismo autor (Domínguez, 1997) señala que en esta clasificación quedan bien destacados como macroelementos primarios, los tres elementos nutritivos bases de la fertilización: nitrógeno, fósforo y potasio.

2.7.1 Funciones generales de los macroelementos primarios (N,P,K)

Nitrógeno

Tamhane *et al.* (1978) 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 y desempeña un papel de máxima importancia en el desarrollo y funcionamiento del protoplasma en las estructuras vegetales. El nitrógeno da a las plantas un color verde oscuro y las hace más suculentas; también hace que las células sean mayores con paredes celulares más delgadas. Además de fomentar 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 sea más eficaz para la absorción de otros nutrientes. Así mismo, Tisdale y Nelson (1982) mencionan que existen datos evidentes indicando que la velocidad del desarrollo de las plantas depende más del nitrógeno que de ningún otro

elemento, puesto que influye en la asimilación de los hidratos de carbono. También es constituyente de los más importantes compuestos y complejos orgánicos minerales de la planta, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, aminos, amidas, nucleoproteínas, clorofila, etc.

Domínguez (1997) cita que el contenido de nitrógeno en la planta varía entre el 12 y el 14 % de la materia seca. De éste un 80 a 85 % corresponde a las proteínas y un 10 % a los ácidos nucleicos.

Fósforo

Tamhane *et al.* (1978) y Alpi y Tognoni (1999) mencionan que el fósforo desempeña un papel importante en las transformaciones de energía, división celular, la respiración, la fotosíntesis y participa en el metabolismo de las grasas y proteínas, además está presente en muchas sustancias de fundamental importancia para el crecimiento de las plantas, como los ácidos nucleicos. Su función es fundamental en el metabolismo energético, y su efecto más evidente se observa sobre el sistema radicular de la planta, al fomentar la formación de raíces laterales y fibrosas, lo que aumenta la superficie de absorción de nutrientes. Además, hace mayor la resistencia a las enfermedades de las plantas. Este elemento participa en el proceso de la reproducción y la constitución del material genético de la planta. Se encuentra en la planta en forma de ortofosfato y, en algunos casos, como pirofosfato. Se une a diferentes compuestos mediante la formación de ésteres. Entre los compuestos más frecuentes y significativos cabe destacar: di y trifosfato de adenosina (ADP), fosfolípidos nucleicos (RNA y DNA), dinucleótido adenina nicotiamida (NADPH) y fitina, entre otros.

Según Domínguez (1997), las plantas tienen un contenido de fósforo que varía entre el 0.1 y el 1.25 %, del cual al menos el 80 % está incorporado a compuestos orgánicos.

Potasio

Según Tamhane *et al.* (1978), Tisdale y Nelson (1982) y Alpi y Tognoni (1999) el potasio es 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 de lugar a los carbohidratos y hace que el fierro 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 normal en los tejidos meristemáticos jóvenes y además neutraliza el exceso de nitrógeno y ayuda a la planta a utilizar la humedad del suelo de manera más ventajosa.

En tanto, Domínguez (1997) menciona que el potasio permanece en estado iónico en la planta, equilibrando aniones y es muy móvil dentro de la misma. Ejerce la función como osmoregulador disuelto en el jugo celular, favorece la fotosíntesis y tiene un papel activo en el transporte de las sustancias formadas en dicha reacción.

2.7.2 Síntomas de deficiencia de los principales elementos nutritivos

Smith (1970) menciona que frecuentemente la mayoría de las deficiencias más importantes de los nutrientes se pueden ver en vivero. Así como para su detección, la corrección de la mayoría de estos elementos puede lograrse fácilmente. Las principales deficiencias nutricionales en coníferas y otras especies, se citan a continuación en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Principales síntomas de deficiencia de los elementos nutrimentales en coníferas y otras especies.

ELEMENTO	CONFIERAS	OTRAS ESPECIES
Nitrógeno	Follaje uniformemente verde-claro; amarillento, aparentemente seco en algunas especies. Tallo rojizo en algunas plantas jóvenes y árboles cortos	Hojas pequeñas, uniformemente descoloridas. Tallos y brotes cortos. En algunas etapas, las hojas se endurecen y llegan a ponerse rojas o púrpuras
Fósforo	Hojas verde-pálidas, tornándose de color café en las partes superiores. A veces de púrpura a necrótico. Las partes jóvenes del follaje permanecen verdes	Hojas pequeñas, verde-azul, nervaduras púrpuras. Brotes delgados, cortos y verticales
Potasio	Frecuentemente hojas cortas cloróticas con ápices o puntas de color café. Es típico el amarillamiento en algunas especies	Ápices y márgenes de las hojas quemados; a veces hojas verde oscuro con enrollado ascendente, manchado y color rojizo en algunas especies

continua...

... continuación Cuadro 1.

Magnesio	Hojas amarillentas, ápices color café, algunas veces púrpura. A veces el follaje viejo es más amarillento que el joven. El desarrollo no es seriamente afectado	Clorosis y necrosis en bases, márgenes y entre las venas de las hojas viejas; lo que ocasiona que estas caigan prematuramente. Desarrollo casi normal, excepto donde la deficiencia es muy severa.
Calcio	Acículas jóvenes amarillas con ápices color café. Yemas no desarrolladas. En algunos casos impide el desarrollo de las hojas cerca de la yema terminal.	En hojas jóvenes causa anomalías como ápices en forma de gancho hacia abajo y márgenes enrollados. Puede aparecer clorosis en márgenes, a veces moteado y quemado con envés muerto.
Fierro	Acículas amarillas y brillantes y yemas de la parte superior no desarrolladas.	Hojas jóvenes descoloridas con ápices y márgenes quemados. El crecimiento no es afectado seriamente si la deficiencia es moderada.
Zinc	Acículas ápicales cortas, dobladas, amarillentas y moteadas interiormente; pasando finalmente	Nervaduras centrales blanquizas algo cloróticas. Brotes largos y

Boro	<p>a un color verde oscuro.</p> <p>En pinos se reduce el crecimiento y causa necrosis en yemas y en algunos puntos de las raíces. Acículas próximas a la yema apical muertas</p>	<p>angostos. En nogales la almendra no madura normalmente.</p> <p>Las hojas jóvenes frecuentemente son pequeñas, torcidas y se llega a formar corcho en las nervaduras centrales. Algunas veces se produce moteado y clorosis en algunas especies</p>
------	--	---

continua...

... continuación Cuadro 1

Manganeso	<p>Palidez y crecimiento retardado; yemas tornándose café, acículas verde pálido o amarillentas en <i>Pinus radiata</i>.</p>	<p>Verde encendido en áreas situadas entre las nervaduras de las hojas nuevas, posteriormente aparece moteado y necrosis.</p>
Cobre	<p>En pino el follaje se torna verde azul, los ápices de las acículas muertos y curvados hacia abajo.</p>	<p>En hojas de ciruelo y manzano, las hojas son blanquizcas y blandas. En durazno son largas y angostas con un color verde pálido y un blanco irregular en márgenes y envés seco.</p>
Molibdeno	<p>El follaje en pinos llega a volverse</p>	<p>Las hojas jóvenes son verdes y</p>

	azul pálido, aunque no son síntomas sobresalientes.	brillantes, cloróticas con nervaduras principales verdes. En tanto en hojas viejas los márgenes son quemados.
--	---	---

(Fuente: Smith, 1970).

