

Deficiencias nutritivas en plantas de una savia de tres especies del género *Pinus sp.* en cultivo hidropónico

V. Gallegos Pérula ¹, R.M. Navarro Cerrillo ¹*, E. Alcántara Vara ²

¹ Dpto. de Ingeniería Forestal

² Departamento de Agronomía

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes.
Universidad de Córdoba. Apdo. 3048, 14080-Córdoba

ir1nacer@uco.es

RESUMEN

El objeto del presente trabajo es el estudio de los efectos de las deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio y hierro en tres especies de pinos mediterráneos: *Pinus pinaster* Ait., *Pinus pinea* L. y *Pinus halepensis* Mill. Las semillas se sembraron en turba con perlita y cuando las plántulas alcanzaron un tamaño medio (*P. halepensis*: 4,7 cm.; *P. pinaster*: 4,32 cm.; *P. pinea*: 4,8 cm.) se trasladaron al cultivo hidropónico en medio líquido, utilizando soluciones nutritivas deficientes en N, P, K y Fe y una solución control. El cultivo se mantuvo durante 4 meses aproximadamente (abril a julio, 1998) en un umbráculo con un 50 % de sombra. Durante este período se determinaron atributos morfológicos (altura, diámetro, longitud de acículas, peso seco de parte aérea y raíz) y fisiológicos (concentración de clorofila y de nutrientes en hoja), así como los síntomas visibles provocados por las respectivas carencias nutricionales. Las deficiencias nutritivas afectaron a los atributos morfológicos y fisiológicos, produciendo en general una disminución del crecimiento y la aparición de síntomas. Sin embargo estos efectos tuvieron distinta magnitud dependiendo del elemento deficiente y de la especie. Así, la deficiencia de Fe es la que provocó efectos mayores y más rápidos, mientras que la de K tuvo muy poco efecto. Asimismo, los efectos fueron mayores sobre el crecimiento de la parte aérea que sobre la raíz. *P. pinaster* fue la especie más afectada.

PALABRAS CLAVE: *Pinus sp.*
Nutrición
Síntomas de deficiencias
Concentraciones foliares de nutrientes

* Autor para correspondencia
Recibido: 29-3-00
Aceptado para su publicación: 6-2-01

INTRODUCCIÓN

El éxito de una repoblación está condicionado por el empleo de una planta de calidad obtenida mediante un sistema de cultivo adecuado por parte del viverista (Duryea, 1985; Navarro *et al.*, 1998). La calidad de planta forestal viene determinada por la interacción de múltiples factores morfológicos y fisiológicos, los cuales se definen mediante unos atributos que se clasifican en materiales, medibles directamente y que pueden ser morfológicos y fisiológicos, y de respuesta de la planta a un test bajo condiciones determinadas (Ritchie, 1984; Puttonen, 1997). Uno de los atributos fisiológicos más importantes es el contenido de nutrientes minerales de la planta, pues puede decirse que un buen balance nutritivo produce una planta de calidad (Timmer *et al.*, 1991; van den Driessche, 1991; Marschner *et al.*, 1996; Timmer, 1997). La composición mineral de la planta que va a ser trasplantada es de gran importancia para la supervivencia postrasplante pues en las primeras etapas no es capaz de aprovechar los nutrientes del suelo y ha de recurrir a los acumulados en sus tejidos en la fase de vivero.

El estado nutritivo de una planta puede caracterizarse fundamentalmente de dos formas: por síntomas visuales y por análisis químico de los tejidos. Los síntomas visuales han sido útiles para diagnosticar algunas deficiencias nutritivas que originan síntomas específicos (Landis, 1985). El uso de los síntomas visuales como diagnóstico asume que la apariencia externa de una planta afectada por un desorden nutritivo puede relacionarse con la deficiencia o toxicidad de un elemento específico. Inicialmente, esta respuesta puede manifestarse en una reducción del crecimiento y vigor de la planta, pero al aumentar el estrés pueden darse cambios visibles, como la decoloración foliar y malformaciones en partes de la planta (Timmer, 1991).

Numerosas investigaciones han intentado relacionar los síntomas visuales con deficiencias nutritivas mediante cultivo hidropónico, donde se suministran todos los nutrientes adecuadamente excepto el nutriente en cuestión (Marcos y Marzo, 1968; Ugarte, 1950). La descripción detallada de los síntomas suele complementarse con información sobre el crecimiento, análisis de tejidos y, en algunos casos, fotografías ilustrativas (Marcos y Marzo, 1966, 1968, 1971; Robinson, 1983; Bennett, 1993; Dell, 1996). Los síntomas típicos de deficiencias de macronutrientes en especies de coníferas han sido descritos por diferentes autores y aparecen revisados por Timmer (1991).

La clorosis es un síntoma muy común para muchas deficiencias (N, Ca, S, Fe y Mn) por lo que no es un buen discriminador. Un problema frecuente a la hora de evaluar la decoloración de las distintas partes de la planta es la subjetividad e imprecisión al describir el color, para evitar esto se ha sugerido el uso de cartas de colores como las tablas Munsell (Wilde y Vogt, 1952; Marcos y Marzo, 1966; Royo *et al.*, 1997). En el caso de la clorosis, un indicador más cuantitativo es el contenido de clorofila en las acículas. Sin embargo, el diagnóstico visual no tiene suficiente sensibilidad y podría darse demasiado tarde para una corrección efectiva; en contraste, la composición nutritiva de la planta es considerablemente más sensible a cambios en el aporte de nutrientes (Timmer, 1991).

Es, por tanto, aconsejable realizar un seguimiento del estado nutritivo de la planta, vigilando los posibles síntomas visuales indicadores de deficiencias, llevando un buen control de la fertilización, y realizando análisis foliares para comparar los valores obtenidos con los publicados en la bibliografía para la especie o especies afines (Landis, 1985; Timmer *et al.*, 1991). Aunque existen algunos trabajos de fertilización en vivero que utilizan como material de base pinos mediterráneos (Landis, 1989; Eymar, 1993; Oliet *et al.*,

1997; Royo *et al.*, 1997), se puede decir que aún existe un importante vacío de información sobre las necesidades nutritivas de la mayor parte de las especies mediterráneas, por lo que el desarrollo de investigaciones en esta área supone una aportación necesaria en todo el proceso de cultivo y control de calidad de planta forestal.

El **objetivo** del presente trabajo es estudiar los efectos de las deficiencias de N, P, K y Fe en tres especies de pino (*Pinus pinaster* Ait., *Pinus pinea* L. y *Pinus halepensis* Mill.).

