

I. INTRODUCCIÓN.

1. JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES.

El territorio español ha sufrido a lo largo de la historia y aun hoy padece: aprovechamientos maderables y de leñas abusivos; roturaciones de terrenos forestales para cultivos agrícolas; pastoreo excesivo por las cargas o épocas; e incendios forestales. Estas cuatro causas de destrucción de los bosques han conducido a que en la actualidad el 50% de la superficie forestal, unos 13 millones de ha. esté desarbolado. De esta superficie, entre 7 y 8 millones de ha. están sufriendo una erosión hídrica grave o muy grave, por lo que la necesidad de las repoblaciones forestales protectoras es evidente (Serrada, 1993).

Partiendo de esta necesidad de repoblación y teniendo en cuenta que el pino carrasco, es el pino con mas extensa distribución en el área mediterránea y el mejor adaptado a las condiciones de aridez, pudiendo sobrevivir en zonas de 250 mm. de precipitación anual y larga sequía estival (Gandullo et al, 1994), surge la necesidad de obtener en vivero, planta de calidad forestal, de *Pinus halepensis*, que resista las condiciones adversas a las que se verá sometida una vez plantada en campo. Dado que, una mala calidad de planta es responsable de gran cantidad de marras debido a la falta de arraigo y también puede producir una insuficiente respuesta en el crecimiento de la planta en el medio. La calidad de planta forestal es uno de los factores más importantes que condiciona el éxito de la plantación, pudiendo influir mucho más en el éxito de la repoblación a corto y largo plazo que las técnicas de plantación utilizadas (Peñuelas y Ocaña, 1996).

La planta para la reforestación, además de poseer las características genéticas (en especie, procedencia, etc.) más acordes con los objetivos de la misma y con las condiciones propias del medio natural en el que será plantada; debe de ser del tipo más adecuado y económico posible para cada repoblación (raíz desnuda o envase, edad, etc.). Además, cada planta individual o colectivamente considerada, debe cumplir con unas condiciones de calidad mínima predeterminadas, para que pueda ser utilizada en la repoblación o, por el contrario deba de ser rechazada (Peñuelas, 1993).

La calidad de planta forestal se demuestra finalmente en la monte, por su capacidad de arraigar y vegetar larga y satisfactoriamente una vez plantada. En buena parte estas capacidades dependen de la técnica de repoblación; pero están además condicionadas

por su cultivo en vivero. (Montoya, 1996).

Salvo la calidad genética, que la proporciona la elección de un adecuado origen de la semilla a utilizar, el resto de las calidades de la planta como son la calidad morfológica (control de variables externas: altura, diámetro del cuello de la raíz, peso seco aéreo, peso seco radical, ...), calidad fisiológica (control de variables fisiológicas: potenciales hídricos, contenido en carbohidratos, potenciales de regeneración radical, ...), calidad biológica (se deriva de una correcta micorrización) y calidad sanitaria, pueden ser moduladas y fomentadas en la fase de cultivo mediante la utilización de técnicas y medios apropiados. (Peñuelas y Ocaña, 1996).

Por tanto la fase de vivero resulta esencial por ser el único lugar donde se puede realizar un control sobre las variables morfológicas y fisiológicas de la planta, más adecuadas para obtener planta de calidad, que sea resistente y vigorosa. La aridez, las situaciones climáticas adversas y el aumento de la presión humana y demás degradaciones hacen que el material de repoblación deba de ser específicamente resistente, siendo la calidad de planta uno de los aspectos más a considerar en la labor de repoblación. El control se realiza mediante el uso de envases y sustratos adecuados, controlando las variables ambientales, y proporcionando a las plantas las fertilizaciones adecuadas.

La fertilización es, después del riego, la práctica cultural que más directamente influye en el desarrollo de las plantas. El estado nutricional afecta básicamente a los procesos fisiológicos de las plantas, tales como la regulación del crecimiento, el flujo de energía, y la síntesis de los complejos orgánicos moleculares que componen las plantas. (Peñuelas y Ocaña, 1996).

Desde un punto de vista logístico y económico la fertilización en vivero es más eficiente que la fertilización en campo (Gleason y Duryea, 1990).

La planta recién transplantada presenta un estado nutritivo en función del estado que haya tenido en el vivero, por lo que en esta fase de transplante deberá tener suficientes reservas para garantizar el arraigo y el crecimiento postransplante (Landis, 1985).