2.7.3 Clasificación y alternativas de aplicación de fertilizantes

Venator y Liegel (1985) señalan que los fertilizantes se clasifican en orgánicos e inorgánicos y en naturales o sintéticos. Además que la composición de éstos puede ser de uno solo o de muchos elementos y los hay disponibles en forma líquida y seca. Y menciona que las alternativas de aplicación de éstos puede ser de las siguientes formas:

- Mezclar fertilizantes secos directamente con el medio de crecimiento.

Esta alternativa se usa comúnmente con fertilizantes secos y se utiliza únicamente antes de sembrar o de transplantar. Las formulaciones de fertilizantes secos se mezclan con el medio de cultivo utilizando mezcladora o incorporándolos directamente al suelo.

- Empleo de mezclas de fertilizantes solubles.

Los fertilizantes solubles en agua, se utilizan en la mayoría de los viveros que emplean recipientes y que necesitan añadir cantidades mínimas de fertilizantes, o viveros

grandes con equipo de riego. Los fertilizantes solubles formulados comercialmente son fácilmente preparados con instrucciones o precauciones mínimas.

- Formulación de soluciones nutritivas *in situ*.

Esta alternativa implica el hacer soluciones fertilizantes “caseras”, para ser aplicadas por rociadores manuales o inyectadas en los sistemas de irrigación. Los requerimientos de las soluciones caseras son: el usuario debe ser entrenado en química y ser capaz de manejar materiales peligrosos con cuidado y seguridad. Las existencias de compuestos químicos deben ser guardados con seguridad, identificados, y pesados antes de mezclarlos.

Finalmente los mismos autores (Venator y Liegel, 1985) señalan que cada alternativa tiene distintas ventajas y desventajas, dependiendo de si las plantas se producen en plantabandas o en recipientes.

2.7.4 Fertilización en viveros forestales

Para tener planta de buena calidad en los viveros forestales, se requieren grandes inversiones para fertilizar el suelo. Es así que el manejo eficaz de la nutrición forestal depende de una buena distribución de recursos económicos destinados a ella, así como de la disponibilidad de los métodos formales para analizar decisiones económicas cuyos resultados son inciertos (Binkley, 1993).

La fertilización de plántulas en los viveros forestales del país, sigue prácticas tradicionales que no son necesariamente la mejor alternativa; en muchos casos, incluso se utilizan fertilizantes formulados para el cultivo de plantas agrícolas, en cuya fase de preparación se consideran aplicaciones en terreno abierto, y no a plántulas con un medio de crecimiento limitado por un envase o maceta (Alarcón e Iglesias, 1992).

No siempre se cuenta con el tiempo suficiente, como para que en la época de plantación los ejemplares hayan alcanzado una altura óptima pero su crecimiento se puede acelerar mediante fertilización, aunque ésto puede afectar su rusticación. El tratamiento más común consiste en aplicar sustancias nutritivas que enriquezcan el sustrato de los envases aportando nitrógeno, fósforo y potasio. La fertilización se practica cuando las plantas ya miden 10 cm de altura. Con esto se logra la formación de un mayor sistema aéreo (Cozzo, 1976).

El aspecto central de la nutrición en los viveros es la identificación de los nutrientes que son problema y el diagnóstico apropiado de tratamientos. El manejo de los viveros requiere de métodos analíticos que reflejen en forma precisa la disponibilidad de los nutrientes, así como la aplicación de estos métodos para evaluar y manipular el estado nutricional de las plantas (o de suelos). La selección de estos métodos para identificar la disponibilidad de los nutrientes es mucho más fácil en los viveros que en los rodales forestales, ya que pueden determinarse fácilmente la producción, el contenido de nutrientes y la respuesta a la fertilización (Binkley, 1993).

Además, cada especie, sus variedades y aún individuos de una misma especie, tienen distintos requerimientos nutritivos y niveles de absorción. Así mismo, que las concentraciones de los elementos pueden variar de acuerdo al componente de la planta

(hojas, ramas, frutos, raíces), edad, posición de la planta (alta, central, baja), por estación (primavera, otoño) y con el clima (seco, húmedo) (Tisdale y Nelson, 1982).

2.8 Envases

Los rasgos de un buen tipo de envase o recipiente debe responder a los siguientes aspectos prácticos y técnicos: ser barato; fácil de obtener en grandes cantidades y en cualquier momento o lugar; de buena manipulación en vivero; de una duración promedio no inferior a un año; que permita el desarrollo de un buen sistema radical en todo su volumen, no sólo sobre las paredes inferiores; que mantenga su integridad luego de cada labor de manejo técnico en el vivero; y finalmente, que su composición no afecte la viabilidad de las plantas al producir cambios de reacción de la tierra o por la existencia de sustancias químicas tóxicas (Cozzo, 1976).

Venator y Liegel (1985) señalan que para seleccionar el recipiente idóneo para el cultivo de plantas de especies forestales, debe definirse primero la siguiente información: la primera y quizás la más importante decisión a considerarse, es el volumen mínimo requerido para producir una planta que tenga un alto valor de supervivencia en el campo. Luego que se haya definido el volumen apropiado, se deben considerar los aspectos económicos y realizar comparaciones de costos con los diversos recipientes disponibles. También es importante el aspecto de reutilización del mismo. Los mismos autores Venator y Liegel (1985) señalan que el recipiente puede ser cilíndrico de sección triangular o cuadrangular pero las funciones básicas son:

- Proporcionar espacio para el crecimiento radicular, y para la provisión de nutrientes y agua;
- Influir en el crecimiento de las raíces, su forma y orientación de manera que sean ventajosos para la planta; y
- Asegurar que la tasa de sobrevivencia de las plantas sea alta (superior al 95%) de manera que el costo de las plántulas individuales no se vea incrementado al existir un elevado número de plantas muertas

2.9 Calidad de planta

La calidad de planta producida en vivero forestal se refiere a las características fisiológicas y morfológicas que le permitirá sobrevivir y adaptarse a las condiciones de campo después del trasplante (Cetina *et al.*, 1999), ello también dependerá de la técnica de repoblación y de su trato en el proceso de producción en el vivero (Montoya y Cámara, 1996).

La mejor planta para la forestación industrial, es la que en el menor tiempo se enraíza, logra vigor y altura óptima manifestando el equilibrio del sistema absorción-transpiración entre el follaje y el sistema radicular, como también una buena rusticidad y una apropiada lignificación del tallo. Estas características se dan mejor en plantas de pinos de 20 a 25 cm (Cozzo, 1976).

Montoya y Cámara (1996) enlistan una serie de características que a su criterio una planta forestal debe de reunir para que sea considerada de calidad, tales

características son: dimensión y edad, equilibrio y proporción, longitud y forma de la raíz, densidad de hojas, estado sanitario y homogeneidad.