MATERIAL Y MÉTODOS

Las tres especies estudiadas junto con la procedencia de sus semillas fueron:

- *Pinus pinaster* Ait. ssp. *mesogeensis*: Sierra de Huétor (Granada)
- *Pinus pinea* L.: Sierra Morena (Córdoba)
- *Pinus halepensis* Mill.: Litoral de Granada

Las semillas se sembraron a finales de enero en envases «BARDI M-30» de 305 cm³ con una mezcla de turba no fertilizaba con perlita en una proporción de 4:1. El cultivo se mantuvo en invernadero (21 a 37 días) en condiciones ambientales no controladas hasta que las plántulas alcanzaron un tamaño adecuado para trasplantarlas al cultivo hidropónico (*P. halepensis*: 4,7 cm.; *P. pinaster*: 4,32 cm.; *P. pinea*: 4,8 cm.). Durante esta fase de obtención de plántulas los riegos se realizaron hasta saturación cada dos días con agua de grifo y no se procedió a ninguna fertilización hasta el comienzo de los tratamientos, salvo los posibles nutrientes aportados por el agua de riego. En la Tabla 1 se presenta la analítica del agua de grifo utilizada para los riegos durante el período de obtención de los brinzales. El análisis, realizado en el laboratorio Agroalimentario de Córdoba de la Consejería de Agricultura y Pesca (Junta de Andalucía), presentó un pH de 7,6.

Tabla 1
Análisis del agua de riego de la ETSIAM de la Universidad de Córdoba

| Nutrientes | Concentración (ppm) |
|------------------------------|---------------------|
| NO ₃ ⁻ | 49,00 |
| P | 0,30 |
| K | 0,03 |
| Ca | 123,00 |
| Mg | 5,28 |
| SO ₄ ⁼ | 103,90 |
| Na | 63,90 |
| Cu | 0,11 |
| Cl | 92,10 |

A finales de marzo las plantas se trasplantaron a recipientes de plástico cilíndricos conteniendo 900 cm³ de la solución nutritiva correspondiente a cada tratamiento. Los recipientes se envolvieron con papel de aluminio para evitar que llegara luz a la raíz, así como la proliferación de algas. Las tapas de los envases se hicieron a partir de corcho blanco, soportando las plantas por el tallo mediante una cinta de espuma plástica. Las soluciones nutritivas estuvieron continuamente aireadas mediante un sistema de distribución de aire forzado por un compresor y se renovaron cada 30 días (3 veces durante el ensayo). Las plantas se mantuvieron en un umbráculo del 50 % de sombra (128 a 136 días) hasta que se consideró que habían alcanzado un tamaño análogo al obtenido en planta de vivero a una savia (*P. halepensis*: 14,98 cm., PA:PR = 2,07; *P. pinaster*: 27,37 cm. PA:PR = 2,68; *P. pinea*: 20,5 cm., PA:PR = 2,45).

Para cada especie se utilizaron 25 plantas a las que se aplicaron los siguientes tratamientos (5 plantas por tratamiento): **Control** (Solución de Hoagland completa), **Sin Fe**, **Sin N**, **Sin P** y **Sin K**.

La concentración de macroelementos en la solución nutritiva correspondiente a cada tratamiento se presenta en la Tabla 2. El N se aportó en las soluciones nutritivas como NO₃⁻. El tratamiento sin N constó de dos fases: una primera fase con bajo contenido de N (2,5 mM) y una duración de 2 meses, y una segunda fase sin aporte alguno de N.

Tabla 2
Concentración de macroelementos de las soluciones nutritivas utilizadas en los distintos tratamientos (mM)

| | Control | Sin Fe | Sin N (Fase 1) | Sin N (Fase 2) | Sin P | Sin K |
|---|---------|--------|----------------|----------------|-------|-------|
| (NO ₃) ₂ Ca | 5 | 5 | | | 5 | 6,79 |
| NO ₃ K | 5 | 5 | 2,5 | | 5 | |
| SO ₄ Mg | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| (PO ₄ H ₂) ₂ Ca | | | | | | 0,5 |
| (NO ₃) ₂ Mg | | | | | | 0,71 |
| Cl ₂ Ca | | | 5 | 5 | | |
| ClK | | | 2,5 | 5 | 1 | |
| (PO ₄ H ₂)K | 1 | 1 | 1 | 1 | | |

La concentración final de microelementos en las soluciones nutritivas fue (μM): 25 BO₃H₃; 50 ClK; 20 Fe-EDDHA; 2 SO₄Mn * H₂O; 2 SO₄Zn * 7 H₂O; 0,5 SO₄Cu * H₂O; 0,37 Mo₇O₂₄(NH₄)₆ * 4 H₂O. En el tratamiento sin Fe la solución nutritiva no contenía Fe-EDDHA.

Las determinaciones realizadas durante el período experimental fueron las siguientes:

Atributos morfológicos

Los atributos morfológicos medidos fueron: altura total (cm) (desde el nudo de los cotiledones hasta la yema terminal del tallo), diámetro del tallo hipocótilo (mm), longitud de acículas y peso seco de raíz (gr) y parte aérea (gr). El diámetro se midió con un calibre

digital Mitutoyo CD-15CP ($\pm 0,02$ mm), tomando dos medidas por planta en direcciones perpendiculares. Para la medición de la longitud de acículas se midieron con un regla milimetrada en tres acículas de la zona media de cada planta por ser de una edad media y tamaño medios.

Para la obtención de la biomasa se determinó el peso seco de las diferentes partes del vegetal (hojas, tallos y raíces), las cuales se depositaron en bolsas de papel y se secaron en una estufa de ventilación forzada (Selecta Digitronic) a 65 °C durante 24 horas. Se utilizó una balanza analítica (Mettler AJ 150) de 0.1 mg de precisión, tras estabilizar la humedad de las muestras en desecador.

Atributos fisiológicos

Se realizaron dos mediciones de clorofila, una en la primera mitad del período experimental y otra al final. Se muestrearon al azar 4 acículas del tercio superior de cada planta y, tras obtener su peso fresco, se sumergieron en 4 ml de metanol, durante 12 horas en oscuridad y a temperatura ambiente. Por último, se midió la absorbancia a 645 y 663 nm mediante un espectrofotómetro Perkin-Elmer modelo Lambda-2 (Alcántara *et al.*, 1988).

El contenido de clorofila total se calculó en mg/gsegún la siguiente ecuación (Cianzio *et al.*, 1979):

$$\text{Clorofila total (mg/fPF)} = \frac{20,2A(645) + 8,02A(663)}{\text{gPF}} \times V$$

donde:

- PF = peso fresco del tejido vegetal (g)
- A = absorbancia (nm)
- V = volumen de la solución extractante (l).

