

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. General

Mejorar cualitativamente la producción de la especie *Celtis laevigata* Willd. en viveros, mediante la utilización de factores que puedan ser controlados, como la forma de los riegos, las mezclas de los substratos y la aplicación de diferentes fertilizantes para un mejor desarrollo y mayor vigor de las plántulas.

1.1.2. Especificos

- a) Probar sistemas de producción en el vivero, utilizando dos tipos de riego, cuatro substratos y cuatro tipos de fertilizantes.
- b) Comparar estadísticamente las hipótesis planteadas, para los factores propuestos y sus interacciones, probando los efectos en el desarrollo de la plántula, por medio de un modelo factorial.
- c) Calcular y comparar los parámetros de índice de calidad de las plántulas, entre las alturas, diámetros, pesos de la parte aérea, radicular y total, cocientes de equilibrio entre estos parámetros, cocientes de reducción de los pesos y porcentajes de raíz.

1.1.3. Hipótesis

Existen diferencias de efectos en el crecimiento de la plántula entre:

- a) Los factores principales, riegos, substratos y fertilizantes;
- b) La interacción de dos factores riego - substrato, riego - fertilizante y substrato - fertilizante;
- c) La interacción de tres factores riego - substrato - fertilizante, con los parámetros de índices de calidad.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. CONTENEDORES DE POLIETILENO

Los contenedores de polietileno son los más utilizados, en el mundo y especialmente en América Latina, por la simple razón de ser baratos, fáciles de transportar y almacenar. Desafortunadamente estos contenedores generalmente producen plántulas con sistemas radiculares pobremente formados, formando una espiral a los lados y al fondo del contenedor con paredes suaves, esto se agrava mucho más aún cuando las plántulas se encuentran más tiempo en el vivero y en el mismo contenedor. Otra razón, es en la colocación de los contenedores uno al lado del otro y en el suelo donde las raíces más agresivas se desarrollan y penetran en el suelo. (Landis, 1995)

Los tipos de contenedores y las dimensiones de estos ejercen influencias sobre la calidad y los costos de producción de las plántulas. La forma del recipiente debe evitar el crecimiento de las raíces en espiral y el doblado de la raíz pivotante. El material de que esta hecho, no debe desintegrarse durante el desarrollo de la planta en el vivero. El volumen es otro de los factores que se deben considerar para un desenvolvimiento adecuado de las plántulas y la garantía del éxito de la plantación. (Carneiro, 1991)

Por lo que, muchos especialistas opinan que los contenedores de polietileno en los viveros deben sustituirse por contenedores de plástico duro con costillas internas, para controlar la raíz en espiral. Se ha venido desarrollando un programa con viveros en México en coordinación con CEFORA (Centro para la Reforestación de Las Américas) en la Universidad Estatal de Nuevo México (NMSU), con el que se busca un desarrollo de "tecnología adecuada" en viveros redituables y en contenedores de polietileno. En pruebas de invernadero, Phillips y Mexal (Carneiro, 1991) han demostrado que se pueden obtener plántulas de alta calidad en contenedores de polietileno, utilizando contenedores de polietileno en tubo, ya que estos eliminan en gran parte el enraizado en

espiral y mantenerla arriba del suelo para promover la poda de raíces por el aire, como los bancales o mesas de propagación.

Las plantas en contenedor deben ser manejadas como un producto perecedero con vida limitada. Si sus raíces llenan el contenedor, estas deben de ser transplantados a un contenedor más grande o a camas de raíz desnuda.

En estudios de la influencia de los recipientes, en la formación de las plántulas de *Mimosa scabrella*, se concluye que el diámetro a la altura del cuello de la raíz y el peso de la materia seca de la parte aérea y el sistema radicular, fueron mayores en recipientes de mayor volumen. (Sturion, 1980) Elam et al, 1981 en el análisis de *Quercus falcata* var. *pagodifolia*, *Q. muttalli*, *Q. shumardii* y *Q. nigra*, concluyeron que la altura aérea y la proporción parte aérea/parte radicular son afectadas por las dimensiones de los recipientes. Se encontraron también mejores respuestas de sobrevivencia y desarrollo en contenedores de 103 m³ comparadas con 0.6 m³. (Goodwin et al, 1982) En experimentos de comparación de contenedores de paper pot® y "xaxim" y en diferentes volúmenes, el "xaxim" y el de mayor volumen presento mejor desarrollo. (Carneiro, 1991)

2.2. SUBSTRATOS

El sustrato es tal vez uno de los mayores componentes en importancia, para la producción de plántulas de calidad, por que dependen de ella, el alto porcentaje de germinación, el desarrollo y calidad de la planta, como su adaptabilidad en el lugar de plantación y sobrevivencia. (HFF, 1997)

Generalmente la tierra de monte es más utilizada, por ser más fácil de conseguir, pero sin embargo los viveristas se adecuan a utilizar la que encuentren más cerca y un solo sustrato, por lo que se presentan diversos problemas en la producción, como el volumen restringido, nivel alto de agua, relación desbalanceada de microorganismos y falta de estructura del suelo. (Alarcon, 1992)

En los cultivos en bolsas, la calidad del sustrato se hace más importante, por las alteraciones que sufre el sistema radicular. Estas alteraciones serían: (Belle y Kampf, 1993; Añez et al, 1995)

- El pequeño volumen del recipiente, provoca un incremento en la concentración de raíces, las cuales demandan alto suministro de oxígeno y remoción del dióxido de carbono.

- La gran cantidad de agua necesaria para el crecimiento, debe estar disponible en el restringido volumen del sustrato.
- La pequeña altura del recipiente dificulta el drenaje con posible estancamiento del agua.
- La alta frecuencia de riego puede ocasionar pérdidas de nutrimentos por lixiviación.

Según Phillips y Mexal (Landis, 1995), se requieren modificaciones importantes en el cultivo de plántulas, para una producción de calidad. Por tanto recomiendan que:

- Los sustratos a base de suelos deben de ser mejorados con otros componentes para promover la aireación y el drenaje con una alta capacidad de retención de agua.
- Combinación de sustratos adecuados con fertilizantes, pueden proveer nutrientes requeridos para un rápido crecimiento de la plántula, pero que tengan una compatibilidad con el suelo nativo.
- Cuando se presenta el enraizado en espiral, se aplica la poda de raíces, antes de la plantación, es decir, puede ser eliminada la base de la bolsa de plástico, o removida del contenedor, y podada, e incluso se puede sumergir en material de polímeros suber-absorbentes u otro material que retenga agua, para después ser plantada.
- Y por último se debe tener cuidado en el transplante del almácigo al contenedor, sin dejar pasar el tiempo, para no dejar crecer la raíz y no colocarla doblada ni dañarla en el proceso. Esta puede ser evitado con la siembra directa de muchas especies.

2.2.1. Requerimientos funcionales del sustrato

El **agua**, debe ser retenida por el sustrato, para alcanzar el agua aprovechable por la planta; por tanto, tener alta capacidad de retención de humedad. (Iglesias y Alarcon, 1994; Ortiz y Ortiz, 1984)

El sustrato debe tener **aire**, para sus actividades de respiración aeróbica en el intercambio de CO₂ y O₂, por tanto, debe ser suficientemente poroso. (Iglesias y Alarcon, 1994; López, 1997; Ortiz y Ortiz, 1984)

Aplicando dosis elevadas de abonos orgánicos el contenido de CO₂ en el suelo puede aumentar hasta un 10 %, pero los fenómenos tóxicos son a partir del 4 o 5 %, por lo que no se recomienda plantar inmediatamente de las estercoladuras, sobre todo en la primavera. (Ortiz y Ortiz, 1984) La

aereación, solo ocurre cuando los poros no están completamente llenos de agua, consistiendo en la difusión del oxígeno a través del sustrato, para las raíces, y el dióxido de carbono y otros gases de las raíces hacia la superficie de las camas; la difusión es mucho menor por el agua que por el aire. (Warkentin, 1984)

Las plantas absorben 20 **nutrientes** esenciales, C, H, O, N, P y K componentes de proteínas y el Ca, Mg, K, Fe, Mn, Mo, Cu, B, Zn, Cl, Na, Co, V y Si, los últimos 4 son elementos debatidos aún. Por tanto, el sustrato debe tener alta capacidad de intercambio catiónico CIC. (Iglesias y Alarcon, 1994; Tisdale y Nelson, 1982)

La función final del sustrato, es proporcionar un **sporte físico** a la planta verticalmente, entonces el sustrato debe estar en función de su densidad y rigidez. (Iglesias y Alarcon, 1994)

2.2.2. Consideraciones ideales para un sustrato

El **pH** o potencial Hidrógeno, afecta en la disponibilidad de nutrientes minerales. (Iglesias y Alarcon, 1994; Carneiro, 1995) En un sustrato forestal el pH debe ser arriba de 4.5 para que los nutrientes estén disponibles. (Carneiro, 1995) y no debe ser superior a 6.5 para evitar enfermedades bióticas y clorosis. (Wakeley, 1954) El Servicio Forestal de E.U.A., muchas especies forestales en viveros se desarrollaron adecuadamente con pH entre 5 y 6. (Forest Service, 1961) La mayoría de las coníferas, crecen mejor en pH entre 4.5 y 5. (Aldhous, 1975) Por otra parte, para coníferas se sugiere un pH de 5.5 y para latifoliadas hasta 6. (Deichmann, 1967) En pH de 6.5-7.5 los fertilizantes a base de: N, P, K, S, Ca y Mg se hacen más disponibles. (May, 1984)