En cuanto a dimensión y edad, los autores (Montoya y Cámara, 1996) mencionan que las plantas jóvenes arraigan mejor, porque tienen un mejor potencial de crecimiento en sus raíces. Sin embargo, no se deben escoger plantas demasiado pequeñas, ni tan demasiado grandes, ni las demasiado viejas. En el caso de *Pinus sylvestris* L. mencionan que una planta de 2 años de edad como mínimo, con altura de 6 a 15 cm y con 3 cm de diámetro de cuello es una planta de calidad.

En cuanto a equilibrio y proporción, en general se exige que, el peso de la parte aérea no llegue a doblar el peso de la raíz.

En cuanto a longitud y forma de la raíz los autores (Montoya y Cámara, 1996) consideran que en el caso de especies de sistema radical pivotante, la longitud más recomendable es de 15 a 20 cm. Sin embargo, se admite que una raíz de abundante cabellera es una condición necesaria para lograr un mejor y más fácil arraigo en todas las especies forestales.

En cuanto a la densidad de las hojas los mismos autores (Montoya y Cámara, 1996) mencionan que las hojas suministran nutrientes a la raíz, por lo que mejoran el posible arraigo; pero también consumen agua, por lo que lo comprometen. En general los caducifolios se plantan sin hojas, pero en perenifolios se debe de exigir una densidad de hojas normal, ni excesiva ni escasa. Y en cuanto al estado sanitario y a homogeneidad la planta no debe de tener heridas, daños de enfermedades y plagas,

enmohecimientos, partes resacas, etc., y debe rechazarse toda planta que resulte irregular, pues posiblemente demuestre baja calidad de semilla y/o deficiente cultivo de la planta en vivero.

2.10 Trabajos afines

Alarcón e Iglesias (1992) realizaron un experimento durante 10 meses a fin de ver la influencia del sustrato y la fertilización sobre el desarrollo de *Pinus durangensis* Mtz., en invernadero.

Probaron diferentes mezclas de sustratos combinadas con diferentes rutinas de fertilizante. De las cuales las combinaciones de sustrato donde intervino la corteza molida de pino como componente principal sobresalieron como las mejores, y de las rutinas de fertilización empleadas sobresalieron sobre las demás las que estaban compuestas de fertilizantes solubles (3 y 8).

La aplicación de las soluciones se fue junto con el agua de riego una vez por semana. La rutina 3 consistió en la aplicación de 2.6 ml de fertilizante por planta con 50 ppm de nitrógeno, 100 ppm de fósforo y 100 ppm de potasio en la etapa de establecimiento; 2.6 ml de fertilizante con 150 ppm de nitrógeno, 60 ppm de fósforo y 150 ppm de potasio por planta durante la etapa de crecimiento rápido y por último 2.6 ml de fertilizante con 50 ppm de nitrógeno, 60 ppm de fósforo y 150 ppm de potasio por planta durante la etapa de templamiento.

La rutina 8 consistió en la aplicación de los mismos nutrientes descritos en la rutina 3 por planta, pero en dosis doble.

En la variable altura los tratamientos (rutinas de fertilización) que mejores efectos produjeron fueron: fertilizante soluble con 14.2 cm y fertilizante soluble doble con 13.8 cm. En tanto para la variable biomasa total, los tratamientos (rutinas de fertilización) que mejores efectos produjeron fueron nuevamente fertilizante soluble doble con 4.12 g y fertilizante soluble con 3.96 g.

En tanto Espejel (1993) estableció un experimento para ver el efecto de diferentes regímenes de fertilización sobre el crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. en etapa de vivero, en el cual, estudió la respuesta en cuanto a las variables altura, diámetro, peso seco, capacidad de crecimiento de la raíz y biomasa, haciendo variar a tres niveles las concentraciones de nitrógeno y fósforo. Después de 9 meses, tiempo que duró el experimento, encontró que la aplicación de fertilizantes (con N y P) promovió un mayor crecimiento para la mayoría de las variables medidas, por encima de los niveles logrados con la sola aplicación de agua destilada. El nitrógeno contribuyó a aumentar el peso seco, la capacidad de crecimiento de la raíz y el diámetro de las plántulas; el nivel medio (50 ppm) y el más alto (100 ppm) presentaron los mejores resultados. Los niveles de fósforo (con 100 ppm) sólo produjeron diferencias para la capacidad de crecimiento de la raíz y para la biomasa, con respecto a las otras variables no se presentaron diferencias.

Fowells (1959) realizó un experimento en *Pinus taeda* L. cultivado en arena, aplicando nitrógeno con 136 y 156 ppm, fósforo con 146 y 198 ppm; potasio con 184 y 249 ppm; calcio con 117 y 195 ppm, azufre con 76 y 156 ppm y magnesio con 33 y 57

ppm y obtuvo resultados satisfactorios a 29 meses de establecido, ya que, la planta creció y se desarrolló satisfactoriamente.

Fowellsl (1959) propuso el rango óptimo requerido en ppm, de los seis elementos más importantes para la producción en vivero de *P. taeda* y *P. ponderosa* Laws. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rango óptimo en ppm de los seis elementos más importantes para producción en vivero de *P. taeda* y *P. ponderosa* Laws.

Especie	N	P	K	S	Ca	Mg
<i>P. taeda</i>	75 a	40 a	25 a	12 a	20 a	25 a
	600	600	300	100	100	100
<i>P. ponderosa</i>	25 a	40 a	20 a	12 a	20 a	25 a
	600	600	125	100	100	100

En tanto, Fowells y Krauss (1959) demostraron que para *P. taeda* y para *P. virginiana* Mill. el nivel suficiente de nitrógeno, está entre 25 y 100 ppm y un nivel de 1 ppm de fósforo es el adecuado.

Ingestad (1979) realizó un experimento a fin de ver la influencia del pH y la temperatura en la solución nutritiva para definir la nutrición óptima en plántulas de abedul (*Betula verrucosa* Ehrh.). Las plántulas se sometieron a soluciones nutritivas con pH que varió en rangos de 2.5 a 6.8, las temperaturas de 2.5 a 35 °C, utilizando como fuente de nitrógeno, NH₄ y NO₃. El autor encontró que la proporción máxima de crecimiento se encontraba pH en 4.0 y 6.8 y estuvo en correlación lineal con la

temperatura de la solución a 20 °C. Las temperaturas sobre 30 °C, sobre todo en los rangos 32.5 a 35 °C, disminuyeron el crecimiento, además de presentar síntomas de marchitez y ladeado de márgenes en hojas. Además el crecimiento de la raíz también se vió afectado por el elemento temperatura, observándose un daño visible en la raíz en los pH más bajos (pH = 3.5).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en el invernadero de alta tecnología de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, en Buenavista, Saltillo, Coah., que se localiza en las coordenadas geográficas 22° 22' de latitud Norte y 101° 00' de longitud Oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 1742 m (CETENAL, 1977).