Al final de los experimentos se realizaron para cada planta un análisis de elementos minerales en una muestra homogeneizada de acículas de la zona media alta de las plantas de cada tratamiento, descartando las apicales más jóvenes (Bara Temes, 1974; Fernández-Prida, 1976; González *et al.*, 1988). La digestión de las acículas se realizó por vía húmeda en caliente con ácido nítrico y ácido perclórico concentrados. Las concentraciones de Ca y la de K se midieron en un espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN-ELMER modelo 1100B. El P se determinó mediante un método colorimétrico con molibdato amónico (Murphy y Riley, 1962). No se pudo realizar el análisis de contenido de N por falta de muestra, y tampoco el análisis nutritivo a las plantas del tratamiento sin Fe por encontrarse sus acículas completamente necróticas al final del experimento. Se llevó a cabo, además, un seguimiento del pH de las soluciones nutritivas.

La comparación entre tratamientos se realizó a partir de un análisis de la varianza, seguido de un Test de Tuckey, con un nivel de significación del 0,05, que permitió establecer las diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Stell y Torrie, 1989). El programa estadístico utilizando para ello fue Statistica 4.0.

RESULTADOS

Deficiencia de nitrógeno

Los síntomas visuales de deficiencia en N se manifestaron como clorosis, pero a diferencia con la deficiencia de Fe la clorosis fue mucho menor, afectó a todas las acículas y se apreció solamente al final del ensayo (Tabla 3). Los síntomas aparecieron de forma progresiva hasta el final del cultivo, lo cual hubiera sido más evidente si no se hubiera aportado nitrógeno durante los dos primeros meses de tratamiento.

Tabla 3
Resumen de los síntomas visuales observados durante el experimento

| Nutriente deficiente | SÍNTOMAS VISUALES | | |
|----------------------|--|---|---|
| | <i>P. pinaster</i> | <i>P. pinea</i> | <i>P. halepensis</i> |
| Fe | Clorosis en acículas jóvenes, avanzando hacia las acículas viejas, seguida de necrosis en las acículas de la zona media-alta de la planta, llegando a afectar a toda la planta en los casos más severos. Acículas más cortas que las de las plantas control. | Clorosis en acículas jóvenes, avanzando hacia las acículas viejas. | Clorosis en acículas jóvenes, avanzando hacia las acículas viejas. Acículas más cortas. |
| N | Clorosis, pero a diferencia con la deficiencia de Fe la clorosis fue mucho menor, afectó a todas las acículas y se apreció solamente al final del ensayo. | Clorosis, pero a diferencia con la deficiencia de Fe la clorosis fue mucho menor, afectó a todas las acículas y se apreció solamente al final del ensayo. | Clorosis, pero a diferencia con la deficiencia de Fe la clorosis fue mucho menor, afectó a todas las acículas y se apreció solamente al final del ensayo. |
| P | Acículas de color verde más oscuro. Clorosis y necrosis en los ápices de las acículas de la parte inferior de la planta, adquiriendo la apariencia como si se hubieran chamuscado. Acículas más cortas. | Acículas más cortas. | Acículas más cortas. |
| K | Ningún síntoma visible. | Ningún síntoma visible. | Ningún síntoma visible. |

La deficiencia de N afectó sobre todo al crecimiento de la parte aérea (Fig. 4 a 6), viéndose la raíz poco afectada (Tabla 4). Como consecuencia la relación de pesos secos de parte aérea/raíz disminuyó, respuesta descrita por otros autores como Salisbury y Ross (1992). La especie más afectada fue *P. pinaster* (reducción del 59 % respecto al control) y la menos *P. pinea* (reducción del 42 % respecto al control).

Tabla 4

Atributos morfológicos obtenidos al final del período experimental para las tres especies estudiadas. Se presenta la media \pm error estándar ($n = 5$). Las medias con alguna letra en común dentro de cada especie no son significativamente diferentes según el test de Tukey con un nivel de significación del 0,05

| Tratamiento | Altura (cm) | Diámetro (mm) | Esbeltez (cm/mm) | Longitud de acículas (cm) | (1) Peso seco de parte aérea (g) | (2) Peso seco de raíz (g) | Relación (1)/(2) |
|-------------------------------|------------------|-----------------|------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------|
| <i>Pinus pinaster Ait.</i> | | | | | | | |
| Control | 27,4 \pm 2,0a | 3,5 \pm 0,1a | 7,8 \pm 0,5a | 4,2 \pm 0,1a | 1,95 \pm 0,08a | 0,73 \pm 0,05a | 2,68 \pm 0,19a |
| Sin Fe | 5,2 \pm 1,3d | 1,6 \pm 0,1e | 4,0 \pm 1,2b | 2,4 \pm 0,2b | 0,26 \pm 0,06d | 0,10 \pm 0,02c | 2,72 \pm 0,16a |
| Sin N | 14,8 \pm 1,4bc | 2,6 \pm 0,1c | 5,7 \pm 0,6ab | 3,5 \pm 0,2ab | 0,73 \pm 0,03c | 0,66 \pm 0,06a | 1,12 \pm 0,80b |
| Sin P | 9,4 \pm 2,2c | 2,2 \pm 0,1d | 4,4 \pm 0,3b | 3,0 \pm 0,2b | 0,56 \pm 0,13c | 0,40 \pm 0,04b | 1,44 \pm 0,35b |
| Sin K | 19,2 \pm 2,2b | 3,1 \pm 0,1b | 6,1 \pm 0,5ab | 3,9 \pm 0,1ab | 1,53 \pm 0,05b | 0,72 \pm 0,03a | 2,16 \pm 1,16a |
| <i>Pinus pinea L.</i> | | | | | | | |
| Control | 20,5 \pm 1,5a | 3,9 \pm 0,1ab | 5,3 \pm 0,2a | 2,7 \pm 0,1ab | 1,91 \pm 0,03a | 0,78 \pm 0,05a | 2,45 \pm 0,13ab |
| Sin Fe | 10,6 \pm 1,1b | 2,6 \pm 0,1c | 4,1 \pm 0,3a | 2,6 \pm 0,3ab | 0,71 \pm 0,07c | 0,26 \pm 0,03b | 2,74 \pm 0,08a |
| Sin N | 16,8 \pm 0,9a | 3,6 \pm 0,2ab | 4,8 \pm 0,3a | 2,5 \pm 0,1ab | 1,33 \pm 0,11b | 0,92 \pm 0,05a | 1,44 \pm 0,04d |
| Sin P | 16,1 \pm 0,7a | 3,1 \pm 0,1b | 5,2 \pm 0,2a | 2,3 \pm 0,1b | 1,25 \pm 0,10b | 0,78 \pm 0,04a | 1,63 \pm 0,16cd |
| Sin K | 17,1 \pm 1,0a | 4,0 \pm 0,3a | 4,3 \pm 0,5a | 2,8 \pm 0,1a | 1,62 \pm 0,12ab | 0,75 \pm 0,06a | 2,17 \pm 0,04bc |
| <i>Pinus halepensis Mill.</i> | | | | | | | |
| Control | 15,0 \pm 0,7a | 2,3 \pm 0,1a | 6,6 \pm 0,5a | 3,0 \pm 0,1a | 0,66 \pm 0,04a | 0,32 \pm 0,02ab | 2,08 \pm 0,16a |
| Sin Fe | 5,5 \pm 0,5c | 1,3 \pm 0,1c | 4,4 \pm 0,1c | 2,4 \pm 0,1b | 0,17 \pm 0,01c | 0,10 \pm 0,01c | 1,77 \pm 0,08a |
| Sin N | 9,6 \pm 0,5b | 2,0 \pm 0,1b | 5,0 \pm 0,3bc | 3,0 \pm 0,1a | 0,38 \pm 0,01b | 0,30 \pm 0,01ab | 1,26 \pm 0,04b |
| Sin P | 7,7 \pm 0,5bc | 1,9 \pm 0,1b | 4,1 \pm 0,2c | 2,3 \pm 0,1b | 0,30 \pm 0,02bc | 0,25 \pm 0,02b | 1,21 \pm 0,12b |
| Sin K | 13,0 \pm 0,6a | 2,2 \pm 0,1a | 5,9 \pm 0,1ab | 3,0 \pm 0,17a | 0,65 \pm 0,07a | 0,34 \pm 0,03a | 1,90 \pm 0,08a |