La **capacidad de intercambio catiónico CIC**, es la habilidad de absorber iones de carga positiva (cationes) ya que son, la mayor parte de los minerales esenciales absorbidos por las plantas de esta forma; como el Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, H y NH_4^+ . (Pritchett, 1986) Es un indicador del mantenimiento de nutrientes y el potencial de fertilidad del sustrato, sin perder los nutrientes por lixiviación. Un crecimiento del CIC, en la práctica es posible con el aumento del contenido de materia orgánica o corrección de pH del sustrato. (Iglesias y Alarcon, 1994; Carneiro, 1995) El Servicio Forestal de E.U.A. recomienda para viveros forestales, que los valores del CIC sean de 7 a 10 meq / 100 g. Los suelos ácidos tienen apreciables cantidades de H^+ , los calcáreos un 100% de Ca^{++} y los alcalinos con más del 15 % de Na^+ , de cationes intercambiables; la aplicación de fertilizantes con K aumenta

la cantidad de K^+ intercambiable. (Foerst Service, 1961) La CIC puede ser alterada por el tamaño de las partículas, la temperatura, el medio externo y la alteración de las posiciones de cambio. (Ortiz y Ortiz, 1984) La arcilla tiene cargas negativas que puede absorber partículas de cargas positivas, como H^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{++} , y Mg^{++} y la materia orgánica coloidal (humus) con mayor cantidad de cargas negativas que las partículas minerales, en peso seco. (Driessche, 1984) Materiales como el aserrín, paja, corteza y fertilizantes verdes, contienen menores valores de CIC que la turba. Como regla general, con 1 % más de materia orgánica, hay un aumento de 2 meq/100g de CIC. (May, 1984)

Es recomendable, un bajo nivel de **fertilidad** inicial en el substrato, en las primeras semanas de producción en contenedores, por la alta concentración de nitrógeno y minerales que estimulan hongos causantes del "Damping-off". (Iglesias y Alarcon, 1994) Muchas especies arbóreas no requieren fertilizantes en su inicio de crecimiento, a no ser el fósforo. (Carlson, 1983) Cualquier práctica que reduzca sustancialmente la acidez del suelo, puede causar deficiencia de Fe, Mg, Cu, B o Zn en suelos con bajas reservas de estos; el Fe es el elemento que se ha reportado con mayor frecuencia, sobre todo en viveros, y el Cu en suelos orgánicos. (Pritchett, 1986)

Con una adecuada **estructura porosa balanceada** existe un buen intercambio de gases para el sistema radicular, afectando en la absorción de agua y nutrientes, esto para el crecimiento de la plántula en contenedores, se puede expresar como porcentaje de porosidad y son afectados por el tamaño de las partículas individuales, características de las partículas, mezcla del tamaño de partículas, cambios de la porosidad con el tiempo, forma y arreglo en el espacio de las partículas del substrato. (Iglesias y Alarcon, 1994; Hartmann y Kester, 1995) Una buena aereación favorece la absorción del agua, el oxígeno y los nutrientes minerales. (Pritchett, 1986) La altura de los contenedores es el factor que controla la aereación del substrato. (Milks et al, 1989) Ordinariamente las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas cultivables, se obtienen cuando 1/3 del espacio poroso del suelo está ocupado por aire y 2/3 por el agua. (Ortiz y Ortiz, 1984)

Un substrato bien formulado contiene entre 60-80 % de porosidad. (Handreck y Black, 1984) Una mezcla de dimensiones de los poros mejora las condiciones físicas, que aquellos que tienen poros de dimensiones homogéneas. (May, 1984) Cuando los poros son de diámetros menores que 0.03 mm, el agua es retenida con una fuerza mayor que la gravedad, lo que haría que no exista aereación

y si esta es de un mínimo de 10 %, inhibe el desarrollo de las plántulas, por lo que se considera un mínimo de 20 % de aereación. (Aldhous, 1975)

El substrato también debe estar **libre de patógenos o plagas**, hongos, insectos, nemátodos, semillas de malezas y otros, especialmente aquellos compuestos con suelo de monte, por lo que es necesario realizar tratamientos de control en los suelos, *con calor* o con agroquímicos. Los substratos artificiales en su fabricación son esterilizados, sin embargo en algunos casos como en la turba se pueden encontrar algunos microorganismos. (López, 1997; Iglesias y Alarcon, 1994; Hartmann y Kester, 1995)

Se debe considerar también la **manipulación y operación** del substrato en el vivero; el costo, disponibilidad, uniformidad, densidad, estabilidad, durabilidad, facilidad de almacenaje, fácil de mezclar, de preferencia liviana, capacidad de rehumedecimiento y formación del cepellón. (López, 1997; Iglesias y Alarcon, 1994)

2.2.3. Componentes del substrato

La mayoría de los substratos se preparan con dos o más componentes seleccionados para aportar las propiedades físicas, químicas o biológicas deseables; sin embargo, no existe un substrato que pueda ser usado para todos los propósitos. Un substrato típico actual es una mezcla de dos o tres componentes. La mezcla de componentes orgánicos e inorgánicos es la más aceptable, por sus propiedades físicas y químicas, pueden ser complementarias. (Iglesias y Alarcon, 1994 y 1997) En el presente trabajo se optó por aumentar un componente más, la tierra de monte.

2.2.3.1. El suelo

Un suelo esta formado por materiales en estado sólido, líquido y gaseoso. Para un crecimiento adecuado de la planta, estos deben estar presentes en las proporciones adecuadas. (Hartmann y Kester, 1995)

- **Estado sólido**, esta formada por compuestos orgánicos e inorgánicos. Los inorgánicos están compuestos por los residuos de la descomposición de las rocas maternas, resultante de los procesos físicos y químicos de intemperización. Mientras que los orgánicos, están formados por

organismos tanto vivos como muertos, tales como los insectos, hongos, bacterias, raíces y material vegetativo, en descomposición o no. (Hartmann y Kester, 1995)

- **Estado líquido**, es la solución del suelo, formada por agua con diversos minerales disueltos, así como el oxígeno y bióxido de carbono. (Hartmann y Kester, 1995)
- **Estado gaseoso**, esta formada por el aire entre las partículas del sustrato, microporos y macroporos, lo que hacen un total de poros, principalmente para la respiración de la planta con el intercambio del oxígeno y el bióxido de carbono. (Hartmann y Kester, 1995)

2.2.3.2. Componentes orgánicos

La principal función de los componentes orgánicos es de proveer microporos, generando un aumento en la retención de humedad, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), reteniendo iones nutritivos y suficiente resistencia a la compactación. (Iglesias y Alarcon, 1994 y 1997; Alarcon, 1992; López, 1997) La cantidad en un sustrato es muy variada. Greech et. al., sugiere una mezcla de 25 a 50 %. (López, 1997) También encontraron que la mejor proporción es de 40 a 50 %. (Joiner y Conover, 1965) Se reportó que mezclas con más de 50 % pueden tener mejor espacio aéreo. (Harlass, 1984) Se recomienda la adición de materia orgánica como la forma más fácil de cambiar las características físicas, provocando estabilidad estructural y adecuación del tamaño de los poros. (Warkentin, 1984). Entre los compuestos orgánicos que se pueden encontrar y utilizados en el presente trabajo son:

- **Turba**, está formada por restos de vegetación acuática, de pantanos, o marismas, que han sido conservados debajo del agua en estado de descomposición parcial. Sus variaciones varían por la vegetación, estado de descomposición, contenido de minerales y grado de acidez. La oficina de Minas de EUA reconoce tres tipos de turbas: la **turba de musgo**, derivados de musgos; la **turba de Juncos**, derivada de restos de gramíneas, juncos y otras plantas de pantano; y la **turba humosa**, cuando se encuentra en un estado de descomposición muy avanzado, donde es difícil identificar el material de origen. (Hartmann y Kester, 1995) Presenta buena porosidad, capacidad de retención de humedad, valores altos de CIC y no necesita desinfectarla. (Alarcon, 1992; Iglesias y Alarcon, 1994) Partículas entre 0.8 a 6.0 mm favorecen la retención de

humedad y aereación.(Puustjarvi y Robertson, 1975). Sun Gro[®], s/a, presentan productos canadienses de turba, como la Sunshine, profesional Peat Moss. Material usado en el presente trabajo, turba a base musgo y/o restos de pantano, según el tamaño de las partículas, se presenta en cuatro tipos de producto: El Verde (menos fibroso), el Anaranjado, el Blanco y el Azul (más fibroso).

- **Corteza de árboles**, especialmente la corteza molida de pino es muy usada. Es recomendada para incrementar la porosidad, es ácida por naturaleza, con baja fertilidad de origen, buena porosidad y alta CIC y es mucho más barato que la turba. El tamaño de las partículas es muy importante. Por lo tanto, se debe moler y cribar a 2 a 2.5 mm de tamaño. Contiene poca fibra y poco nitrógeno. (Alarcon, 1992; Iglesias y Alarcon, 1994 y 1997) El tamaño de partículas de corteza de pino molido entre 0.25 a 0.5 mm favorecen la aereación y retención de humedad, sin embargo entre 0.1 a 0.25 mm, fueron mejores en la retención de agua. (Handreck y Black, 1984)
- **Germinaza**, producto de México, que se deriva de la cascara de coco molido y enriquecida con macro y micronutrientes (no detallado), tiene buen contenido de fibra, buena capacidad de intercambio catiónico y porosidad, con un grado de descomposición insuficiente, es estéril, tiene un pH de 6.3 a 6.5, es capaz de absorber 3 a 4 veces su peso. Recomiendan que una excesiva humedad en las charolas, combinado con una deficiente ventilación y una inadecuada temperatura, es factor detonante para la proliferación de hongos. (Alarcon, 1992; Iglesias y Alarcon, 1994 y 1997; Germinaza[®]s/a)

2.2.3.3. Componentes inorgánicos

Los componentes inorgánicos generalmente proveen macroporos, mejoran la aereación y el drenaje. Los materiales son inertes con alta densidad aparente, dando estabilidad a los envases individuales. (Iglesias y Alarcon, 1994; López, 1997). Uno de estos es utilizado en la presente investigación:

- **Perlita**, comercialmente llamada hortiperl, es un mineral silíceo de aluminio, con color blanco grisáceo, de origen volcánico. Se tritura, se criba y calienta a temperaturas elevadas, produciendo partículas estériles, blancas, esponjosas y livianas, pesan sólo 80 a 130 Kg por m³,

absorbe agua 3 a 4 veces su peso, no se comprime o compacta fácilmente, creando una buena porosidad en las mezclas, por tanto tienen una buena aereación, el agua se adhiere en la superficie de la partícula y crea un buen drenaje del agua excedente. Es de un pH 6 a 8. Tiene muy bajo CIC y no contiene nutrientes minerales. Puede ser usado como aislante de temperaturas extremas. No se pudre y es esterilizada no tóxica. Proporciona una reducción del trabajo en la preparación de sustratos. (Alarcon, 1992; Iglesias y Alarcon, 1994 y 1997; Hartmann y Kester, 1995; Termolita[®], s/a)