3.1 Trabajos realizados durante el experimento

- Preparación de las soluciones madre de cada elemento

Para la preparación de las dosis de fertilización en partes por millón se utilizaron como fuentes los siguientes fertilizantes:

- a) Como fuente de nitrógeno: nitrato de amonio ($\text{NH}_4 \text{NO}_3$), 7.8 g l⁻¹ de agua destilada
- b) Como fuente de fósforo: ácido fosfórico al 85% (H_3PO_4), 6.63 g l⁻¹ de agua destilada
- c) Como fuente de potasio: sulfato de potasio (K_2SO_4), 20.07 g l⁻¹ de agua estilada

- Dosis de fertilización empleadas

Se emplearon tres tratamientos, de los cuales cada uno de ellos constó de tres dosis, preparadas a base de las soluciones madre de cada elemento mediante el empleo de pipetas graduadas para agregar los mililitros del elemento requerido por litro de agua destilada (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos y dosis de fertilización empleadas en el experimento

TRATAMIENTO	DOSIS	N	P	K
1	1	50 ^a (0.5) ^b	100 (1.0)	100 (1.0)
	2	150 (1.5)	60 (0.6)	150 (1.5)
	3	50 (0.5)	60 (0.6)	150 (1.5)
	1	100 (1.0)	30 (0.3)	50 (0.5)
	2	200 (2.0)	60 (0.6)	100 (1.0)
	3	50 (0.5)	30 (0.3)	50 (0.5)
3	1	50 (0.5)	250 (2.5)	50 (0.5)
	2	100 (1.0)	30 (0.3)	30 (0.3)
	3	25 (0.25)	50 (0.5)	30 (0.3)

a = partes por millón; b = mililitros de la solución madre del elemento por litro de agua destilada

- Preparación del medio de cultivo

La mezcla del medio de cultivo consistió en dos partes de peat-moss por una de perlita, para lo cual se vertieron los sustratos en el suelo y se mezclaron manualmente con pala hasta obtener una mezcla homogénea, humedeciéndola con la finalidad de facilitar el llenado de recipientes pues la turba tiende a hincharse; si se utiliza seca al mojarla se reducirá el espacio de aire en el recipiente.

- Llenado de recipientes y siembra

El llenado fue en forma manual y posteriormente se fueron acomodando 14 recipientes en cada caja. El envase o recipiente utilizado en el presente trabajo fue la bolsa de polietileno negro con capacidad de 1250 cm³, de 11 cm de ancho por 20 cm de largo. Posterior al llenado de recipientes el experimento se estableció el 25 de junio de 1999 iniciándose al momento de la siembra, la cual consistió en el depósito de las semillas, a una profundidad del doble del tamaño de la misma, dos en cada recipiente para asegurar el número de plantas adecuado para el desarrollo del experimento; en casos donde germinaron y emergieron dos plantas, se extrajo una, para dejar solamente una por recipiente, posteriormente se regó con agua corriente para mantener la humedad adecuada y así propiciar la emergencia.

En el Cuadro 4 se indica la procedencia de la semilla utilizada en el experimento.

Cuadro 4. Procedencia de la semilla de las especies bajo estudio.

ESPECIE	PROCEDENCIA			F. DE RECOLECCIÓN
	A			
	Ejido	Paraje	Municipio	

<i>P. pinceana</i>	“El Garambullo”	Sierra “La Mina”	Parras, Coah.	Octubre de 1998
<i>P. cembroides</i>	“El Garambullo”	“Cañón la Bolsa” y Sierra	Parras, Coah.	Octubre de 1998
<i>P. pseudostrubus</i>	Bosque escuela	“El Laurel” Santa Rosa	Itubide, N. L.	Septiembre de 1996

- Aplicación de las dosis de fertilización:

Se aplicaron 250 ml de solución por envase en forma manual una vez por semana. Las primeras dosis de cada tratamiento se aplicaron 2 meses después de la emergencia total de las plántulas durante 1 mes; las segundas dosis de cada tratamiento se aplicaron durante 2 meses, enseguida de las anteriores; Las terceras dosis de cada tratamiento se aplicaron durante 3 meses, enseguida de las anteriores y por último al finalizar la aplicación de las últimas dosis de los tratamientos, se aplicaron nuevamente las primeras dosis de cada uno de ellos como período de castigo o templamiento, ello durante 1 mes.

- Cuidados

Durante el desarrollo del experimento, en el interior del invernadero se mantuvo una temperatura de 25 °C de día y de 18 °C de noche; posteriormente se cambiaron a partir del día 17 de marzo de 2000 a 27 y 19 °C, respectivamente.

Se retiró el musgo y la poca maleza que aparecieron en los envases a fin de evitar que los nutrientes fueran aprovechados por éstos.

- Aplicación de micronutrientes

Inmediatamente después de haber terminado de aplicar las segundas dosis de los tratamientos, se aplicaron micronutrientes a fin de evitar y/o corregir posibles deficiencias nutrimentales en las plántulas. Los micronutrientes utilizados respondían a la marca comercial "Micromax", de los cuales su etiqueta recomienda aplicar 1 kg m⁻³ en viveros a raíz desnuda y 0.7 kg m⁻³ en plantas producidas en recipientes.

En el presente trabajo se aplicó sólo 250 gramos por metro cúbico de sustrato. Para lo cual, primeramente se determinó el volumen total de sustrato ocupado por el número de plantas (504), para obtener los gramos a utilizar del micronutriente, teniendo como resultado 157.5 g, los cuales, se mezclaron en 12.6 litros de agua para preparar una solución nutritiva, de la cual se aplicaron 25 ml por envase, utilizando jeringas graduadas.

El Cuadro 5 muestra el contenido del análisis del micronutriente "Micromax", derivado de: sulfato de fierro, sulfato de manganeso, sulfato de zinc, sulfato de cobre, sorato de sodio y molibdato de sodio.

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

3.2 Evaluaciones

Estas consistieron en la medición de las variables a evaluar. La primer evaluación se realizó el día 26 de noviembre de 1999, al finalizar la aplicación de la segunda dosis de fertilización de cada tratamiento.

La segunda evaluación se realizó el día 28 de febrero de 2000, al finalizar la aplicación de la tercer dosis de fertilización de cada tratamiento.

Una última evaluación se llevó a cabo el día 30 de marzo de 2000, inmediatamente después del término del periodo de castigo o templamiento de las plántulas.

En cada fecha de evaluación, se tomaron al azar dos plantas de cada repetición y tratamiento, se le sacó del recipiente y se le retiró cuidadosamente el sustrato adherido a la raíz. Luego se procedió a medir la planta en las siguientes variables:

- Altura

Esta se midió en centímetros a partir del cuello de la raíz (a nivel del sustrato), hasta la punta de la yema apical, utilizando una regla graduada en centímetros.

- Longitud de raíz

De igual forma que la medición de altura, se midió a partir del cuello de la raíz, hasta la punta de la raíz principal, utilizando una regla graduada en centímetros.

- Diámetro a la base del cuello de la raíz en milímetros

Esta se hizo una sola vez al final del experimento, utilizando un vernier, con aproximación a milímetros.

- Peso verde aéreo y de raíz

Para ello una vez que se les retiró el sustrato adherido se separaron ambas (parte aérea y raíz), para determinar por separado el peso en verde de cada parte, ello se hizo con la ayuda de una balanza analítica con precisión de hasta centésimas de gramo.