Las plantas sin N presentaron mayores concentraciones de P que las de control, salvo en *P. pinea* donde no hubo diferencias (Fig. 2). En una primera etapa la concentración de clorofila (Fig. 1a) se observa que es similar al control mientras que, al final del ensayo (Fig. 1b), hay una disminución que es mayor en *P. pinaster* (reducción del 54 % respecto del control) y menor en *P. pinea* (reducción del 12,5 % respecto del control), coincidiendo por tanto con los resultados de pesos secos de parte aérea.

Deficiencia de fósforo

Los síntomas de deficiencia en las plantas sin P sólo se manifestaron en *P. pinaster* y se desarrollaron como clorosis y necrosis en acículas viejas (Fig. 4, Tabla 3), de forma que las acículas necróticas tenían una apariencia como si se hubieran *chamuscado*, síntomas similares a los descritos por Fernández-Prida (1976). No se observaron, sin embargo, las coloraciones púrpuras descritas por otros autores como Timmer (1991).

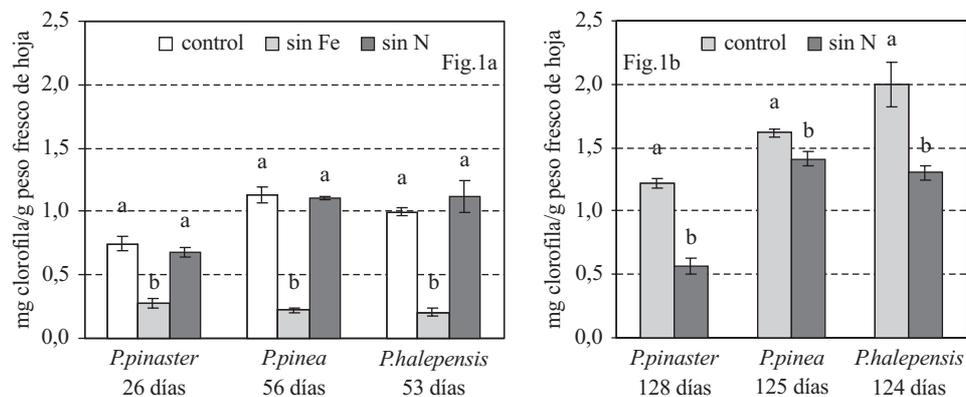


Fig. 1.—Concentración de clorofila en las acículas del tercio superior de la planta en función del tratamiento, de la especie y del momento en que se realizó la medición expresado en número de días de tratamiento. Para cada especie se realizaron dos mediciones, la primera cuando se observaban síntomas apreciables de clorosis (Fig. 1a) y la segunda al final del ensayo (Fig. 1b). Al final del cultivo no se pudo medir la clorofila de las plantas del tratamiento sin Fe por estar completamente necróticas. Se representa la media \pm error estándar ($n = 5$). Las medias con alguna letra en común dentro de cada especie no son significativamente diferentes según el test de Tukey con un nivel de significación del 0,05

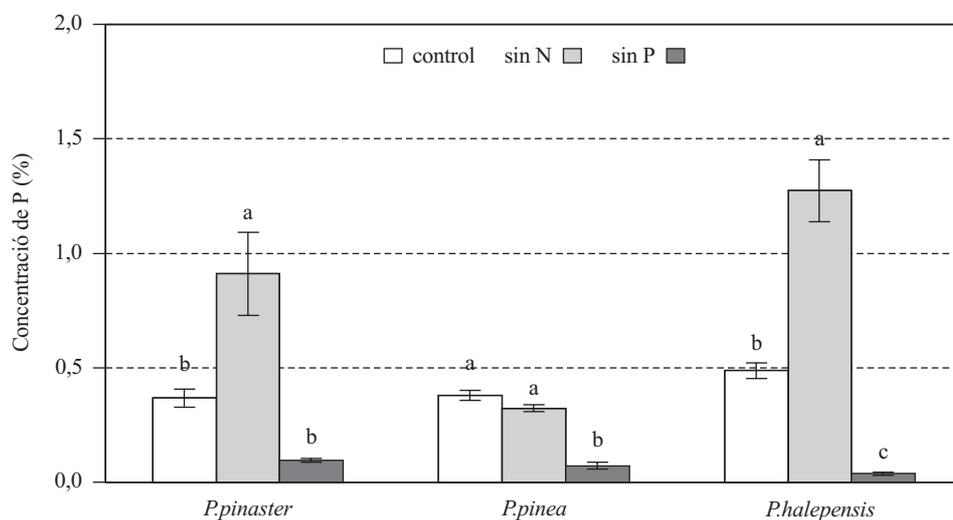


Fig. 2.—Concentración foliar de P en los tratamientos control, sin N y sin P. Los valores representan la media \pm error estándar ($n = 5$). Las medias con alguna letra en común dentro de cada especie no son significativamente diferentes según el test de Tukey con un nivel de significación del 0,05