2.2.4. Consideraciones en las mezclas

El mezclado es uno de los pasos más importantes para la obtención de sustratos para cultivo. Generalmente se usa, suelo arenoso de monte y materia orgánica, por tanto, se deben cribar para uniformizar y eliminar las partículas grandes, en caso de estar muy seco humedecer ligeramente, mezclar manualmente o mecánicamente hasta homogeneizar y tener mejor textura sin provocar compactación. Es recomendable esta preparación 24 horas antes de usarla, no se debe sobre mezclar para no pulverizar las partículas, en algunos casos disminuye la CIC. Ante cualquier evidencia de patógenos o plagas, es recomendable desinfectar con calor o agroquímicos. (Iglesias y Alarcon, 1994 y 1997; Hartmann y Kester, 1995) Las mezclas recomendadas son: 2:1:2 de perlita o arena, suelo y materia orgánica (suelo pesado); 1:1:1 de perlita o arena, suelo y materia orgánica (suelo mediano); 1:1 de materia orgánica y suelo (suelo ligero) respectivamente (Hartmann y Kester, 1995) Los viveros Pichisa en Chihuahua utilizan una mezcla de 25 % de Germinaza, 25 % de perlita y 50 % de azolve de río. (Iglesias y Alarcon, 1994) En estudios de desarrollo de plántulas de *Didymopanax morototoni* (morototó), se recomienda una mezcla de latosolo amarillo 60 %, 20 % de arena y 20 % de materia orgánica (compuesta de 40 % de paja de arroz, 40 % de *Pueraria phaseoloides* parte aérea triturada y estiércol de ganado 20 %). (Marques y Yared, 1984)

2.3. FERTILIZANTES

El criterio inicial tuvo su fundamento. En efecto, se creía que, si bien el árbol consumía nutrientes de un volumen considerable de suelo, también los reintegraba con gran volumen de materia orgánica

constituido por la caída de sus hojas y ramas. Sin embargo no se pensó en que este aporte de materia orgánica del bosque a los suelos forestales disminuye considerablemente a causa de aclareos, incendios, erosión, pastoreo, etc., con lo que se rompe el ciclo natural de extracción y restitución de los nutrientes, creando así suelos forestales deficientes en alguno o varios de los elementos nutritivos. (Baule, s/a) A pesar de su fertilidad distinta, se aplican tipos y dosis de fertilización, pero las rutinas indiscriminadas de fertilización no ayudan a un buen desarrollo de la plántula; incluso se utilizan los fertilizantes formulados para cultivos agrícolas, como la urea que es considerada para terreno abierto y no para envases. En un programa de fertilización se debe mantener concentraciones específicas de los nutrientes esenciales en el sustrato, el balance entre los nutrientes y los cambios de estos durante su crecimiento, caso contrario el uso excesivo de nutrientes pueden causar un crecimiento excesivo de la parte aérea y/o toxicidad de la plántula, especialmente con el nitrógeno. (Iglesias y Alarcon, 1994)

Debido al pronunciado efecto de la fertilización sobre el crecimiento de las plántulas, los niveles de nutrición se ajustan normalmente a tres etapas de desarrollo en la planta: a) etapa de establecimiento, la cual cubre emergencia y crecimiento de la plántula en su fase cotiledonal; b) etapa de crecimiento rápido donde la plántula crece en altura a un ritmo exponencial; y c) etapa de intemperización, templamiento o endurecimiento, la cual empieza cuando la plántula manifiesta yema terminal formada y el crecimiento de ramillas, y la altura total se detiene, no así el crecimiento del diámetro del tallo principal que se incrementa. (Alarcon, 1992)

2.3.1. Nutrientes esenciales para las plantas

Las plantas requieren alimentos para su crecimiento y desarrollo, los cuales están compuestos de ciertos elementos químicos o alimenticios, generalmente son considerados 16 como esenciales: El C, O y H, son obtenidos del agua y del aire, que constituyen la mayor parte del peso de la planta.

Los 6 macronutrientes, el N, P y K, considerados como nutrientes mayores, es usado en grandes cantidades por las plantas, y el Ca, Mg y S, llamados nutrientes secundarios, por su importancia en la manufactura de los fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos. Los 7 micronutrientes, Fe, Mn, B, Mo, Cu, Zn y Cl, que son usados en pequeñas cantidades por la planta, sin embargo son tan esenciales, como el grupo NPK. El Na, Co, V y Si, son elementos que se encuentran aún en

discusión para ser considerados esenciales en forma general. (Ortiz y Ortiz, 1984; Baule, s/a; Tisdale y Nelson, 1982)

De los tres elementos mayores el nitrógeno es el que tiene más influencia sobre la cantidad de desarrollo vegetativo. Para esto, se sugiere algunos **fertilizantes orgánicos** como harinas de sangre, de pezuña o cuerno aplicadas a razón de 1 cucharadita colmada a una planta en contenedor de 3.8 L y de harinolina agregar el doble. (Hartmann y Kester 1995) Los **fertilizantes inorgánicos** primarios fueron las cenizas y con base de los conceptos básicos de Liebig, los fertilizantes dependen del grado considerable de N, P y K, por lo que, aparecieron fertilizantes nitrogenados a base amoniaco; los fosfatados y los potásicos; pero los fertilizantes portadores de N, P y K, son los más usados en mezclas para dar un determinado "grado de fertilizante", como el 14-7-7, 15-15-15, 18-9-18, 20-10-10, etc. Si hay alguna deficiencia de nutrientes secundarios y micronutrientes, la deficiencia puede corregirse aplicando un material acondicionador del sustrato que contenga el elemento deficiente como constituyente, según el grado de la deficiencia, la aplicación del material. (Ortiz y Ortiz, 1984)

2.3.2. Fertilizantes de liberación controlada

Aún con una buena mezcla de suelo, la fertilización viene a ser una práctica cultural importante, donde, para un programa exitoso de nutrición para los cultivos de plantas en recipientes es convenientemente combinar un fertilizante seco de liberación controlada en la mezcla original con un fertilizante líquido aplicado con intervalos cortos durante la estación de crecimiento o con fertilizantes de liberación controlada. (Davidson y Olney, 1964)

Los fertilizantes de liberación controlada proveen nutrientes gradualmente, en periodos largos y reducen la posibilidad de daños por una aplicación excesiva. Existen tres tipos: a) gránulos o pelets recubiertos, solubles en agua; b) materiales inorgánicos lentamente solubles; c) materiales orgánicos de baja solubilidad que se descomponen poco a poco en forma biológica o por hidrólisis química. (Hartmann y Kester, 1995)

2.3.2.1. Osmocote

Producto de los Estados Unidos de América. Es un fertilizante soluble de N-P-K con diferentes concentraciones, con algunos otros nutrientes Mg, Sulfuro, Mn, Zn, Ca, Cu, Mo y B no detallados, esta recubierto de resina y varios polímeros en forma de cápsulas o granos. Su aplicación puede ser incorporada o aplicada en la superficie del suelo, donde el vapor de agua del suelo penetra la cubierta de resina y disuelve los nutrientes que están dentro, los cuales se difunden gradualmente a través de la cápsula, su duración depende de las concentraciones y la temperatura del suelo; es decir, existen con diferentes concentraciones y duraciones de 3 hasta 14 meses a un promedio de 21°C de temperatura del suelo, en dosis bajas, medias y altas, para su respectiva aplicación por volumen, área o contenedores. Lagunas de las ventajas que tiene este producto son: reducen las pérdidas por lixiviación, teniendo un ahorro adicional en fertilizantes, menor contaminación, reduce la mano de obra y costo del material en cada reaplicación, una aplicación es suficiente para un ciclo completo de cultivo, *se reduce la toxicidad en el uso excesivo y puede usarse diferentes dosis y entre sus desventajas tenemos los cambios de temperatura que hacen variar la velocidad de liberación de cada grano de fertilizante; por tanto, aumenta conforme va aumentando la temperatura del suelo y disminuye cuando se enfría, sin embargo en algún momento llegan a corresponder a las necesidades del desarrollo de las plantas.* (Hartmann y Kester, 1995; Grace y Sierra[®], 1992)

2.3.2.2. Fertilizantes en módulos

Este producto se fabrican en México por Química Foliar S.A. de C.V.. Son polímeros de solubilidad controlada, a base de: demetilol urea y otros polímeros inorgánicos de P y K, con adición de quelatos de Fe, Zn y S, también contienen Mg, Ca, y ácidos fúlvicos. El polímero nitrogenado regula la velocidad de acción y permite la liberación proporcional de los demás nutrientes. Al controlar la liberación de nutrientes, se regula su actividad para que dure de 5 a 12 meses. El N es liberado lentamente en cantidades precisas y no hay exceso que se lixivie, el P por sus cualidades secuestrantes con los metales di y trivalentes no reacciona con otros compuestos que se encuentran en el suelo, el cual evita la fijación de este, lo que ocurre en suelos alcalinos con fertilizantes fosforados, manteniéndose así disponibles para las plantas. El K participa de los problemas del N y P en menor escala, pero con su máximo aprovechamiento. Para la liberación no se requiere de

mucha agua, sin embargo el exceso de ella no perjudica ni acelera el mecanismo, por lo que no se lixivia y en condiciones de sequía disminuyen su actividad; pero no extraen humedad del medio que lo rodea. La aplicación de estos módulos se lleva a cabo una vez al año al inicio de cada temporada y se recomienda un módulo por cada 2.5 cm de diámetro del tronco, por lo que un árbol adulto puede llevar 10 o más módulos.