- Peso seco aéreo y de raíz

Una vez determinado el peso en verde para ambas partes, éstas fueron depositadas en bolsas de papel previamente marcadas con número de especie, número de tratamiento y número de repetición. Posteriormente se metieron en una estufa de

secado a una temperatura de 48 °C durante 48 horas, y al término de ese tiempo se sacaron para determinar el peso seco de ambas partes, también mediante la ayuda de la misma balanza analítica. Además, al sumarse la altura y la longitud de la raíz, se creó la variable longitud total.

3.3 Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar para cada especie, con tres tratamientos y cuatro repeticiones por unidad experimental, y el modelo estadístico fue el siguiente:

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

$i = 1, 2, 3$ (Tratamientos)

$j = 1, 2, 3, 4$ (Repeticiones)

donde:

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

μ = Efecto de la media poblacional

T_i = Efecto verdadero del i -ésimo tratamiento

ϵ_{ij} = Efecto de la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento (error experimental)

3.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos de cada una de las evaluaciones, derivados de las mediciones de las variables en estudio se procesaron en el paquete SAS (Statistical Analysis System), para generar los resultados del análisis de varianza y de las pruebas de comparación de medias por el método de Tukey. Los primeros con el propósito principal de definir si existía o no diferencia significativa entre los tratamientos y los últimos para determinar la agrupación y/o separación entre los tratamientos.

4 RESULTADOS

4.1 *Pinus pinceana*

Los resultados arrojados por el análisis de varianza no detectaron diferencias estadísticas entre los tratamientos para ninguna variable en las dos primeras evaluaciones a un nivel de confiabilidad del 95% ($P \leq 0.05$). En la tercera evaluación únicamente se detectaron diferencias estadísticas ($P = 0.033$) para la variable diámetro de cuello (Apéndice).

La prueba Tukey de separación de medias (Cuadro 6) determinó al tratamiento 1 con la mayor respuesta a la fertilización al registrar el mayor valor para dicha variable (3.90 mm), seguido por el tratamiento 2 (3.10 mm) y finalmente por el tratamiento 3 que registró el menor valor (2.80 mm). Así mismo, dicha prueba muestra también que el tratamiento 1 es estadísticamente igual al tratamiento 2 pero diferente al tratamiento 3, en tanto el tratamiento 2 es estadísticamente igual al tratamiento 1 y al tratamiento 3.

Cuadro 6. Prueba Tukey de separación de medias de la variable diámetro de cuello para *Pinus pinceana* en la tercer evaluación a 9 meses de edad

Tratamientos	Media (mm)	Agrupación Tukey
1	3.90	a
2	3.10	a b
3	2.80	b

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$

4.2 *Pinus cembroides*

Al igual que en la especie anterior, únicamente en la tercera evaluación el análisis de varianza indicó diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos solamente para la variable altura ($P = 0.05$) (Apéndice) y la prueba Tukey de separación de medias mostró al tratamiento 2 con el mayor valor (16.80 cm), seguido por el tratamiento 3 (14.10 cm) y finalmente por el tratamiento 1 que registró el menor valor (13.30 cm) (Cuadro 7). Al mismo tiempo dicha prueba demostró que el

tratamiento 2 fue estadísticamente diferente al tratamiento 3 y al tratamiento 1, y encontró igualdad entre estos últimos tratamientos.

Cuadro 7. Prueba de Tukey de separación de medias de la variable altura para *Pinus cembroides* en la tercer evaluación a 9 meses de edad

Tratamientos	Medias (cm)	Agrupación Tukey
2	16.80	a
3	14.10	b
1	13.30	b

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$

4.3 *Pinus pseudostrobus*

En esta especie, nuevamente en la tercera evaluación el análisis de varianza arrojó diferencias estadísticas significativas ($P = 0.049$) solamente para la variable peso verde de la raíz (Apéndice). La prueba Tukey de separación de medias no detectó diferencias entre tratamientos; probablemente porque el coeficiente de variación resultó muy alto ($CV = 35.9$), sin embargo, la prueba de Duncan sí, de los cuales el tratamiento más sobresaliente fue el 2 con el mayor valor (3.04 g), seguido por el tratamiento 3 (2.75 g) y finalmente por el tratamiento 1 que registró el menor valor (1.38 g) (Cuadro 8). Al mismo tiempo, dicha prueba mostró que el tratamiento 2 es estadísticamente igual al tratamiento 3, pero ambos diferentes al tratamiento 1.

Cuadro 8. Prueba Duncan de separación de medias de la variable peso verde de la raíz para *Pinus pseudostrobus* en la tercer evaluación a 9 meses de edad

Tratamientos	Medias (g)	Agrupación Duncan
--------------	------------	-------------------

2	3.04	a
3	2.75	a
1	1.38	b

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$

5 DISCUSIÓN

No se apreciaron diferencias estadísticas entre los tratamientos para las variables en estudio en las especies involucradas en el presente experimento, excepto en una sola variable para cada especie, en la tercer fecha de evaluación a 9 meses de edad ya destacadas en el capítulo de resultados.

En el caso de *Pinus pinceana*, donde el análisis de varianza arrojó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para la variable diámetro de cuello, en la cual el tratamiento 1 registró la mayor respuesta. Dicho tratamiento es el de mayor contenido de potasio y el segundo en cuanto a contenido de nitrógeno y fósforo, estos dos últimos casi en las mismas cantidades.

Se considera que este tratamiento afectó de manera positiva a esta especie pues según Tamhane *et al.* (1978), mencionan que el potasio juega un papel importante en el transporte de los productos de la fotosíntesis y en la división celular de los tejidos meristemáticos, además de mantener permeables a las células y es en parte responsable del mantenimiento de la turgencia correcta de las células de la planta, entre otras funciones. El mismo autor señala que la acción del potasio complementa a la del nitrógeno; ya que éste aumenta en tamaño los diferentes tejidos de las plantas y el potasio hace que el funcionamiento sea eficaz. Ello explica el aumento de tejido vascular y con ello el aumento del diámetro de cuello.

Respecto al nitrógeno y el fósforo, como ya se mencionó anteriormente, estos dos elementos se encuentran casi en las mismas cantidades, de ello se considera que podría existir una relación estrecha entre los dos pues según Tisdale y Nelson (1982) el nitrógeno es esencial en el crecimiento y desarrollo de las plantas más que ningún otro elemento y el fósforo se refleja principalmente en el sistema radicular; es ahí donde podría darse esa relación pues al haber un buen crecimiento en todos los tejidos de la planta derivado del nitrógeno, el fósforo se vería reflejado propiciando la formación de un buen sistema radicular y con ello una mayor absorción de nutrientes, las que a su vez el potasio como función principal se encargaría de transportar a toda la planta.