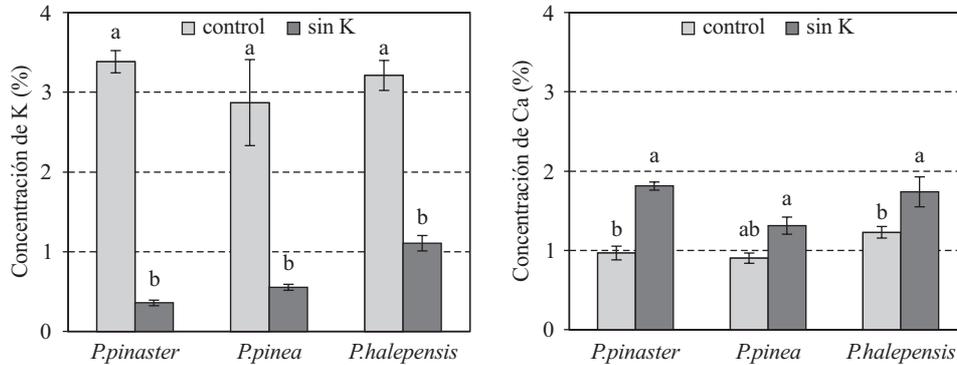


Fig. 3.—Concentración foliar de K y Ca en los tratamientos control y sin K de las tres especies estudiadas. Los valores representan la media \pm error estándar ($n = 5$). Las medias con alguna letra en común dentro de cada especie no son significativamente diferentes según el test de Tukey con un nivel de significación del 0,05

Después de las plantas deficientes en Fe, las plantas sin P fueron las más afectadas en el crecimiento. La reducción fue mayor en parte aérea que en raíz, provocando por tanto una disminución de la relación de peso seco de parte aérea/raíz, como ocurrió también con la deficiencia de N (Tabla 4). De las tres especies, *P. pinaster* fue la más afectada, ya que fue la única en que aparecieron síntomas visuales y, además, su crecimiento, tanto de parte aérea como de raíz, se redujo más en relación al tratamiento control (71,3 % en parte aérea y 45,2 % en raíz). *P. pinea* alcanzó mayores pesos secos, con menores reducciones respecto al tratamiento control (34,3 % en parte aérea y 2 % en raíz), y en *P. halepensis*, el efecto en el crecimiento fue intermedio (55,3 % en parte aérea y 21,9 % en raíz) (Tabla 4).

Las concentraciones foliares de P en las plantas del tratamiento control estuvieron dentro de los niveles normales encontrados en plantas de vivero (Tabla 5), mientras que en las plantas del tratamiento sin P disminuyeron de forma apreciable en las tres especies (Fig. 2).

Deficiencia de potasio

Las plantas sometidas a deficiencia de K no presentaron ningún síntoma visible y además tuvieron un crecimiento, tanto en parte aérea como de raíz, muy parecido al control (Tabla 4, Tabla 3, Fig. 4 a 6). Estos resultados no parecen corresponderse totalmente con los propuestos por diversos autores, aunque en general se admite la dificultad de observar las deficiencias de K mediante síntomas visuales (Timmer, 1991).

Los atributos morfológicos presentaron pequeñas diferencias entre especies, cabe destacar que *P. pinaster* vio reducido su crecimiento de parte aérea con respecto al tratamiento control (21,2 % en parte aérea y 2,8 % en raíz), y *P. halepensis* presentó la menor tasa de reducción del peso seco de la parte aérea (3,1 %) e incluso experimentó un incremento del peso seco de raíz respecto al control (3,1 %).

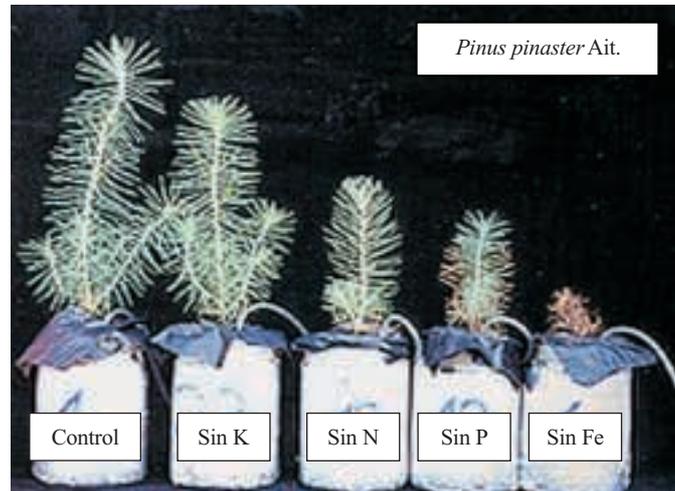


Fig. 4.—*Pinus pinaster* Ait. en cultivo hidropónico a los 129 días de tratamiento. Se presenta una planta de cada tratamiento. Obsérvese que la planta del tratamiento sin P presenta el ápice de las acículas de la zona media necróticas y que la planta del tratamiento sin Fe está completamente necrótica

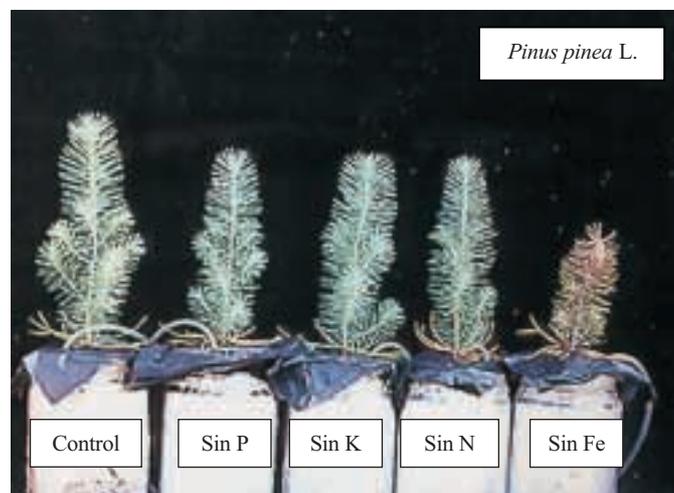


Fig. 5.—*Pinus pinea* L. en cultivo hidropónico a los 123 días de tratamiento. Se presenta una planta de cada tratamiento. Obsérvese que en este pino las diferencias entre tratamientos es menos acusada que en el anterior y que la planta del tratamiento sin Fe presenta una necrosis muy avanzada