Cuadro 1: Fórmula de los Módulos Fertilizantes

	Mód. Verdes P/ Crecimiento	Mód. Amarillos P/ Floración	Mód. Fúlvicos Máx. estímulo
N Total	25 %	18 %	25 %
P₂O₅	12 %	20 %	12 %
K₂O	7 %	10 %	7 %
C	16 %	11.5 %	16 %
Ca	0.8 %	1.6 %	0.8 %
Mg	0.7 %	0.9 %	0.7 %
Ac. Fúlvico	—	—	1.5 %
Fe	1.000 ppm	1.000 ppm	1.000 ppm
Zn	1000 ppm	1.000 ppm	1.000 ppm
S	1.200 ppm	1.350 ppm	1.200 ppm
Fito hormona	60 ppm		60 ppm

Fuente: Química Foliar, S.A. de C.V. (Q.F.® s/a)

Su presentación según las fórmulas (dosis) viene en módulos verdes, amarillos y fúlvicos (ver cuadro 1) y en 4 diferentes tamaños denominados Picomódulos, (más pequeño) para semillas distanciadas a 1 cm en siembra directa, para siembra en contenedor a 1/3 de la superficie debajo de la semilla, utilizado también para árboles de 2 semanas a 6 meses; Micromódulo,

para árboles de 6 a 18 meses; Hemimódulos, para 1 a 3 años y Macromódulos, (más grande) para 3 años en adelante, su aplicación en contenedores debajo de la raíz o a un lado de la planta, a 1/3 de la superficie en altura del envase y para árboles adultos en suelo firme a 10 cm de profundidad y al 70 % de la distancia del tronco y el límite de la copa a su alrededor. (Baule, s/a; Q.F.®, s/a)

2.3.3. Fertilizante nitrogenado. Urea

Los fertilizantes nitrogenados pueden clasificarse en sentido amplio como orgánicos naturales y químicos. Los primeros son de origen vegetal o animal, de los cuales se mencionaron algunos en el inicio y la mayoría de los químicos, son derivados de los compuestos amoniacales, su compuesto básico es el NH₃. (Tisdale y Nelson, 1982)

La urea [CO(NH₂)₂] se produce mediante la reacción del amoníaco con dióxido de carbono bajo presión y a una temperatura elevada. Es el material sólido que contiene el porcentaje más alto de nitrógeno utilizable (45 %). Aunque en el mercado no es un fertilizante amónico el que se encuentra,

se hidroliza rápidamente el carbonato de amónico cuando se añade al suelo, este aumenta cuando hay la presencia del enzima ureasea en el suelo. El carbonato amónico es un compuesto inestable y se descompone en amoniaco y dióxido de carbono. El NH_3 o NH_4^+ así liberado es absorbido por la fracción coloidal del suelo y después nitrificado. (Tisdale y Nelson, 1982)

Para su aplicación no es recomendable en la superficie desnuda, por la pérdida por volatilización a causa de la hidrólisis, por tanto, se recomienda debajo de los 3 cm de la superficie. No es aconsejable también que se coloque la urea en contacto del material cultivado, ya que estas pueden dañar a causa del amoniaco, así como las altas concentraciones pueden generar alta toxicidad quemando el material vegetal. Otras de las recomendaciones es la calidad del fertilizante, ya que estos pueden contener compuestos llamados biuret, que es producto de dos moléculas de urea con liberación de amoniaco cuando la temperatura del proceso de fabricación alcanza un cierto nivel, el biuret es tóxico, por lo que puede causar daños a la planta, se recomienda que tenga menos del 1.5 a 2 %. (Tisdale y Nelson, 1982)

Generalmente, la absorción de amoniaco hace que haya una disminución del pH del substrato, teniendo efecto contrario a la absorción de nitrato. Este elemento puede también ser absorbido en la forma de urea. (Locatelli, 1984)

2.4. RIEGOS

Todo sistema de riego debe manejarse debidamente para reducir al mínimo el esfuerzo de las plantas por falta de humedad, lo que les permitirá madurar en el menor tiempo posible. (A.A., 1992)

2.4.1. Movimiento del agua en el suelo

Fuera del principio que dice: "el agua corre pendiente abajo", pocos nos detenemos a pensar en sus movimientos en el suelo. Sin embargo, conocer el aspecto físico de los suelos es de gran utilidad para los cultivos de plantas. Así como la **porosidad** del suelo, explicada en ítem anterior; la **capilaridad** que dependerá de la porosidad, donde actuarán las fuerzas energéticas de movimiento y fuerzas de tensión con que esta retenida el agua, además de la presencia del aire en el suelo; la **retención del agua** esta muy relacionado con la capilaridad, ya que dependerá de los macroporos,

por el cual escurrirá el agua en exceso dejando espacios de aireación y los microporos donde el agua se retiene por más tiempo; y las **fuerzas de movimiento** del agua que generalmente son dos: la gravedad y la succión del suelo por la capilaridad, donde la dirección y la velocidad del movimiento dependen de la combinación de estas dos fuerzas. Entonces el suelo debe ser permeable con una buena combinación de macroporos y microporos. (Obreza, 1992)

2.4.2. Calidad del agua

La calidad del agua es un factor de importancia en la germinación, el enraizado y el cultivo de plantas jóvenes. (Hartmann y Kester, 1995)

Los principales elementos que componen el agua de riego son los cationes Ca, Mg, Na y K y los aniones carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos y boratos. Lo común es ver la salinidad de los suelos por los contenidos de sales en el agua y en los mismos suelos. (López y López, 1985)

Para buenos resultados, el contenido total de sales solubles (combinaciones de cationes como Na, Ca y Mg con aniones como sulfato, cloruro y bicarbonato) en la provisión de agua no deben exceder de 1400 ppm (aproximado 2 milimhos/cm). En concentraciones elevadas pueden afectar las propiedades físicas y tasas de absorción de los suelos o ser tóxicos, prácticamente no usar para riego o aplicar métodos de regulación de calidad. (Hartmann y Kester, 1995)

Las aguas municipales con cloro (de 0.1 a 0.6 ppm) no es elevada para causar daños a las plantas. Sin embargo, la adición de fluoruros a 1 ppm pueden dañar las hojas de algunas plantas tropicales que se cultivan por su follaje. (Evison, 1977) La contaminación química de las fuentes de agua por filtraciones del drenaje con insecticidas, exceso de fertilizantes, también pueden resultar perjudicial a las plántulas. (Hartmann y Kester, 1995)

2.4.3. Tipos de riego

Existen diferentes tipos de riego en los viveros, especialmente por formas de **aplicar y distribuir**: Aquellos por inundación generalmente para los de raíz desnuda, regaderas manuales, manguera, diferentes formas de aspersion macroriego y microriego. En el presente trabajo se consideraron el de manguera y una forma de microriego.

2.4.3.1. Riego por manguera

Este sistema de riego es el más común en los viveros, que consiste en distribuir el agua por medio de una fuente de agua, una bomba o piletas, manguera y el operador (manual). Entre las desventajas que se tiene son: la inexperiencia y tiempo del operador, por tanto mano de obra y periodicidad de los riegos, la distribución en cantidad heterogénea, dispersión del sustrato y descubrimiento de las raíces en los contenedores cuando el riego es fuerte en la caída del agua.

2.4.3.2. Riego por aspersión

Actualmente, los sistemas de riego por aspersión están en aumento, por la mejoría de los equipos y accesorios, especialmente los tipos de aspersores. Consiste en: una fuente de agua, bomba a cierta presión, líneas o tuberías de distribución, tipos de aspersores según las cantidades, la distribución y caída (Impulsión por impacto), en este caso son microaspersores. (Zimmerman, 1981) Requieren de agua limpia para reducir las obstrucciones de los pasos de agua. Requieren controles de sanidad las tuberías y las válvulas reguladoras para obtener un flujo de distribución uniforme. Se deben considerar los diseños y equipos adecuados para su utilización. Reduce la mano de obra de riego. Se tiene una eficiencia en la distribución y cantidad del agua, según los requerimientos. Cada sistema de microriego tiene una tasa de aplicación que se expresa en milímetros/hora. El riego debe interrumpirse cuando el agua llega a la parte inferior de la zona radicular. (A.A., 1992)

2.5. PARAMETROS MORFOLOGICOS

Generalmente los parámetros usados para determinar la calidad de las plántulas, son: a) Los morfológicos, que se basan en aspectos fenotípicos y b) Los fisiológicos, en aspectos "internos" de las plántulas. En estudios realizados por el mismo autor, en diferentes condiciones, se constataron que las cualidades fisiológicas de las plántulas juegan un papel más importante que las morfológicas. (Wakeley, 1954) Los parámetros son fuertemente influenciados por las técnicas de producción, como el tipo del sistema de producción (raíz desnuda, en recipiente, en laboratorio, hidroponía y otros), la densidad (cantidad de plántulas/m²), podas (formas, intensidades, otros), sustratos (volumen, tipo, porosidad, composición, otros), micorizas (especie y grado de

colonización), fertilizantes (cantidades, formas, otros), recipientes (material, dimensiones y forma), agua (cantidad, calidad y distribución) y otros. (Carneiro, 1995) En el presente trabajo se utilizan los parámetros morfológicos, que se describen a continuación:

2.5.1. Altura de la parte aérea H(cm)

Este parámetro fue sugerido por primera vez por Flury, con fines comerciales, observándose el mayor crecimiento en altura. (Carneiro, 1995) Por mucho tiempo era el único parámetro de **índice de calidad** de las plántulas, pero en la actualidad es recomendado analizar en combinación con otros parámetros, por el debilitamiento que pueden presentar en crecimiento por el uso de fertilizantes. (Mayer, 1977)

En estudios de *Pseudotsuga menziesii*, con alturas de 25 a 50 cm, distribuidos en cinco clases. Se comprobó, que la altura, después de la plantación, presenta una estrecha correlación con las dimensiones iniciales de las clases, donde las más altas presentaron mayores tasas de crecimiento. (Ritcher, 1971) También se observó en *Pinus radiata*, la sobrevivencia y el desenvolvimiento inicial de las plántulas, donde se constató que las alturas mayores de 13 cm se comportan mejor que las menores. (Pawsey, 1972) En *Pinus sylvestris*, los de mayor altura fueron más influenciados al "cambio" cuando plantados, pero diámetros mayores contrarestaron este efecto, por lo que se recomienda para la reforestación, plántulas de alturas y diámetros mayores. (Schmidt-vogt y Gurth, 1977)

El crecimiento en altura debe ser verificado por la tasa relativa de crecimiento en altura (t) expresado en %, como lo describe la fórmula siguiente: (Carneiro, 1976)

$$t(\%) = \frac{H \text{ secuencial o final} - H \text{ inicial}}{H \text{ inicial}} \times 100$$