En el caso de *Pinus cembroides*, para la tercer evaluación, las diferencias estadísticas altamente significativas, para la variable altura en el cual el tratamiento 2 se comportó como el más prometedor al producir plantas con mayor altura, puede atribuir a que este tratamiento es el de mayor contenido de nitrógeno ya que la adición adecuada de dicho elemento implica un mayor crecimiento de toda la parte aérea. Se considera que este elemento tiene gran influencia, en cuanto a la variable altura, ya que es el elemento que las plantas absorben en mayores cantidades y desempeña un papel importante en el desarrollo y funcionamiento de las estructuras vegetales. El nitrógeno, además de fomentar el desarrollo vegetativo e impulsar la producción de follaje de buena calidad facilita la producción de carbohidratos ayudando a la succulencia (Tamhane *et al.*, 1978) y a lo mencionado por Tisdale y Nelson (1982), al afirmar que la velocidad del desarrollo de las plantas depende más del nitrógeno que de ningún otro elemento.

Alarcón e Iglesias desarrollaron un experimento similar en *Pinus durangensis* Mtz., durante 10 meses empleando dos rutinas de fertilización más altas de N, P, y K, respecto a los tratamientos utilizados en el presente experimento, sin embargo esos resultados no fueron capaces de superar los 15 cm de altura, aunque hay que tomar en cuenta que tanto *Pinus durangensis* como *Pinus cembroides* son muy diferentes en cuanto a su naturaleza.

En cuanto a *Pinus pseudostrobus*, las diferencias estadísticas significativas en la variable peso verde de la raíz en la tercer evaluación, en el cual el tratamiento 2 se comportó como el más prometedor al producir plantas con mayor peso verde de la raíz,

lo cual puede atribuirse a que este tratamiento es el que contiene el mayor contenido de nitrógeno, el cual además de contribuir al crecimiento y desarrollo de la planta, según Tamhane *et al.* (1978) incrementa la capacidad de intercambio de cationes de las raíces de las plantas, lo cual implica un mayor desarrollo radicular.

De forma general, en el caso de las variables estudiadas para cada una de las especies en las cuales los diferentes tratamientos empleados en el presente experimento no registraron diferencias estadísticas significativas (Apéndice), pudiera atribuirse a: el número reducido de plantas utilizadas por cada unidad experimental, al reducido número de repeticiones por tratamiento, a la falta de un testigo y posiblemente a que las cantidades de fertilizante no fueron las suficientes para producir tales diferencias en las variables estudiadas.

Además de lo antes mencionado, cada especie podría tener necesidades diferentes y respuestas distintas a la fertilización, además cada una de ellas es diferente en su naturaleza y lógicamente sus requerimientos nutricionales son distintos. Lo cual también puede confirmarse con lo señalado por Tisdale y Nelson (1982) al afirmar que cada especie, sus variedades y aún individuos de una misma especie, tienen distintos requerimientos nutricionales y niveles de absorción.

6 CONCLUSIONES

Estadísticamente a la edad de 9 meses, las plántulas de las especies estudiadas apenas comienzan a manifestar la respuesta a la fertilización.

Solamente se presentaron diferencias estadísticas significativas para una sola variable en cada una de las especies estudiadas, en la tercer fecha de evaluación.

En la tercer evaluación, a 9 meses de edad, únicamente para *Pinus pinceana* se indicaron diferencias estadísticas para la variable diámetro de cuello en donde destacó el tratamiento 1, registrando el mayor efecto de la fertilización en cuanto a crecimiento en diámetro de cuello (3.89 mm).

En cuanto a *P. cembroides* solamente se indicaron diferencias estadísticas para la variable altura en la tercer fecha de evaluación a 9 meses de edad, en la cual destacó el tratamiento 2, registró la mayor respuesta en crecimiento en altura (13.30 cm).

En cuanto a *P. pseudostrobus* el análisis de varianza solamente indicó diferencias estadísticas para la variable peso verde de la raíz, en la tercer fecha de evaluación a 9 meses de edad, en la cual destacó el tratamiento 2, registrando la mayor respuesta en cuanto a peso verde de raíz (3.04 g).

Los tratamientos empleados en el presente experimento no se manifestaron de igual forma para las especies involucradas.

7 RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados en el presente estudio se recomienda:

Aumentar el número de unidades experimentales por repetición en futuros trabajos con la finalidad de aumentar los grados de libertad del error y disminuir la varianza del error experimental para tratar de detectar las posibles diferencias entre tratamientos.

Evaluar estas mismas plantas en campo en cuanto a sobrevivencia y crecimiento, para que un análisis económico realizado posteriormente indique si realmente es costeable o no la fertilización en la etapa de vivero y posterior a ésta.

En futuros experimentos incluir testigos.

8 RESUMEN

Durante 9 meses se llevó a cabo un experimento donde se probaron 3 tratamientos con tres dosis de fertilización cada uno, con la finalidad de definir el tratamiento adecuado para *Pinus pinceana*, *P. cembroides* y *P. pseudostrobus* utilizando como, medio de cultivo una mezcla compuesta por peat-moss 66.6 % y perlita 33.3 %, en etapa de vivero, bajo condiciones de invernadero.

El experimento se realizó en el invernadero de alta tecnología de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, en Buenavista, Saltillo, Coah., bajo un diseño completamente al azar, para cada una de las especies, con igual número de repeticiones y con 36 unidades experimentales compuestas por 14 plantas cada una.

Las dosis de fertilización se suministraron una vez por semana, durante siete meses. Las variables bajo estudio fueron: altura, longitud de raíz, peso verde aéreo, peso seco aéreo, peso verde de la raíz, peso seco de la raíz y diámetro de cuello, esta última solo se midió una sola vez al final del experimento.

De acuerdo con los resultados se detectaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), para una sola variable de cada especie estudiada en la tercera y última evaluación.

En el caso de *Pinus pinceana*, en la variable diámetro de cuello, sobresalió el tratamiento 1, registrando el mayor valor (3.90 mm), seguido por el tratamiento 2 (3.10 mm) y finalmente por el tratamiento 3 que registró el menor valor (2.80 mm)

En el caso del *P. cembroides* en la variable altura, sobresalió el tratamiento 2, registrando el mayor valor (16.80 cm), seguido por el tratamiento 3 (14.10 cm) y finalmente por el tratamiento 1 que registró el menor valor (13.30 cm).

En tanto para *P. pseudostrobus* en la variable peso verde de la raíz, sobresalió el tratamiento 2, registrando el mayor valor (3.04 g), seguido por el tratamiento 3 (2.75 g) y finalmente por el tratamiento 1 que registró el menor valor (1.38 g)

Los tres tratamientos empleados en el experimento consistieron en tres dosis de fertilización cada uno, de los cuales el tratamiento 1 se caracteriza por tener el más alto contenido de potasio, el tratamiento 2 por tener el más alto contenido de nitrógeno y el tratamiento 3 por tener el más alto contenido de fósforo.

9 LITERATURA CITADA

Alarcón B., M. y L. Iglesias G. 1992. Influencia del sustrato y la fertilización sobre el desarrollo de *Pinus durangensis* Mtz., en invernadero. Ciencia Forestal. 17 (71): 27-61

Alpi, A. y F. Tognoni. (1999). Cultivo en invernadero. Ediciones Mundi-Prensa. España. 347 p.