Cada especie responde de una manera diferente a la adición de nutrientes lo que hace necesario investigar en cada caso su comportamiento en este sentido, antes de proceder a realizar aplicaciones a escalas mayores (Molina et al., 1987). Si a la planta la

aplicamos concentraciones menores de las requeridas difícilmente obtendremos plantas capaces de sobrevivir durante el arraigo en zonas difíciles, sin olvidar que existen niveles de concentraciones que pueden provocar toxicidad.

Las plantas, además del oxígeno, el carbono y el hidrógeno que componen aproximadamente el 96% del peso seco de las plantas, necesitan determinadas cantidades de otros elementos, macroelementos y microelementos. De los macroelementos necesarios para la supervivencia y crecimiento de las plantas, el nitrógeno fósforo y potasio son los nutrientes clave del crecimiento y de otras muchas funciones vitales.

De estos tres elementos nutritivos principales, el nitrógeno es el macroelemento fundamental para el crecimiento de la planta, así como en la producción de proteínas. La absorción de este elemento se efectúa de forma escalonada a lo largo de todo su ciclo de crecimiento. Es el único elemento nutritivo que no forma parte de los minerales del suelo siendo la atmósfera la única fuente de nitrógeno.

En la fertilización nitrogenada puede llegar a ser más determinante en la calidad final de la planta, la fuente del nitrógeno utilizada que la dosis suministrada. Existen dos formas de absorción de nitrógeno por las plantas: en forma de nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) o de amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$). Hay que tener en cuenta que el nitrato es menos estable en el sustrato, debido a la carga negativa del ión, y por ello no debe utilizarse únicamente el nitrato como fuente, porque ello llevaría a deficiencias en nitrógeno, tampoco hay que olvidar que la sensibilidad de las plantas al amonio es muy superior, sufriendo síntomas de toxicidad por exceso de absorción de esta forma (Dominguez, 1997)

Según la experiencia realizada por Van den Driessche (1.982), un aporte elevado de nitrógeno junto con un mayor espaciamiento entre las plántulas en vivero incrementó el peso seco, diámetro del cuello de la raíz en plántulas de *Pseudotsuga menziesii* de la costa y del interior y de *Picea sitchensis*. También produjo efecto en la distribución de la materia seca entre acículas, tallos y raíces.

Experimentos con fertilización de nitrógeno bajo condiciones de sequía han demostrado en general, que niveles altos de nitrógeno reducen la resistencia a la sequía, que niveles intermedios, cuando se ensayaron, provocaron casi un efecto beneficioso y que con niveles bajos de nitrógeno la sequía tuvo el menor efecto en el crecimiento. Por tanto

un exceso de fertilización con nitrógeno es muy probable que incremente la cantidad de daños por la sequía (Pharis y Kramer, 1964)

El contenido en nitrógeno en el follaje (% en peso) difiere mucho entre plantas sometidas a sequía de las que no fueron sometidas habiendo sido tratadas con la misma concentración de nitrógeno (10 ppm) (Pharis y Kramer, 1964).

En el ensayo de fertilización con dosis crecientes de nitrógeno en vivero sobre el arraigo y la supervivencia de un repoblado de *Pinus halepensis* en condiciones muy deficientes de humedad disponible, realizado por Oliét, y sus colaboradores en 1996, apreciaron un incremento del desarrollo de la parte aérea con el aporte de nitrógeno, lo que produjo plantas más desequilibradas en el balance parte aérea-parte radical. También apreciaron un notable incremento de la concentración de nitrógeno, en tejidos, con la dosis aportada.

Un aporte elevado de nitrógeno, además de aumentar el contenido total de nitrógeno en las plantas de, *Acer pseudoplatanus*. L y *Picea sitchensis* Carr., estimuló el desarrollo de raíces, produjo un aumento en el peso seco radical y en el número de raíces nuevas, pero no tuvo un efecto significativo en la longitud total de las raíces (Mackie et al., 1995).

El fósforo colabora de forma fundamental en la actividad funcional de las plantas. Constituye un factor de precocidad en las mismas, favorece su crecimiento, aumenta el desarrollo del sistema radical de las plantas jóvenes y es necesario para la síntesis y descomposición de hidratos de carbono. Además incide fundamentalmente en la floración, fecundación y entra a formar parte de lo que podríamos llamar el esqueleto de las plantas.

Según Molina y sus colaboradores en 1987 con *Pinus maestrensis* en vivero y en campo, el fósforo desempeña el papel de mayor importancia en el crecimiento en altura de las plantas y en la producción de materia seca foliar, así como en la supervivencia, cuando se adiciona con potasio. El nitrógeno también influye positivamente en el crecimiento en altura cuando se aplica combinado con el fósforo y en altas concentraciones reduce la supervivencia de *Pinus maestrensis* en vivero.