2.5.2. Diámetro en el Cuello de la Raíz. DCR(mm)

El diámetro es otro de los parámetros morfológicos de **índice de calidad** que se mide en el cuello de la raíz con el límite inferior de la parte aérea. Plántulas con diámetros mayores presentan mejor apoyo y resistencia a las torceduras, más tolerantes a los insectos y daños por animales, y son mejores en el aislamiento del calor; que las de diámetro más pequeño. (Johnson y Cline, 1991)

Muchos autores han demostrado que existe una fuerte correlación entre el porcentaje de sobrevivencia y el diámetro, medidos en la plantación. (Cameiro, 1995) En *Pinus radiata*, comprobaron que la influencia del diámetro inicial en la sobrevivencia fue significativa, donde plántulas con 2 mm tenían el 62 % y los de 5 mm 85 % de sobrevivencia, independientemente del tipo de preparación del suelo o el control de la vegetación. (South et al, 1993) Un aspecto frecuentemente relacionado con el diámetro, es la falta de humedad en las camas, ya que esta contribuye la disminución del ritmo de crecimiento de las raíces y del diámetro, con consecuencias negativas para la sobrevivencia y el crecimiento inicial de las plántulas. (Loftus, 1975)

De la misma manera que en el de la altura, se puede también calcular la tasa relativa del crecimiento en diámetro:

$$t(\%) = \frac{\text{diámetro sec uecial o final} - \text{diámetro inicial}}{\text{diámetro inicial}} \times 100$$

2.5.3. Relación altura de la parte aérea y el diámetro en el cuello de la raíz H(cm)/DCR(mm)

Esta relación expresa el equilibrio del desenvolvimiento de las plántulas en el vivero, que conjuga dos parámetros en un solo **índice de calidad**. Es conocida como la relación H/D en cm y mm respectivamente, resultando un valor absoluto sin unidad. Se recomienda que el cálculo de los valores de los cocientes, sean realizadas individualmente por plántula; así, el cálculo de la media final será el resultado de la suma de los cocientes dividido por el número de plántulas. Estas evaluaciones pueden ser realizadas durante el periodo de producción las veces que sea necesario acompañando el desarrollo de las plántulas; y así poder verificar la necesidad o no de algún tipo de técnicas de intervención en el manejo del vivero. En caso de que los valores de este índice sean iguales y con diferentes diámetros y alturas se deben considerar primero los de mayor diámetro y después los de mayor altura. Los que presenten índices con valores altos indican plántulas de mala calidad, por el desequilibrio entre los parámetros medidos. La gran desventaja de este método, es que no considera la parte radicular. (Johnson y Cline, 1991; Carneiro, 1995)

Estudios con plántulas de *Picea abies* con diversas edades, espacios en camas a raíz desnuda, recipientes y protegidas con tierra. Se comprobó que alturas de una misma edad, las más viejas y con mayores diámetros, presentaron mejores resultados en el campo, que las nuevas. (Abetz, 1969)

El crecimiento en altura de las plántulas de *Pinus radiata*, un año después de la plantación estaba relacionado con el diámetro. (Anstey, 1971)

2.5.4. Peso de las plántulas

En el presente trabajo con relación al peso de las plántulas, se consideraran los siguientes parámetros de **Índice Calidad IC**: (Carneiro, 1991 y 1995, Johnson y Cline, 1991)

- a) Peso verde de la materia aérea *PVA*, radicular *PVR* y total *PVT* en gramos;
- b) Peso seco de la materia aérea *PSA*, radicular *PSR* y total *PST* en gramos;
- c) Relación de peso verde entre la materia aérea y radicular, $\frac{PVA(g)}{PVR(g)}$;
- d) Relación de peso seco entre la materia aérea y radicular, $\frac{PSA(g)}{PSR(g)}$;
- e) Coeficiente de reducción del peso verde a peso seco de:
Materia aérea, $\frac{PVA(g)}{PSA(g)}$; radicular, $\frac{PVR(g)}{PSR(g)}$ y del total, $\frac{PVT(g)}{PST(g)}$;
- f) Porcentaje de raíces, expresado en materia seca, $\frac{PSR(g)}{PST(g)} \times 100$;
- g) Otro índice de calidad basado en la combinación de más parámetros es: (Dickson *et al*, 1960a y 1960b)

$$IC = \frac{PST(g)}{\frac{H(cm)}{DCR(mm)} + \frac{PSA(g)}{PSR(g)}}$$

La determinación del peso de la materia seca es hecha en estufa a 105°C, hasta que las partes de las plántulas (aérea y radical) lleguen a un peso constante, generalmente ocurre antes de las 24 horas. Se debe extraer todo el substrato de la raíz y separar de la parte aérea, después ponerlos en una bolsa de papel cada una de las partes. Se sugiere que al momento de pesar sea de todas las muestras de cada parte y se le divida por el número de las mismas, por causa de los valores menores que presentan especialmente de las raíces y no sea un cumulo de errores de redondeo. (Carneiro, 1995)

Plántulas con mayor peso del sistema radicular, comparadas con otras de la misma especie y con menor peso, tienen mayor posibilidad de sobrevivencia. Se ha demostrado que como regla general para las especies forestales, el peso de raíces de plántulas transplantadas deben tener $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ de su peso total. También en *Picea abies*, se constató que el diámetro y el peso de las plántulas son parámetros que se pueden equiparar, además sugiere que con una adecuada fertilización, favorece la formación de raíces y se puede también conseguir una relación entre el peso de las plántulas y la altura aérea, dando una buena tasa de sobrevivencia y crecimiento. (Schmidt-vogt, 1966) Se atribuye también como eficiente criterio para determinar la calidad, la relación entre el largo del sistema radicular (raíz pivotante) y altura de la parte aérea, también los pesos entre estas partes. (Limstrom, 1963) Las plántulas deben ser usualmente producidas con el objetivo de alcanzar un balance entre la parte aérea y radicular, con valores de 1 a 3, para un mejor desempeño en el campo. (Wakeley, 1954) Sin embargo en la especies *Pinus* y *Picea* se mostró que las relaciones muy altas entre la parte aérea y radicular, pueden ser mejores para plántulas producidas en recipientes; los datos indicaron que el peso obtenido a un año después de la plantación fue proporcional al peso inicial de las plántulas y también a la relación parte aérea y radicular. (SPP-INEGI, 1986)

3. MATERIALES Y METODOLOGIA

El presente trabajo experimental fue establecido en mayo de 1997, presentando los primeros resultados a los 6 meses. Los materiales y métodos empleados en este trabajo buscan emplear riegos con más uniformidad, controlados, eficientes; así también, substratos adecuados con buena aireación, manejables, buen drenaje y retención del agua, facilitar la asimilación de los nutrientes con un buen intercambio catiónico; y por último, el uso adecuado de fertilizantes. Para mejorar el vigor, desarrollo uniforme en el crecimiento y la producción de plántulas de calidad en viveros con una capacidad de sobrevivencia a los cambios ambientales en la plantación definitiva.

3.1. AREA DEL ESTUDIO

3.1.1. Localización y descripción

El lugar de estudio de la presente investigación es el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, localizada a 145 Km de la Carretera Nacional Cd. Victoria-Linares o a 8 Km al sur de Linares, Nuevo León, México. Se encuentra entre las coordenadas geográficas $24^{\circ} 47'$ latitud

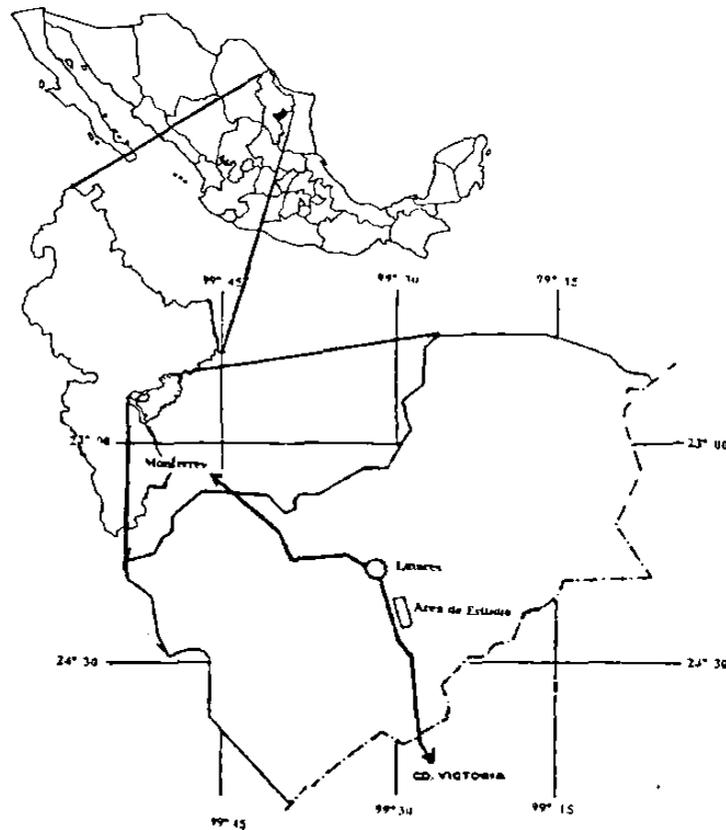


Figura 1: Localización del área de estudio (Manzano, 1997)

norte, 99° 32' longitud oeste y una altitud de 350 msnm. (SPP-INEGI, 1986)

El vivero donde se realizó el experimento, fue creado con la finalidad de cubrir la demanda de plantas ornamentales para el sector urbano. El diseño es llamado "vivero modelo" en 6580 m² con dos grandes áreas; una de producción en envase de 2927 m² con una producción de 120000 plantas por año y una segunda área de crecimiento de 3653 m² con una producción de 7300 árboles de 2 m de altura. Su estructura tiene 32 platabandas con sombras naturales, 2 invernaderos, 2 almácigos, un área de envasado, un depósito de agua y un almacén. (López, 1992)

3.1.2. Clima

Es considerado de clima semiseco, muy cálido y con lluvias en verano. Las temperaturas promedio oscilan entre 14.7°C las menores y las mayores 22.3 a 28°C. Siendo los meses más fríos entre diciembre y enero y los más cálidos entre junio y agosto. Pueden llegar a temperaturas mínimas de hasta -5°C y máximas hasta 40 a 42°C. La precipitación anual varía de 500 a 805 mm de los cuales el 80 % ocurre en los meses de mayo a octubre y aproximadamente el 50 % de la precipitación en esta región es de tormentas de tipo convectivo. (SPP-INEGI, 1986; Navar, 1986)

Las temperaturas y precipitaciones registradas en 1997, según la estación meteorológica de la Facultad de Ciencias Forestales UANL, se pueden ver en el cuadro 5 del capítulo de resultados (Pag. 41).