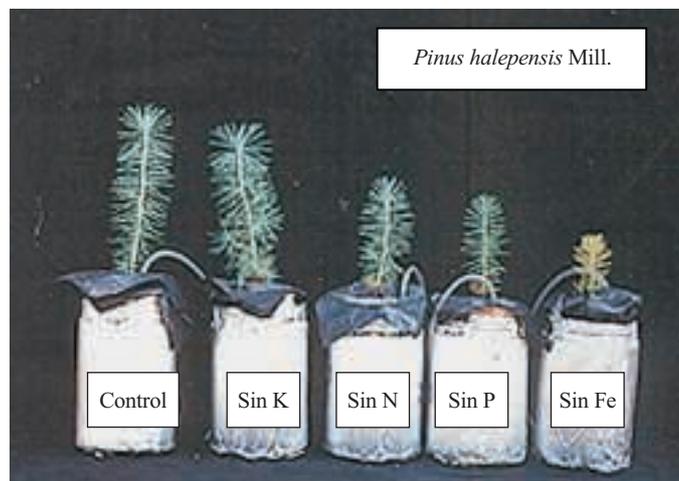


Fig. 6.—*Pinus halepensis* Mill. en cultivo hidropónico en medio líquido a los 108 días de tratamiento. Se presenta una planta de cada tratamiento. La planta del tratamiento sin Fe se encuentra completamente clorótica y comienza a manifestar necrosis en los ápices de las acículas de la zona media alta de la planta

Las concentraciones foliares de K en las plantas del tratamiento control, alrededor del 3 %, fueron superiores a los niveles encontrados en plantas de vivero (Fig. 3, Tabla 5). En el tratamiento sin K la concentración disminuyó de forma apreciable en las tres especies, en *P. pinaster* y en *P. pinea* por debajo del límite inferior del intervalo de valores estándar (Fig. 3, Tabla 4). En las plantas deficientes en K se produjo además un aumento en la concentración foliar de Ca (Fig. 3). A igualdad de disponibilidad de K, *P. pinaster* alcanzó una menor concentración de este nutriente al haber alcanzado un mayor tamaño, mientras que *P. halepensis* alcanzó mayores concentraciones de K debido a su menor tamaño, lo que se corresponde con valores también más altos en plantas de vivero de esta especie (Fig. 3, Tabla 5).

Tabla 5

Concentración (%) de P, K y Ca para *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pinus halepensis* y coníferas en general, cultivados en vivero

| Nutrientes minerales | Unidades | <i>Pinus pinaster</i> (1) | <i>Pinus pinea</i> (1) | <i>Pinus halepensis</i> (1) | Coníferas en contenedor (2) |
|----------------------|----------|---------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| P | % | 0,29 ± 0,05 | 0,21 ± 0,02 | 0,33 ± 0,31 | 0,20 a 0,60 |
| K | % | 0,35 ± 0,05 | 0,34 ± 0,05 | 0,66 ± 0,49 | 0,70 a 2,50 |
| Ca | % | 0,38 ± 0,06 | 0,47 ± 0,04 | 0,40 ± 0,29 | 0,30 a 1,00 |

(1) Concentración media de macronutrientes para tres especies de pinos en viveros de Andalucía sin fertilizar (Navarro y del Campo, 1998). (2) Valores estándar de concentración de los nutrientes minerales en acículas de coníferas, cultivadas en vivero (W.R. Grace, S.A., citado por Landis, 1985).

Deficiencia de hierro

Esta deficiencia es la que provocó síntomas visuales y efectos sobre las especies estudiadas más negativos, llegando a morir las plantas al final del ensayo. En una etapa muy temprana, a partir de 15-25 días de tratamiento, aparecieron síntomas de clorosis en las acículas jóvenes que progresaba desde su ápice hasta su base (Fig. 4 a 6, Tabla 3). Estos síntomas coinciden con los descritos por otros autores (Timmer, 1991; Landis, 1995). La concentración de clorofila (Fig. 1) disminuyó mucho respecto al control. En *P. pinaster* la clorosis se desarrolló de forma más rápida, presentando a los 26 días síntomas muy apreciables, que en las otras especies se produjeron a partir de los 50 días. A final del ensayo, las acículas de *Pinus pinaster* estaban completamente necróticas por lo que no se pudo determinar su concentración de clorofila.

Los atributos morfológicos presentaron importantes diferencias entre especies, cabe destacar que *P. pinaster* vio reducido su crecimiento de parte aérea con respecto al tratamiento control (86,6 % en parte aérea y 87 % en raíz), y *P. pinea* presentó las menores tasas de reducción del peso seco (63,2 % en parte aérea y 66,7 % en raíz) (Tabla 4).

Variación del pH

En este trabajo se realizó un control periódico del pH, encontrando que, en general, se producían subidas de pH que llegaba a valores de 7 en el control. Esta subida está relacionada con la absorción de NO_3^- , que ha sido la forma de N aportada, pues la absorción de este anión por las raíces aumenta el pH del medio (Larcher, 1995). En el tratamiento sin Fe no se detectó acidificación alguna del medio, pero en el tratamiento sin N sí se produjeron bajadas importantes ($\text{pH} < 4$), debido al efecto de la ausencia de NO_3^- .

DISCUSIÓN

En el tratamiento control, las tres especies crecieron bien a lo largo del período experimental, y no mostraron ningún tipo de síntoma anormal. *P. halepensis* tuvo menor crecimiento, tanto de parte aérea como de raíz, que las otras especies (Tabla 4). En el sistema de cultivo hidropónico se obtuvieron menores valores de esbeltez y mayores de relación parte aérea: raíz comparados con los de Navarro y del Campo (1998). Este último efecto puede deberse a la mayor disponibilidad de nutrientes en el medio hidropónico que disminuye la necesidad que tienen las raíces de expandirse para explorar más suelo en busca de nutrientes; o bien al efecto de la sombra en el umbráculo, el cual puede provocar un aumento de la esbeltez, o una mayor disponibilidad de agua.

Las deficiencias nutritivas afectaron a los atributos morfológicos (Tabla 4) y fisiológicos (Fig. 1 a 6), produciendo en general una disminución del crecimiento y la aparición de síntomas. Sin embargo, estos efectos tuvieron distinta magnitud dependiendo del elemento deficiente y de la especie. Así, la deficiencia de Fe es la que provocó efectos mayores y más rápidos, mientras que la de K tuvo muy poco efecto. Asimismo, los efectos fueron mayores sobre el crecimiento de la parte aérea que sobre la raíz. También hubo diferencias entre especies, siendo *P. pinaster* la más afectada. Para prevenir este tipo de situaciones es recomendable la

realización de un control del estado nutritivo de las plantas durante su cultivo en el vivero con el fin de poder corregir desequilibrios nutritivos y obtener plantas de mayor calidad.