El papel del potasio en la nutrición de las plantas es semejante al del sodio en los animales, no llega a formar parte de ningún constituyente particular pero es necesario para

muchas funciones de formación de azúcares y almidón, síntesis de las proteínas y neutralización de los ácidos orgánicos. Además disminuye la transpiración de las plantas haciéndolas más resistentes a la sequía; aumenta su resistencia a heladas y en combinación con el fósforo favorece el desarrollo del sistema radical. También hay que tener en cuenta que es el elemento que da a las plantas mayor resistencia frente a plagas y enfermedades, a la vez que actúa como vehículo de transporte de las sustancias que la planta empleará como reserva.

Es conveniente fertilizar con dosis de Potasio por encima incluso de las recomendadas, al considerar además que las coníferas manifiestan una baja eficiencia absorbente para este elemento (Oliet, 1995).

Se ha demostrado que un contenido relativamente alto de potasio significa una mejor economía en agua y mejor supervivencia en invierno. El aumento de potasio promueve la lignificación del tallo y aumenta además la resistencia al frío. También es fundamental en el estado hídrico postransplante, al estar relacionado con procesos que regulan la apertura estomática y por tanto el potencial de evitación de la sequía. Además mejora la resistencia en vivero a ciertas enfermedades (Oliet, 1995).

Considerando la importancia de obtener planta de calidad de *Pinus halepensis* y teniendo en cuenta que la fertilización de las plantas en vivero es una de las prácticas culturales que más influye en el desarrollo de la planta, en el presente ensayo se ha realizado el cultivo de planta de *Pinus halepensis*, aplicando de forma progresiva y en función del ritmo de crecimiento, doce tratamientos distintos de fertilización obtenidos de la combinación de: tres niveles distintos de nitrógeno, dos de fósforo y dos de potasio, manteniéndose constante, en todos los tratamientos, el tipo de envase, tipo de sustrato y condiciones ambientales. Estos tratamientos influirán en la calidad morfológica y fisiológica de las plantas que será evaluada por medio de una serie de atributos e índices, que son los que figuran a continuación.

– Atributos morfológicos.

Estos atributos evalúan el grado de desarrollo y equilibrio de la planta y además están interrelacionados. La facilidad con que la mayoría de los parámetros morfológicos se miden ha convertido a este tipo de atributos en los más utilizados para evaluar la calidad (Thompson, 1985).

– Altura.

Longitud de la parte aérea, desde el cuello de la raíz hasta la base de la yema terminal. La altura es un indicador del grado de desarrollo de la parte aérea, por lo que presenta fuertes correlaciones con el número de hojas o acículas y con la superficie foliar, que determinan los procesos fotosintéticos y de transpiración (Thompson, 1985).

– Diámetro del cuello de la raíz .

Junto con la altura es uno de los atributos morfológicos más utilizados. Para Thompson (1985), este atributo es, el que pronostica con mayor precisión la supervivencia y el crecimiento postrasplante.

– Peso seco de la parte aérea.

Es una medida del desarrollo alcanzado por la planta al final del cultivo. Por ello se explican las fuertes correlaciones que se presentan entre este atributo y los anteriores, siendo muy parecida su capacidad de predicción (Thompson, 1985).

– Peso seco del sistema radical.

Desde el punto de vista descriptivo, un sistema radical de calidad sería aquel que, tras unos años después de la plantación, hubiera adquirido una arquitectura similar al de una planta desarrollada espontáneamente (Thompson, 1985). De forma cuantitativa el grado de desarrollo de las raíces puede medirse en peso seco, siendo un indicador de la capacidad absorbente.

– **Indices morfológicos.**

Estos índices se definen como la combinación de dos o más medidas de atributos morfológicos simples, dicha combinación proporciona información adicional de la calidad de la planta frente al equilibrio en el grado de desarrollo alcanzado por las distintas fracciones (raíz, tallo y hojas) (Thompson, 1985).

– Relación parte aérea-parte radical.

Este ratio, se obtiene por el cociente de los pesos de la parte transpirante o parte aérea y de la parte absorbente o parte radical, sirviendo como una medida del grado de equilibrio entre las dos partes (Thompson, 1985).

–Índice de calidad de Dickson.

Este índice indica la potencialidad de la planta tanto de sobrevivir como de crecer.

La expresión matemática de este índice es la siguiente:

$$QI = \frac{\text{Peso total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (cm)}} + \frac{\text{Peso parte aérea (g)}}{\text{Peso sistema radical (g)}}}$$

– Esbeltez.