3.1.3. Suelo

El suelo se caracteriza por ser de tipo Vertisol de origen aluvio-coluvial, profundos (horizonte A de 30 a 100 cm), de textura arcillo limosa y de color oscuro, presenta un alto contenido de materia orgánica en el horizonte superior y disminuye con la profundidad. El pH de este tipo de suelo es moderadamente alcalino. El contenido de nutrientes en algunos lugares, presenta deficiencias de N y P y en otros, alto contenido de carbonato de calcio. (Heiseke y Foreughbakhch, 1985)

3.1.4. Vegetación

La vegetación más común de la Planicie Costera del Golfo Norte, es considerada como matorral espinoso tamaulipeco o matorral alto espinoso, con una diversidad de especies arbustivas,

herbáceas y arbóreas; entre los géneros que se encuentran son: Acacia, Celtis, Mimosa, Cordia, Fraxinus, Pithecellobium, entre otros. Estas se encuentran generalmente asociadas entre ellas o incluso pequeñas áreas con una sola especies y/o con herbáceas en su estrato inferior. (SPP-INEGI, 1986; Alanís, 1991)

3.2. ESPECIE ESTUDIADA

La especie estudiada es el *Celtis laevigata* Willd. llamado "Palo blanco". Esta especie ya se encontraba en almácigos del vivero, de aproximadamente 2 meses; la especie fue colectada en octubre a noviembre de 1996 y su procedencia es de Linares, Nuevo León, México, según la información del banco de semillas de la Facultad de Ciencias Forestales UANL. El estudio comenzó después del trasplante a los contenedores, es decir en mayo de 1997; se dejó tres semanas para su prendimiento realizando reposiciones de algunas plántulas que murieron o se encontraban en mal estado.

Para la selección de la especie vegetal estudiada, se consideran los siguientes criterios: a) Que la especie sea para uso ornamental; b) Que la especie sea nativa o del lugar; y c) Para producción de plántulas en viveros. Por lo que se definió la especie descrita a continuación.

3.2.1. DESCRIPCION TAXONOMICA DE *Celtis laevigata* Willd.

3.2.1.1. Orden: URTICALES; Orden de la Ortiga

Son Hierbas o árboles. De hojas simples, alternas, con estípulas. Con flores unisexuales, en algunas Ulmaceas son bisexuales, hipógono, radialmente simétrico; 1 o 2 carpelos; ovario con 1 o rara vez 2 cámaras; 1 óvulo. El fruto es una drupa, samara, nuez o aquenio. En la morera el aquenio se junta con el cáliz carnosos y forman un agregado de frutas, desde muchas flores que forman los llamados "baya"; en el higo, el aquenio de muchas flores pequeñas se encuentran en el interior de una rama hueca, llega a ser carnosos; y así, "las semillas" del higo son realmente frutas (aquenios). (Benson y Darrow, 1981)

3.2.1.2. Familia: **ULMACEAE; Familia del Olmo**

Son árboles o arbustos. Las hojas alternas, simples, ovaladas o elípticas, totalmente aserrada, alternada, usualmente asimétrico en su base. Flores unisexuales, el estigma y el pistilo se encuentran en una sola planta (en algunas flores en transición son bisexuales) hipógenos, son de color verdoso amarillo; 4 sépalos o hasta 9, unidos; sin pétalos; 4-6 estambres; 1 pistilo, formando 2 carpelos, 2 estiletes; el ovario con 1 cámara; la fruta es una nuez, una estructura alada (samara) o en las especies del desierto, una baya anaranjada o amarilla. (Benson y Darrow, 1981)

3.2.1.3. Género: **Celtis; "Palo Blanco". Hackberry**

La corteza es gris, azul gris o gris marrón, usualmente presentan protuberancias, fisuras cruzadas de manera cuadrada o en las especies arbustivas se endurece la corteza, no necesariamente en todos. Las flores son pequeñas, 1-3 mm de diámetro, en racimos cismoides, o solitarios, se producen en el nuevo crecimiento de temporadas corrientes; primero aparecen los estigmas en las flores (consisten de un cáliz y estambres) y por lo tanto, en la base de las ramas jóvenes; más tarde producen los pistilos en las flores (consiste de un cáliz y un pistilo) y se presentan en la parte superior de la nueva rama frondosa; entre las flores unisexuales a veces se producen las flores bisexuales. La fruta es una "baya" (sernejante a la drupa), en su madurez se vuelven amarillos o anaranjados en las especies del desierto, la semilla es solitaria. (Benson y Darrow, 1981)

Clave de las Especies. (Benson y Darrow, 1981)

1. Las ramas no producen espinas; las hojas son asimétricas en las bases, oblicuas, venas reticuladas en la superficie inferior, comúnmente es más claro por debajo, hojas caducas de otoño, vuelven aparecer en la primavera siguiente; son árboles pequeños de que viven en los arroyos o ríos en suelos profundos, desfiladeros, y lugares subirrigados, rara vez arbustos en condiciones más secas. 1. *Celtis laevigata*

1. Las ramas presentan parcialmente o completamente con espinas; las hojas son de bases simétricas y redondas, no oblicuas en la base exceptuando en tipos juveniles, gruesos, venas no reticuladas, persistentes durante el invierno; son arbustos de suelo desértico y además lavados, en los desfiladeros pero no restringidos a condiciones de fuentes de agua. 2. *Celtis Tala*

3.2.1.4. Especie: *Celtis laevigata* Willd. "Palo Blanco"

- **Identificación en campo.** El árbol llega a una altura de 10 a 16 m, la parte superior de la copa es redonda o de forma cuadrada alargada. (Benson y Darrow, 1981; Vines, 1980 y 1984; Rodríguez et al, 1988)



- **Flores.** En la primavera, polígama, es pequeño, poco aparente, color verdoso, tienen las glabras delgadas sobre los pedicelos; estigma fasciculado; cáliz con 4 a 6

Figura 2: Especie *Celtis laevigata* Willd. "Palo blanco" (Viens, 1984)

- lóbulos, (comúnmente 5), lóbulos ovalados-lanceolados, glabras o pubescentes; 4 a 6 estambres; flor con pistilo solitario o ambos juntos, pedunculado; 1 ovario cerrado, superado por 2 estigmas. (Vines, 1980 y 1984)
- **Frutos.** La drupa madura muy tarde en verano, 6 a 15 mm del pedicelo, subgloboso a ovoide, rojo anaranjado a negro, el pireno es de 4 a 7 mm de longitud y de 5 a 6 mm de ancho, carnoso, delgado y seco, sabor dulce; siembre solitario, pálido marrón, endurecido. El pedicelo del fruto es más largo que la hoja peciolada. (Benson y Darrow, 1981; Vines, 1980 y 1984; Rodríguez et al, 1988)
- **Hojas.** Son simples, alternas, hojas caducas de otoño, oblongo lanceolada, usualmente falcada, ápice largo acuminado, de forma redondeada o acufiada y no equilaretal en la base, entera o aserrado cerca del ápice, delgada, liviana, verde y glabras, más pálido y liso en la superficie inferior y 3 venas en la base, 4 a 10 cm de largo, 1.5 a 4.5 de ancho. (Benson y Darrow, 1981; Vines, 1980 y 1984; Rodríguez et al, 1988)
- **Ramas.** Son livianas de color verde a rojizo marrón, algo divaricado, lustroso, glabras o pubescentes. (Vines, 1980 y 1984)

- **Corteza.** Pálido gris, delgado, liso con grietas, presenta excrecencias y verrugas. (Vines, 1980 y 1984)
- **Madera.** Amarillento, grano estrecho, débil, pesa 22.27 Kg. por 40.48 cm³. (Vines, 1980 y 1984)
- **Distribución.** Se encuentran en Texas, Arkansas, Oklahoma y Louisiana; al este de Florida, norte del Missouri, Kansas, Indiana y Virginia; al Noreste de Nuevo México. También en Nuevo León, México. (Benson y Darrow, 1981; Vines, 1980 y 1984)
- **Propagación.** Se han cultivado desde 1811. La fruta puede ser extraída por la mano o en lona, se vuelve rojizo castaño, después de la caída de las hojas. En la fruta no se necesita ser limpiada la pulpa para extraer la semilla, pero si se desea las semillas se hacen macerar y se pasa por medio de un molino de martillos. Las semillas promedian sobre los 4400 por libra, con una pureza comercial 98 % y una viabilidad del 94 %. (Vines, 1984)

La semilla seca puede almacenarse en recipientes sellados a 10 o 15°C. La semilla puede sembrarse cuando cae, o estratificada en la primavera. El método de estratificación es con arena húmeda a 16°C. Para 60 a 90 días. Las frutas con pulpa macerada responden mejor que aquellas estratificadas sin macerar. Las semillas se siembran entre 8 a 10 filas y tres veces la cantidad deseada. Sembrada, se le debe tapar con una capa de paja o hojas contra los pájaros y los roedores para que la superficie esté húmeda. Se puede propagar también vegetalmente . (Vines, 1984)

- **Comentario.** *Celtis* es un nombre dado por Pliny a un fruto dulce en Africa. La especie *laevigata*, significa "liso". La madera se usa para muebles, pisos, embalaje, carbón, tonelería y postes. La fruta dulce seca es comida por cuando menos 10 especies de pájaros. El árbol se usa frecuentemente para ornamentación. (Vines, 1980)

Las especies dentro de este género parecen presentar un número considerable de variaciones locales, que ha ocasionado que algunos botánicos nombren variedades, mientras que otros botánicos creen que las diferenciaciones no son demasiadas. (Vines, 1980)

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.3.1. Diseño estadístico

3.3.1.1. Experimento factorial

La presente investigación, se basa en el **experimento factorial de tres factores**, con grupos de niveles de $4 \times 4 \times 2$; es decir, que lleva 4 diferentes tipos de fertilizantes, 4 tipos de substratos y por último 2 formas de riego. Existiendo diferentes combinaciones de niveles, y cada una de estas se convierte en tratamientos; entonces, hay un total 32 tratamientos. Así mismo cada tratamiento tiene un bloque de 10 observaciones o individuos, y cada bloque de 4 repeticiones, sumando un subtotal de 40 por tratamiento y un total de 1280 individuos en el experimento. Por lo que se le denomina, **factorial en bloques**. (ver anexo 1).