Bernat J., J. A. y J. Martínez. 1990. Invernaderos (Construcción, manejo, rentabilidad). Editorial Aedos. Barcelona, España. 190 p.

Binkley, D. 1993. Nutrición forestal. Editorial Limusa. Grupo Noriega Editores. México. 340 p.

CETENAL. 1977. Carta topográfica Saltillo G14C33. Escala 1:50,000. S. P. P. México.

Cetina A., V. M.; V. A. González H. y J. J. Vargas H. 1999. El manejo en vivero de *Pinus greggii* Engelm. y la calidad de planta. *Agrociencia*. 33: 423-430

Cozzo, D. 1976. Tecnología de la forestación en Argentina y América Latina. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 610 p.

Domínguez V., A. 1997. Tratado de fertilización. Grupo Mundi - Prensa. España. 613 p.

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

Espejel C., O. 1993. Efecto de diferentes regímenes de fertilización sobre el crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. en etapa de vivero. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. 66 p.

Fowells, H. 1959. Mineral nutrition of trees. A Symposium. The Determination of macro-element requirements of forest trees. Duke University-School of Forestry. Bulletin 15. Durham, North Carolina. U.S.A pp. 9-17

Francoise, R. M. 1977. Notas sobre el estudio ecológico y fitográfico de los bosques de *Pinus cembroides* Zucc. Ciencia Forestal 10: 49-58.

García A., A. y M. S. González E. 1998. Pinaceas de Durango. Instituto de Ecología, A.C. Durango, México. 179 p.

Hartman, H. T. y D. E. Kester. 1999. Propagación de plantas. CECOSA. México. 760 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. México

Ingestad, T. 1979. A definition of optimum requirements in birch seedlings. Physiologia Plantarum. 46: 31-35

Matallama, G. y J. I. Montero C. 1995. Invernaderos (Diseño, construcción y climatización). Ediciones Mundi-Prensa. España. 209 p.

Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Segunda Edición, Editorial Botas. México. 361 p.

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

Perry P., J. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. U.S.A 231 p.

Romero F., E. 1988. Invernaderos para producción de hortalizas y flores. S.A.R.H. Folleto Técnico No. 2. Gómez Palacio, Dgo. 52 p.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432 p.

Smith H., W. 1970. Tree pathology: A short introduction. The mechanisms and control of pathological stresses of forest trees. Yale University. New York. U.S.A pp. 38-50

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 L., S. y Nelson W. L. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. UTEHA. México. 760 p.

Venator, Ch. y H. L. Liegel, 1985. "Manual de viveros mecanizados para plantas a raíz desnuda y sistema semimecanizado en recipientes menores a 130 cc. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Programa Nacional Forestal. Quito, Ecuador. 152 p.

APÉNDICE

Apéndice 1. Análisis de varianza de las medias de la variable diámetro de cuello, evaluación 3, para *Pinus pinceana*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadros	Cuadrado de la Media	Valor de F	Pr \geq F
Modelo	2	2.751	1.375	5.07	0.033
Error	9	2.440	0.271		
Total	11	5.192			

Corregido				
C.V. = 16.1 %				

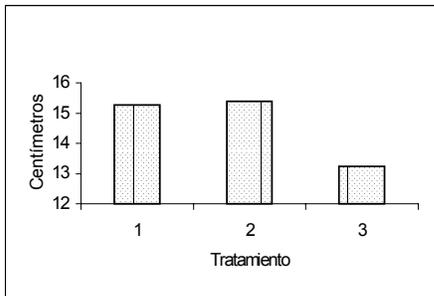
Apéndice 2. Análisis de varianza de las medias de la variable altura, evaluación 3, para *Pinus cembroides*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadros	Cuadrado de la Media	Valor de F	Pr \geq F
Modelo	2	26.576	13.288	10.40	0.004
Error	9	11.494	1.277		6
Total Corregido	11	38.070			
C.V. = 7.7 %					

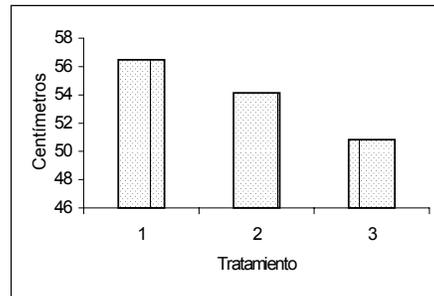
Apéndice 3. Análisis de varianza de las medias de la variable peso verde de la raíz, evaluación 3, para *Pinus pseudostrobus*

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadros	Cuadrado de la Media	Valor de F	Pr \geq F
Modelo	2	6.316	3.158	4.31	0.048
Error	9	6.599	0.733		7
Total Corregido	11	12.915			
C.V.= 35.9 %					

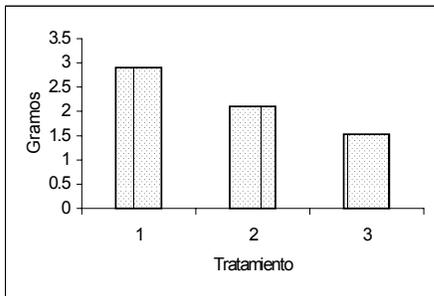
Apéndice 4. Tendencia de la respuesta a la fertilización en *Pinus pinceana* de los diferentes tratamientos para cada variable estudiada.