La esbeltez o relación altura : diámetro del cuello de la raíz es un indicador muy similar al diámetro del cuello de la raíz en su capacidad de predicción del crecimiento y la supervivencia en plantación. Además, permite una estimación de la resistencia mecánica de la planta durante las operaciones de plantación o frente a vientos fuertes, especialmente en plantas producidas en contenedor, cuyo desarrollo en altura puede ser excesivo y el peligro de ahilamiento grande (Thompson, 1985).

– Atributos fisiológicos.

En el caso de la planta forestal para repoblación, el estado fisiológico al final del cultivo nos informa de su actual grado de vigor pero además, y lo que es más importante, es un indicador de la respuesta futura en plantación (Oliet, 1995).

– Nutrición mineral.

Está definido por la concentración en los tejidos de los diferentes elementos, expresada en % y el contenido total de nutrientes en la planta expresado en gr./planta. El estado nutritivo afecta de manera determinante a la resistencia al estrés y a las enfermedades, estando todos los procesos fisiológicos, así como muchos que determinan la morfología final, gobernados por este factor (Rook, 1991).

– Hidratos de carbono.

Los hidratos de carbono son sustancias sintetizadas mediante la fijación y reducción del CO₂ absorbido durante la fotosíntesis. Estos hidratos de carbono se dividen según su funcionalidad en carbohidratos estructurales y de reserva, siendo estos últimos utilizados por la planta como una fuente energética, en los momentos en los que el consumo por

respiración es superior a los ingresos acumulados en la fotosíntesis (Marshall, 1985). Esto ocurre en condiciones críticas en las que se puede ver sometida la planta.

En este ensayo vamos a evaluar los carbohidratos de reserva, concentraciones de almidón y azúcares totales en parte aérea y sistema radical.

– **Atributos de desarrollo.**

Evalúan la respuesta de la planta frente a condiciones ambientales que les induzcan al estrés, estando normalizadas estas condiciones. El valor de predicción de la calidad de planta, con estos atributos es grande, ya que consideran la respuesta de la planta al estrés, sin embargo hay que tener cuidado a la hora de interpretar los resultados, porque al realizarse en condiciones normalizadas no pueden llegar a incluir la variabilidad de las situaciones naturales.

Estos atributos pueden resumir en uno o en varios parámetros muchas de las características morfofisiológicas.

– **Potencial de regeneración de raíces.**

El potencial de regeneración de raíces es un atributo de desarrollo que nos indica la capacidad de una planta de iniciar y alargar nuevas raíces al situarla en condiciones favorables para el crecimiento radical (Ritchie, 1985).

El potencial de regeneración de raíces ha sido medido bajo una amplia variedad de condiciones y de muy diversas maneras, con distintos métodos cada uno de ellos tiene sus ventajas y limitaciones, no siendo ninguno de ellos el mejor, teniendo que elegir en cada caso el más conveniente.

Son muchos los trabajos realizados tanto a nivel nacional como internacional que han demostrado el efecto beneficioso de la fertilización sobre la calidad de planta de coníferas cultivadas en vivero. Sin embargo son escasos los trabajos realizados sobre el efecto de la fertilización sobre *Pinus halepensis* cultivado en vivero, pudiéndose mencionar algunos autores españoles como : Peñuelas, 1.991; Oliet, 1.995; Oliet et al, 1.996; Oliet et al 1997.

En cuanto a estudios de fertilización realizados sobre otras especies, se pueden mencionar otros estudios llevados a cabo en el Centro de Mejora Genética Forestal “El Serranillo”, como son el estudio realizado con plantas de *Pinus sylvestris*, *Pinus pinaster*,

Pinus pinea y *Quercus ilex*., a las que se les aplicaron cuatro dosis distintas de fertilización con el objetivo de testar el efecto de la aplicación de la cantidad de fertilizantes en cuatro especies con tamaño distintos de semillas realizado en 1.984 (Peñuelas y Ocaña, 1996).

Otro de los estudios realizados por este centro fue con plantas de *Pinus pinea*, a las que se les aplicaron distintos tratamientos de fertilización con el objetivo de obtener el tratamiento o tratamientos más adecuado para la producción de planta de calidad de esta especie (Ruiz, 1997)

2. OBJETIVOS.

El objetivo del presente ensayo es conocer los efectos que producen distintos tratamientos de fertilización aplicados a plantas de *Pinus halepensis*, cultivadas en envase, para poder obtener el tratamiento o tratamientos que produzcan una mejor calidad de planta, lo cual influirá de forma positiva en la supervivencia y crecimientos de las plantas una vez llevadas a campo.

Los efectos producidos por los distintos tratamientos se analizarán a través del estudio de la morfología de la planta, del potencial de regeneración de raíces y del estado nutritivo que presenten.