3.3.1.2 Modelo factorial

Después de lo dicho anteriormente, se procesa las pruebas de significancia para los tres efectos principales y las interacciones de estos, por medio del modelo matemático de tres factores, que es el siguiente: (Snedecor y Cochran, 1982; Walpole y Myers, 1992)

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl};$$

substituido por los factores del experimento será:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + S_j + F_k + (RS)_{ij} + (RF)_{ik} + (SF)_{jk} + (RSF)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl};$$

Donde, Y_{ijkl} representa la variable paramétrica analizada; i, j, k y l son n repeticiones; μ es la media general de la variable; R, S y F son los efectos principales; $(RS), (RF)$ y (SF) son los efectos de la interacción de dos factores y (RSF) es el **efecto de la interacción de tres factores**, y ε es el error experimental de las observaciones. Para ayudar a diseñar en campo y poder entender mejor estas interacciones, se puede representar en un diseño espacial (ver anexo 2). (Navar, 1996; Snedecor y Cochran, 1982; Walpole y Myers, 1992)

3.3.1.3. Hipótesis

Continuando con el proceso de pruebas de significancia y según el modelo, se plantean las siguientes hipótesis en función de los tres factores considerados: (Navar, 1992)

a) Existirán efectos dentro de cada factor principal?

Riego:	$H_{0R} = R_1 = R_2 = 0$ $H_{aR} =$ Al menos un R_i 's no es igual a cero.
Substratos:	$H_{0S} = S_1 = S_2 = 0$ $H_{aS} =$ Al menos un S_i 's no es igual a cero.
Fertilizantes:	$H_{0F} = F_1 = F_2 = 0$ $H_{aF} =$ Al menos un F_i 's no es igual a cero.

b) Existirán efectos dentro de la interacción de cada dos factores principales?

Riego y Substratos:	$H_{\alpha(RS)} = (RS)_{11} = (RS)_{12} = \dots = (RS)_{23} = (RS)_{24} = 0$ $H_{a(RS)} =$ Al menos una interacción $(RS)_{ij}$'s no es igual a cero.
Riego y Fertilizantes:	$H_{\alpha(RF)} = (RF)_{11} = (RF)_{12} = \dots = (RF)_{23} = (RF)_{24} = 0$ $H_{a(RF)} =$ Al menos una interacción $(RF)_{i,k}$'s no es igual a cero.
Substratos y Fertilizantes:	$H_{\alpha(SF)} = (SF)_{11} = (SF)_{12} = \dots = (SF)_{43} = (SF)_{44} = 0$ $H_{a(SF)} =$ Al menos una interacción $(SF)_{j,k}$'s no es igual a cero.

c) Existirán efectos dentro de la interacción de cada tres factores principales?

Riego, Substratos y Fertilizantes:	$H_{\alpha(RSF)} = (RSF)_{111} = (RSF)_{112} = \dots = (RSF)_{243} = (RSF)_{244} = 0$ $H_{a(RSF)} =$ Al menos una interacción $(RSF)_{i,j,k}$'s no es igual a cero.
------------------------------------	---

3.3.1.4. El análisis estadístico

Es donde se procesa las pruebas de las hipótesis de significancia, siendo sometidas a un análisis de varianza de tres factores y la suma de cuadrados correspondientes. Si todos los efectos de cualquier factor o interacción dados no son cero, el cuadrado medio estima la varianza del error. En caso de existir diferencias significativas, se realiza el procedimiento estadístico de Tukey, el cual se basa en la distribución de rango estudentizado. Todo el análisis fue procesado en el paquete SAS (Statistical Analysis System) computarizado. (Camacho *et al*, 1992)

3.3.2. El diseño de campo (vivero)

El diseño espacial del modelo de tres factores, brinda ayuda para poder diseñar el experimento en campo, es decir en el vivero: Primeramente se divide en dos bloques, considerando los dos niveles

del factor riego, instaladas en cada platabanda; donde se colocó 4 bloques (repeticiones) de 16 tratamientos en cada sistema de riego, como cada tratamiento tiene 10 individuos u observaciones, estas se ubicaron en filas y aleatoriamente. Por lo que en resumen el estudio será, un **Experimento Factorial de tres factores 4 x 4 x 2 en Bloques Completamente Aleatorios**; ver anexo 3.

3.4. PROCEDIMIENTOS DE LOS FACTORES CONSIDERADOS

3.4.1. La preparación y limpieza del lugar

Se utilizaron dos platabandas del vivero, a los cuales se realizó las siguientes tareas:

- Nivelamiento de la superficie del suelo, con la ayuda de palas.
- Extracción de algunas raíces y poda de ramas bajas de los árboles de sombra alrededor de las platabandas, con machete, talaches y azadones.
- Limpieza general de las platabandas y sus alrededores, con rastrillos, palas, azadones y carretillas.
- Tendido de costales de plástico en las platabandas, para evitar la invasión de raíces a las bolsas o en sentido contrario.
- Colocado de un cerco alrededor de cada platabanda, con el mismo material del tendido. Para evitar el ataque de roedores.

3.4.2. El riego

3.4.2.1. Riego por aspersión (R1)

El sistema de riego por aspersión, automático o de control, consiste de una fuente de agua, bomba de agua eléctrica de extracción con 1 HP, tubos y accesorios de instalación PVC de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ", cámara con un manómetro automático de control graduado a 20-35 libras de presión y pivotes de la marca Rain Bird® de 180° y 90° de expansión en forma de abanico.

3.4.2.2. Riego manual o testigo (R2)

El sistema tradicional, manual o testigo, este se basa en la instalación de una fuente de agua, bomba eléctrica de extracción con 1HP con dos salidas, mangueras que son arrastradas por todo el vivero, un operador permanente, quien debe controlar manualmente la distribución y cantidad de agua.

3.4.2.3. Calculo de la distribución y cantidad de agua

Antes del llenado y colocación de las bolsas en las platabandas se realizó la instalación y estimación de la cantidad y distribución del agua en los sistemas de riego; para esto se empleo un método simple de recepción de agua en 10 vasos de precipitados de 250 ml distribuidos aleatoriamente por toda la platabanda. (Hessayon, 1994) En el riego por aspersión se dejó funcionar una hora/día y para el manual 1 pasada/día con tres repeticiones; obteniendo las medias de cada uno y extrapolar según el área del vaso a metros cúbicos, de los cuales se obtuvieron las gráficas que muestran claramente las diferencias de los dos sistemas. (ver 4.2 capítulo de resultados).

3.4.3. Los substratos

Para la preparación de la mezcla del substrato a utilizar, se consideró incorporar materia orgánica y materia inorgánica al suelo de monte.

3.4.3.1. Los materiales orgánicos

En la preparación de las mezclas se utilizaron 3 tipos de material orgánico según su origen:

- **La Germinaza. (S1)** Es un producto mexicano, hecho a base de la fibra del coco. Este material fue comprado en bolsas plásticas y vienen prensadas, por lo que es necesario, antes de ser usado disgregar todo el material compactado hasta que quede suelto, para poder tener una buena mezcla homogénea. Las características de este material son descritas en el capítulo 2, el porcentaje de mezcla utilizado es de 25 % para todas, donde es integrado este producto.
- **La corteza de pino.(S2)** La corteza fue obtenida en estado fresco de pinos de un aserradero, estos fueron picados por un molino de cuchillas (trituradora), obteniendo partículas planas,

grandes y muy heterogéneas de hasta 3 cm, por lo que se tuvo que cribar, obteniendo así partículas de hasta 1 cm. El porcentaje de mezcla es también el 25 % para todas los substratos donde se integren este material.

- **La turba. (S3)** Es un producto de Canadá, hecha a base de, musgo y material vegetal de los pantanos canadienses. Este producto viene en bolsas de plástico prensadas, al igual que la germinaza, se le debe disgregar hasta que el material quede suelto, este debe ser realizado con cuidado ya que tienen pequeñas astillas y/o espinas. Sus características son descritas en el capítulo 2.2.3.2, el porcentaje de mezcla es también 25 % para todas las mezclas correspondientes al material.

3.4.3.2. El suelo de monte (S4)

El suelo de monte es de uso tradicional en el vivero, por tanto corresponde ser el testigo ante todas las mezclas. La obtención de éste se realiza de forma natural en el monte del matorral espinoso y de la superficie del suelo, cerca al vivero. Ya en el vivero, este material es pasado por una criba fina de hasta 5 mm y así poder ser utilizado. La cantidad en porcentaje, para todas las mezclas en el experimento se usa el 50 % del total, a excepción del testigo con 100 %.

Según el análisis químico y textura realizado por el laboratorio de suelos de la Facultad de ciencias forestales de la UANL, el suelo de monte utilizado presenta las siguientes características:

Cuadro 2: Análisis químico del suelo de monte en partes por millón (ppm).

No. Labor.	Potasio	Magnesio	Calcio	Fósforo	Nitrógeno	CIC
114-97 en ppm	516.8 ppm	212.1 ppm	11.626 ppm	3.95 ppm	0.206 ppm	415.05 ppm

Cuadro 3: Análisis de textura del suelo de monte en porcentaje (%).

No. Labor.	Arcilla	Limo fino	Limo medio	Limo grueso	Limo total	Arena fina	Arena media	Arena gruesa	Arena total	Mater. orgán.	Clasif. textura
114-97 en %	47	18.2	19.7	11.6	49.5	0.8	2.0	0.7	3.5	4.7	Arcillo-limoso

3.4.3.3. El material inorgánico

El único material inorgánico utilizado en las mezclas, es la **perlita** (Hortiperl), sus características también son descritas en el capítulo 2.2.3.3. El porcentaje utilizado fue de 25 % para todas las mezclas a excepción de los testigos.

3.4.3.4. Cantidades de los sustratos

Por lo explicado anteriormente las mezclas de cada sustrato considerado en este experimento, son como se muestra en el cuadro 4:

Cuadro 4: Porcentajes de las mezclas de los sustratos.