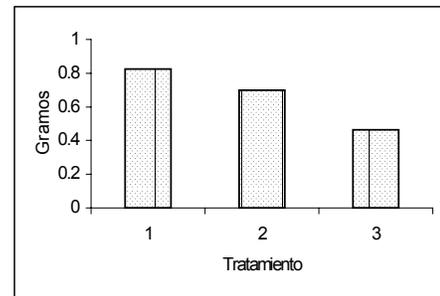
a) Altura



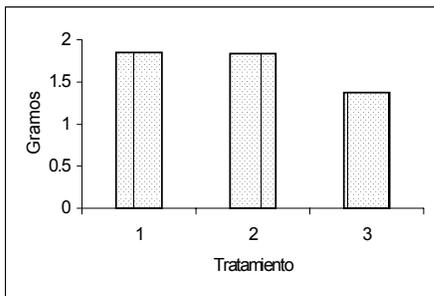
b) Longitud de raíz



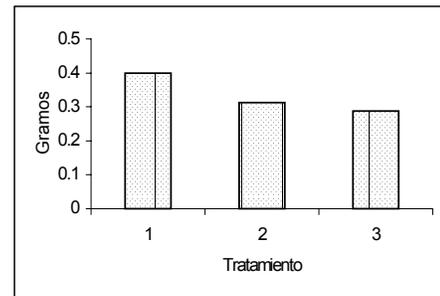
c) Peso verde aéreo



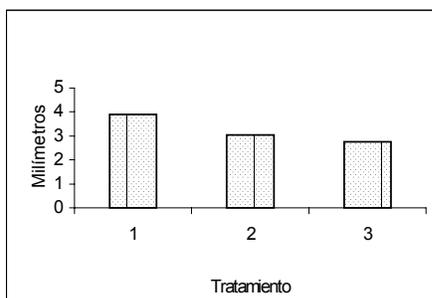
d) Peso seco aéreo



e) Peso verde de la raíz

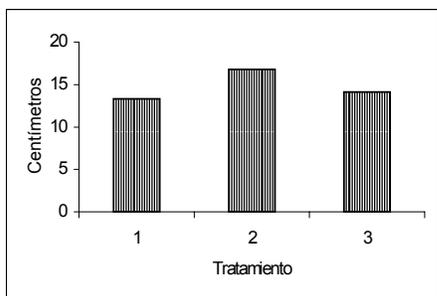


f) Peso seco de la raíz

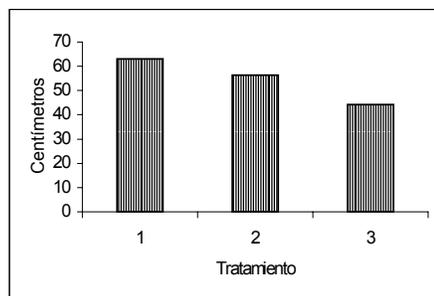


g) Diámetro de cuello

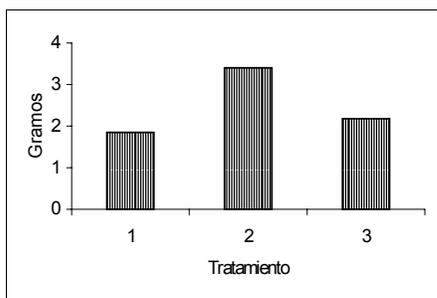
Apéndice 5. Tendencia de la respuesta a la fertilización en *Pinus cembroides* de los diferentes tratamientos para cada variable estudiada.



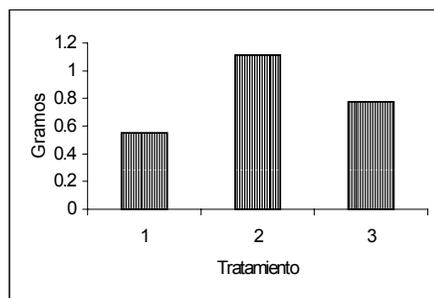
a) Altura



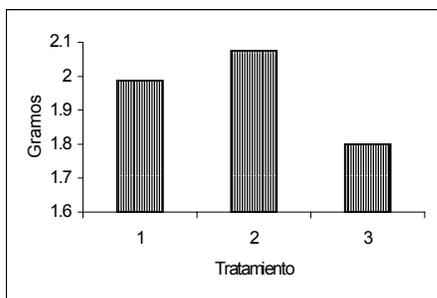
b) Longitud de raíz



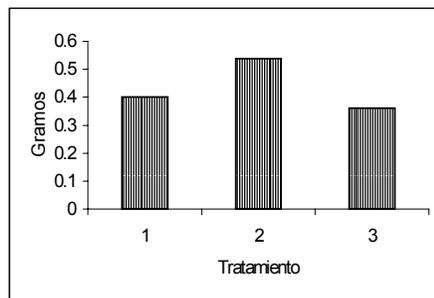
c) Peso verde aéreo



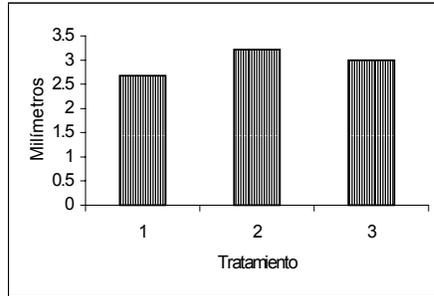
d) Peso seco aéreo



e) Peso verde de la raíz

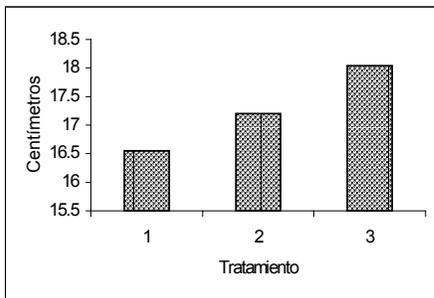


f) Peso seco de la raíz

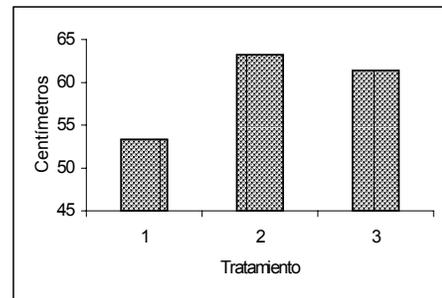


g) Diámetro de cuello

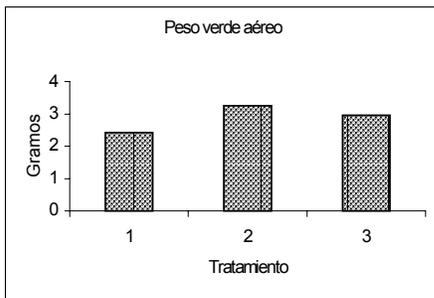
Apéndice 6. Tendencia de la respuesta a la fertilización en *Pinus pseudostrobus* de los diferentes tratamientos para cada variable estudiada.



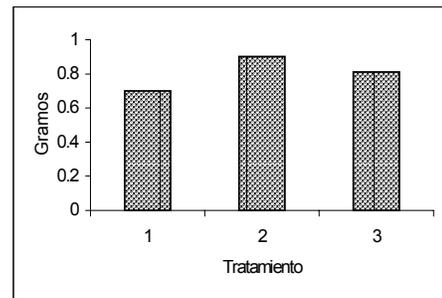
a) Altura



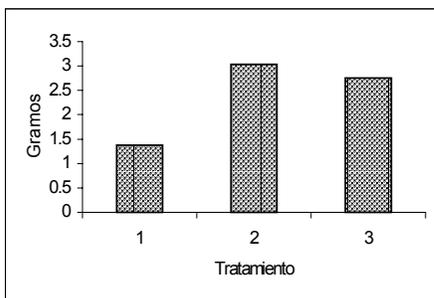
b) Longitud de raíz



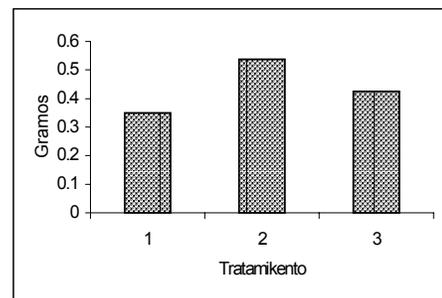
c) Peso verde aéreo



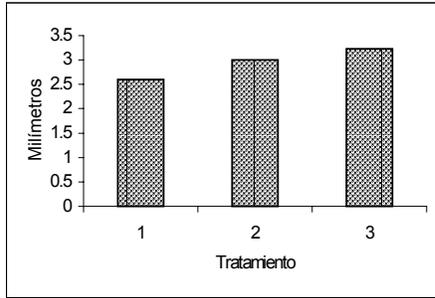
d) Peso seco aéreo



e) Peso verde de la raíz



f) Peso seco de la raíz



g) Diámetro de cuello