Las plantas sin N presentaron síntomas de clorosis, comenzando por las hojas más viejas, ya que el N es un elemento móvil. Cuando la deficiencia es severa, la clorosis puede alcanzar las hojas más jóvenes (Kozłowski *et al.*, 1991). La deficiencia de este elemento se ha caracterizado también por una disminución de la tasa de crecimiento. La parte aérea ha presentado una apariencia ahilada, las acículas son más cortas y tienen valores menores de peso seco, respuesta descrita por otros autores (Binns *et al.*, 1980, Salisbury y Ross 1992). Las plantas sin N presentaron mayores concentraciones de P que las de control, salvo en *P. pinea* donde no hubo diferencias (Fig. 2). Este efecto puede deberse a varias causas como interacción en la absorción, acumulación por menor crecimiento, etc., y en este caso a un efecto indirecto a través del pH, inferior a 4, alcanzado en el tratamiento sin N, que favorece la absorción de P (Mengel y Kirkby, 1979). En *Pinus pinaster* el aumento de la concentración de P fue debido a la reducción del crecimiento, mientras que en *Pinus halepensis* se produjo, además, por la mayor absorción de este elemento favorecida por la disminución de pH.

Los síntomas observados en el tratamiento sin P han sido una apariencia de *chamuscado* de las hojas (Fig. 4), tal y como fue descrito por Fernández-Prida (1976). El crecimiento vegetativo se ha visto afectado, de forma que las plantas han presentado disminución de crecimiento, con un sistema radical limitado, que se ha manifestado en una disminución significativa de biomasa.

La deficiencia de K no se ha manifestado con síntomas visibles y la reducción del crecimiento ha sido pequeña. Sin embargo, exceptuando *Pinus halepensis*, las concentraciones foliares de K han resultado bajas y podrían repercutir en la supervivencia y crecimiento postraspante. La ausencia de síntomas para esta deficiencia puede deberse a que la distribución de K en las células es compartimentada (citoplasma y vacuolas) de modo que una planta deficiente puede no manifestar síntomas porque el contenido del citoplasma es el adecuado pero no el de la vacuola y de ahí su pérdida de capacidad de acción (Ilan *et al.*, 1995). En las plantas deficientes en K se produjo además un aumento en la concentración foliar de Ca (Fig. 3). Este aumento puede deberse por un lado a la mayor concentración de este elemento en la solución nutritiva sin K y por otro a una mayor absorción de Ca como mecanismo para compensar cationes (Mengel y Kirkby, 1979). Las concentraciones de Ca fueron superiores a las encontradas en vivero (Fig. 3, Tabla 5). Las plantas con bajas concentraciones de K resultan más susceptibles a situaciones de estrés como sequía, enfermedades, heladas o salinidad (Mengel y Kirkby, 1979).

La deficiencia en hierro ha dado lugar a síntomas de clorosis muy severa, debidos a que esta deficiencia provoca una disminución de la síntesis de clorofila, ya que varias enzimas que catalizan la síntesis de clorofila requieren Fe^{2+} (Romera y Díaz de la Guardia, 1991; Larcher, 1995). Por ello, y debido a la poca movilidad de este elemento, el síntoma más característico es una clorosis general de las hojas jóvenes, que al alcanzar valores muy elevados ha provocado necrosis de las hojas y la muerte de la planta.

Los cambios de pH de la solución nutritiva han podido tener efectos en la absorción de nutrientes por las raíces. Por ejemplo, la acidificación del medio es una respuesta a la deficiencia de Fe que muestran algunas especies (Marschner, 1995) y viceversa, es decir, la deficiencia de algún nutriente puede provocar como respuesta en la planta variaciones en el pH del medio. Estas variaciones de pH pueden explicar en parte las variaciones en las concentraciones foliares de nutrientes, como por ejemplo el incremento de P en plan-

tas del tratamiento sin N (Fig. 2) exceptuando *Pinus pinea*, pues el fosfato se absorbe mejor a pH ácido (Mengel y Kirkby, 1979). Los problemas detectados en la variación de pH se podrían haber solucionado con una renovación de la solución nutritiva más frecuente.

La calidad de la planta queda reflejada por múltiples factores morfológicos y fisiológicos que están condicionados por factores genéticos, de cultivo y de uso de las plantas en repoblación. Independientemente de los criterios que se utilicen (Puttonen, 1997; Mattson, 1997), el estado nutritivo de la planta representa uno de los factores de cultivo que más cuidadosamente deben controlarse (Landis, 1995). El diagnóstico de deficiencias debe considerarse, por tanto, como una técnica necesaria en viveros forestales, utilizando para ello referencias de síntomas visuales específicos y valores estándar de concentraciones de nutrientes en hojas. Aunque existen referencias generales para coníferas, existe una importante laguna de información para especies mediterráneas, por lo que aún queda una importante labor de investigación.

Los resultados de este trabajo constituyen una base experimental para futuras investigaciones de mayor profundidad para cada nutriente y la ampliación a otros nutrientes no estudiados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo del INIA y la CICYT, a través de la convocatoria del Proyecto Estratégico Movilizador de I + D de apoyo a la forestación, mediante la financiación del proyecto *Definición del ciclo de producción de cuatro especies forestales (Quercus ilex L.; Pinus pinea L.; Ceratonia siliqua L. y Olea europaea L. var. sylvestris) de especial importancia en los programas de forestación en tierras agrarias en Andalucía* (FO96-006).

SUMMARY

Nutrient deficiencies in three pine species (*Pinus sp.*) grown in hydroponic culture for one growing season

The effects of nutrient deficiencies on three pine species (*Pinus pinaster* Ait., *Pinus pinea* L. y *Pinus halepensis* Mill.) are studied in this work. Seeds were planted in a mixture of peat and perlita. When the seedlings reached an adequate size, they were transplanted to hydroponic culture and grown for 4 months (April - July, 1998). Nutrient solutions lacking N, P, K, and Fe, and a control solution were used. During this period, morphological attributes (height, diameter, needles length, and dry weight of shoot and root) and physiological attributes (chlorophyll and nutrient content of needles) were measured, as well as visual symptoms produced by the nutrient deficiencies. Differences were observed depending on the lacking nutrient and the pine species. Nutrient deficiencies affected morphological and physiological attributes and caused growth decrease and visual symptoms. Nevertheless, these effects reached different importance depending on the lacking nutrient and pine species. For example, Fe deficiency caused the greatest and quickest effects, whereas K deficiency hardly affected. Deficiencies effects were greater in shoot growth than in root growth. *P. pinaster* was the most affected pine species.