Mezclas	Componentes (%)				
	Germinaza	Ctza./Pino	Turba	Perlita	Suelo/Mte.
S1	25	—	—	25	50
S2	—	25	—	25	50
S3	—	—	25	25	50
S4	—	—	—	—	100

Estas mezclas fueron realizadas de manera manual; con ayuda de palas.

Según los porcentajes de los diferentes sustratos, el volumen de la bolsa individual y el número total de individuos o bolsas, con procedimientos matemáticos de reglas de tres simple, se obtuvieron los volúmenes para cada sustrato y sus respectivas mezclas, que son presentadas en el capítulo 4.3 de resultados.

3.4.3.5. Estimación de humedad y porosidad de los sustratos

Para obtener mayor información de cada sustrato y bajo el principio que el agua en un sustrato ocupa los microporos y macroporos, se estimó el contenido de humedad y porosidad. La metodología usada fue modificación a la mencionada por la bibliografía (López y López, 1985); se utilizaron 4 matraces de 100 ml, para recibir el agua y encima de cada uno se colocaron respectivamente, 4 embudos de "buschner" con "fondo de Gooch", recubierto internamente con un disco de papel filtro mojado y otro para la parte superior. Se pesaron en forma conjunta, para

después llenar el embudo con los diferentes sustratos (germinaza, corteza de pino, turba y suelo de monte). Nuevamente se peso todo en conjunto para poder obtener el peso del sustrato en condiciones normales, diferenciando el peso de los instrumentos. El segundo papel filtro fue perforado con alfiler y colocado encima del sustrato, esto para uniformizar el escurrimiento del agua en el diámetro del embudo. Con la ayuda de una pipeta y un envase con agua destilada se fue mojando el sustrato paulatinamente hasta que se aprecie las primeras gotas, lo que llamamos sustrato en condiciones saturadas y después pesarlo nuevamente. Continuando, se hizo secar en la estufa a 105°C a peso constante, obteniendo así el peso seco.

El cálculo de la humedad y la porosidad se obtuvo por medio de las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso húmedo (g)} - \text{Peso seco (g)}}{\text{Peso seco (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Porosidad} = \frac{\text{Peso húmedo (g)} - \text{Peso seco (g)}}{\text{Peso húmedo (g)}} \times 100$$

3.4.4. Los fertilizantes

Los fertilizantes usados en el estudio son:

- **El osmocote. (F1)** Producto de los Estados Unidos Americanos; es de liberación controlada, su concentración N-P-K, es de 18-6-12, por su forma en granos este se incorporó a los sustratos correspondientes al realizar las mezclas antes del embolsado, con una dosis media de 5 Kg/m³.
- **El picomódulo. (F2)** Producto de México; es también de liberación controlada, su concentración N-P-K, es de 25-12-7, por su forma en tabletas este se incorporó a los sustratos correspondientes después del llenado de las bolsas y a 3 tres semanas del trasplante de las plántulas, en su aplicación se introdujo el picomódulo a 10 o 12 cm de la superficie y a un costado del contenedor y la plántula.
- **La urea. (F3)** Este es un fertilizante nitrogenado al 100% en clase amoniacal es el más utilizado por los viveros, sin embargo este no se utilizó como testigo, sino como un tipo de fertilizante

más. Su aplicación se realizó directamente en la parte superficial del sustrato de cada contenedor correspondiente, con una dosis de 0.5 a 0.7 g/mes.

- **Sin fertilizante o testigo. (F4)** son los sustratos que no utilizaron ningún tipo de fertilizantes, recibiendo el nombre de testigo en comparación con los otros.

También se realizó un análisis del pH de las 16 combinaciones entre sustratos y fertilizantes, en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Forestales UANL, cuyos resultados se encuentran en el capítulo 4.

3.4.5. El contenedor

El contenedor utilizado en esta investigación fue la bolsa plástica de color negro, con pliego en la base, las dimensiones fueron de 11 cm de diámetro, 24 cm de altura y 600 a 800 micras de grosor, con un volumen de 0.0023 m³ o 2.3 L en bolsa llena. En la base fueron abiertos agujeros, para su drenaje. El llenado de las bolsas fue también de forma manual, con la ayuda de una pequeña vajilla improvisada, teniendo el cuidado de no dejar bolsas de aire y bien distribuidas. Llenadas las bolsas se fueron colocando en las platabandas en filas, según el tipo de sustratos y fertilizantes usados (tratamientos); así como lo muestra en el diseño de campo del anexo 3.

3.5. PROCEDIMIENTOS DE LOS DATOS

3.5.1. Levantamiento de datos

Los datos levantados para este proceso son: las alturas (H), diámetros a la altura del cuello de la raíz (DCR), el peso verde total de las plántulas, de la parte aérea y de la raíz (PVT, PVA y PVR) y el peso seco total de las plántulas, de la parte aérea y de la raíz (PST, PSA y PSR).

3.5.1.1. Medición de alturas (H) y diámetros (DCR)

La toma de los datos de altura y diámetro, se realizó de cada una de las 40 plántulas por tratamiento con sus 4 repeticiones. El levantamiento de datos se realizó cada mes en una hoja de campo, como muestra el anexo 4; a excepción del último mes que se realizó después de dos meses de la 4ª

medición, es decir la 5ª. medición fue hecha a los seis meses, después del transplante a los envases.

- Las **alturas** del tallo se consideraron desde la superficie del sustrato del contenedor hasta el ápice de la rama más alta y recta (porque presentaban muchas ramificaciones) con la ayuda de una regla métrica de 1 m. Los valores fueron registrados en cm.
- Para los **diámetros**, se tomaron en cuenta las medidas de la sección transversal en la intersección de la raíz y la parte aérea de la planta, o llamado diámetro a la altura del cuello de la raíz (DCR), podríamos decir al ras de la superficie del suelo. Con la ayuda de un "Vernier". Los valores fueron registrados en mm.

3.5.1.2. Medición de los pesos

La medición de los diferentes pesos de las plántulas, se realizó al sexto mes después de la 5ª. medición de las alturas y diámetros, estos fueron registrados en una planilla como muestra el anexo 5 y siguiendo los siguientes pasos:

- Para extraer muestras de los 32 tratamientos, se consideró los datos de la 5ª medición, al sexto mes; de donde se seleccionaron plántulas que eran iguales o próximas a las medias de las alturas y los diámetros de cada repetición por tratamiento.
- Las plántulas muestreadas fueron llevadas al laboratorio de semillas de la Facultad de Ciencias Forestales UANL, donde manualmente se extrajeron las plántulas del contenedor y los sustratos.
- Cada plántula extraída, fue separada, la parte aérea del sistema radicular con la ayuda de una navaja muy afilada.
- Inmediatamente después del corte se colocaron en una bolsa de papel cada una de las partes por separado, después se registraron y pesaron en una balanza de precisión eléctrica, diferenciando el peso de la bolsa 9.2 g antes de entrar a la estufa.
- Después de pesadas todas las bolsas de papel con el contenido, se dejaron secar a 105°C en una estufa.

- La duración del secado fue aproximadamente de 32 hrs a peso constante, donde se registraron los pesos secos de las dos partes, aéreo y radicular (PSA y PSR), diferenciando el peso de las bolsas 8.6 g y en seco.

3.5.2. Procesamiento de los datos

Cada parámetro de control de calidad para las plántulas evaluados en este trabajo, son procesados y analizados individualmente, por el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), por medio de Análisis de Varianza ANVA, el cual da resultados de pruebas de hipótesis, comparando diferencia de medias para los efectos principales e interacciones, esto es, de los factores principales (R), (S) y (F), las interacciones de dos factores (RS), (RF) y (SF) y por último la interacción de tres factores (RSF). Al mismo tiempo, existiendo diferencias en estos efectos se procedió a la averiguación de entre cuales existe diferencia para determinar el mejor efecto, con el método estadístico comparativo de Tukey. Este procesamiento calculó los valores críticos a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, es decir con un error del 5 %. (Camacho *et al*, 1992; Navar, 1996; Walpole y Myers, 1992)

Para la introducción de los datos de las alturas y los diámetros en el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), se sacaron las medias de los diez individuos de cada tratamiento, teniendo de esa manera datos con 4 repeticiones de los bloques (ver anexo 4) y para los pesos se tenía un numero similar de datos ya explicados anteriormente, los cuales sirvieron para procesarlos individualmente, para cada uno de los parámetros de calidad (anexos de ANVA y anexo 22).

3.5.3. Cálculo de los parámetros de Índice de Calidad

Para el cálculo de los parámetros de Índices de Calidad, se utilizaron en el presente trabajo las fórmulas que combinan los datos de los parámetros individuales ya explicados anteriormente, estos son:

a) Parámetros individuales:

Altura de la parte aérea en cm (H).

Diámetro a la altura del cuello de la raíz en mm (D) o (DCR).

Peso verde de la parte aérea de la plántula en g (PVA).

Peso verde de la parte radicular de la plántula en g (PVR).

Peso verde total de la plántula en g (PVT)

Peso seco de la parte aérea de la plántula en g (PSA)

Peso seco de la parte radicular de la plántula en g (PSR)

Peso seco total de la plántula en g (PST)

b) Parámetros combinados para calcular los coeficientes de equilibrio:

Relación entre la altura y el diámetro, $\left(\frac{H}{D}\right)$

Relación entre el peso verde de la parte aérea y radicular, $\left(\frac{PVA}{PVR}\right)$

Relación entre el peso seco de la parte aérea y radicular, $\left(\frac{PSA}{PSR}\right)$

Relación combinada de Dickson *et al.*, $\left(\frac{PST}{\frac{H}{D} + \frac{PSA}{PSR}}\right)$

c) Parámetros combinados para calcular el coeficiente de reducción del peso verde a peso seco:

Reducción de peso verde aéreo a peso seco aéreo, $\left(\frac{PVA}{PSA}\right)$

Reducción de peso verde radicular a peso seco radicular, $\left(\frac{PVR}{PSR}\right)$

Reducción de peso verde total a peso seco total de la plántula, $\left(\frac{PVT}{PST}\right)$

d) Parámetros combinados para calcular porcentajes de raíces:

Porcentaje de raíz, expresado en materia seca, $\left(\frac{PSR}{PST}\right) \times 100$