KEY WORDS: *Pinus sp.*
Nutrition
Deficiencies symptoms
Nutrient concentration of leaves

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÁNTARA E., ROMERA FJ y DE LA GUARDIA MD 1988. Genotypic differences in bicarbonato-induced iron chlorosis in sunflower Journal of Plant Nutrition 11: 65-75.
- BARA-TEMES S., 1974. *Ensayos de fertilización forestal. Respuesta de Pinus radiata D.* Don a la adición de macronutrientes en un suelo deficiente en potasio. An. I.N.I.A./Ser. Recursos Naturales /NI.
- BENNET N.F. (Ed.), 1993. *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants*. APS Press, St Paul.
- BINNS W.O., MAYHEAD G.J., MACKENZIE J.M., 1980. *Nutrient Deficiencies of Conifers in British Forests. An Illustrated Guide*. Forestry Commission Leaflet 76. Her Majesty's Stationery Office.
- CIANZIO S.R., FELLN W.R., ANDERSEN I.C., 1979. Genotypic evaluation for iron chlorosis in soybeans by visual scores and chlorophyll concentration. Crop Science 19: 644-646.
- DELL B., 1996. *Diagnosis of nutrient deficiencies in eucalyptus*. En: Attiwill, PM y Adams, MA (Ed). 1996. Nutrition of Eucalyptus..CSIRO.Australia. pp 417-440.
- DURYEA M.L., 1985. *Evaluating seedling quality: importance to reforestation*. En: Duryea, M.L. (Ed.) 1985. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis. pp:1-4.
- EYMAR E., 1993. *Fertirrigación de coníferas en contenedores con sustratos de turbas y aditivos minerales*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Ciencias.
- FERNÁNDEZ-PRIDA C., 1976. *Análisis fitoquímico forestal*. ETSI. Montes de Madrid.
- GONZÁLEZ C., ESCOBAR R., LACHICA M., 1988. *Evolución estacional de elementos nutritivos minerales en Pino radiata*. Agrochimica, 32 (1): 63-72.
- ILAN N., MORAN N., SCHWARTZ, 1995. The rol of potassium channels in the temperature control of stomatal aperture. Plant Physiology 108: 1161-1170.
- KOZLOWSKI T, KRAMER P.J., PALLARDY, 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, INC. Editorial Board, Toronto 657 pp.
- LANDIS T.D., 1989. *Mineral Nutrients and Fertilization*. En: Landis, T.D.; Tinus, R.W.; McDonald, S.E.; Barnett, J.P. 1989. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 4. Seedling Nutrition and Irrigation. Forest Service. Agriculture Handbook 674. U.S. Department of Agriculture. pp 1-70.
- LANDIS T.D., 1985. *Mineral Nutrition as an Index of Seedling Quality*. En: Duryea, M.L. (Ed.) 1985. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis. pp: 29-38.
- LANDIS T.D., 1995. *Forestry Nursery Notes*. USDA. Oregon.
- LARCHER W., 1995. *Physiological Plant Ecology*. 3rd Edition. Springer. Berlin. 506 pp.
- MARCOS J., MARZO M.T., 1966. *Nutrición Hidropónica con Microelementos I. Manganeso, boro y molibdeno en Pinus radiata*. Ministerio de Agricultura. IFIE. Madrid.
- MARCOS J., MARZO M.T., 1968. *Nutrición Hidropónica con Macroelementos I. Nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en Eucalyptus globulus. Síntomas visuales de deficiencia y toxicidad*. Ministerio de Agricultura. IFIE. Madrid.
- MARCOS J., MARZO M.T., 1971. *Nutrición Hidropónica con macroelementos III. Nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en Populus x euramericana «campeador»*. Síntomas visuales de deficiencia y toxicidad. Ministerio de Agricultura. IFIE. Madrid.
- MARSCHNER H., 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Second Edition. Institute of plant Nutrition University of Hohenheim, Germany. 889 pp.
- MARSCHNER H., KIRKBY E.A., ÇAKMAK I., 1996. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. Journal of Experimental Botany 47: 1255-1263.
- MATTSON A., 1997. *Predicting field performance using quality assessment*. New Forests 13: 227-252.
- MENGEL K., KIRKBY E.A., 1979. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute. Second edition.
- MURPHY J., RILEY, 1962. *A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters*. Anal. Chim. Acta 27:31-36.
- NAVARRO R.M., DEL CAMPO A.D., 1998. *Informe de Calidad Final de Planta Forestal*. ETSIAM. Universidad de Córdoba. 60 pp.
- NAVARRO R.M., DEL CAMPO A.D., ALEJANO R., ÁLVAREZ L., 1998. *Caracterización de calidad final de planta de encina, alcornoque, algarrobo y acebuche, en cinco viveros de Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- OLIET J. A., PLANELLES R., LÓPEZ M., ARTERO F., 1997. Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. Proc. Reunión de Madrid. 12-13 junio 1996. Cuadernos de la SECF. 4: 69-80.
- PUTTONEN P., 1997. *Looking for the «silver bullet». Can one test do it all?* New Forests 13: 9-27.

- RITCHIE G.A., 1984. Assessing seedling quality. En: Duryea, M.L.; Landis, T.D. Forest nursery manual production of bareroot seedlings. Oregon State University. pp 243-260.
- ROMERA J., DÍAZ DE LA GUARDIA M., 1991. *La nutrición férrica de las plantas*. Universidad de Córdoba.
- ROBINSON J.B.D. (Ed.), 1983. *Diagnosis of Mineral Disorders in Plants. Volume 1. Principles*. Her Majesty's Stationery Office. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Agricultural Research Council.
- ROYO A., FERNÁNDEZ M., GIL L., GONZÁLEZ E., PUELLES A., RUANO R., PARDOS J.A., 1997. *Calidad de la planta de Vivero de Pinus halepensis Mill. destinado a repoblación forestal. Tres años de resultados en la Comunidad Valenciana*. Montes n.º 50, pp. 29-39.
- SALISBURY F.N., ROSS C.N., 1992. *Plant Physiology*. Wardworth Publishing Company. Belmon.
- STELL R., TORRIE J.R., 1989. *Bioestadística: principios y procedimientos*. 2da. Edición. McGraw-Hill (Eds), México. 622 pp.
- TIMMER V.R., 1997. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites. *News Forest* 13: 279-299.
- TIMMER V.R., ARMSTRONG G., MILLER B., 1991. Steady state nutrient preconditioning and early out-planting performance of containerized black spruce seedlings. *Canadian Journal of Forestry Research* 21: 585-594.
- TIMMER V.R., 1991. *Interpretation of seedling analysis and visual symptoms*. En: van den Driessche, R. (Ed.) 1991. Mineral nutrition in conifer seedlings. CRC Press. pp 113-134.
- UGARTE J., 1950. *Fitoquímica Forestal*. IFIE. Madrid.
- VAN DEN DRIESSCHE R., 1991. Effects of nutrients on stocks performance forests. En: Mineral nutrition of conifer seedling. R van den Driessche (Ed). CRC Press. Boca Raton Ann Arbor Boston. Págs: 229-260.
- WILDE Y VOGT, 1952. *Determination of color of nursery stock foliage by means of Munsell Color Charts*. *Journal of Forestry* 50: 622.