

**LOS FERTILIZANTES DE LIBERACION CONTROLADA  
LENTA APLICADOS A LA PRODUCCION DE PLANTA  
FORESTAL DE VIVERO. EFECTO DE DOSIS  
Y FORMULACIONES SOBRE LA CALIDAD DE  
*Pinus halepensis* mill.**

**J. OLIET**

E.T.S. Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba. 14080 Córdoba

**M. L. SEGURA**

Centro de Investigación y Formación Agraria. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

Apdo. 91. El Ejido. 04700 Almería

**F. MARTIN DOMINGUEZ**

**E. BLANCO**

**R. SERRADA**

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid

**M. LOPEZ ARIAS**

**F. ARTERO**

Centro de Investigación y Tecnología del INIA. 28040 Madrid

**RESUMEN**

Se presentan los resultados de la aplicación de tres dosis de los fertilizantes de liberación lenta recubiertos OSMOCOTE 9-13-18 (1,5; 3,25 y 5 g/l) y OSMOCOTE 16-8-9 (3,25; 5 y 7 g/l) en la producción de planta de *Pinus halepensis*. Su incorporación al sustrato, aunque incrementa considerablemente en ciertos tratamientos la salinidad de la solución, no afecta a la germinación ni a la supervivencia. La concentración en lixiviados de N y P durante el cultivo respondió significativa y positivamente a los aportes, no sucediendo lo mismo con el K. La concentración en parte aérea de N, P y K al final del cultivo se correlacionó positivamente con las cantidades aportadas, aunque más débilmente para el K. Con el desarrollo aéreo de la planta tan sólo el N produjo una respuesta correlacionada positivamente. OSMOCOTE 9-13-18 resultó deficiente en su proporción relativa de nitrógeno, y OSMOCOTE 16-8-9 lo fue en la proporción de potasio por dilución. La eficiencia en la utilización de los nutrientes fue decreciente con la dosis aportada.

**PALABRAS CLAVE:** *Pinus halepensis*  
Nutrición mineral  
Calidad de planta  
Fertilizantes de liberación lenta

---

Recibido: 11-12-98

Aceptado para su publicación: 16-2-99

## INTRODUCCION

La fertilización es, junto con el manejo del riego, una de las variables culturales con mayor influencia en la calidad de la planta para repoblación, en especial de la producida en contenedor (Landis, 1989), cuyo limitado espacio supone una brusca alteración de las condiciones generales de crecimiento del brinjal. La fertilización puede acelerar o retrasar el crecimiento de la planta, tanto de su parte aérea como radical; puede alterar la composición nutritiva de los tejidos, con efectos sobre el nivel de reservas, la capacidad de arraigo, la resistencia a estrés hídrico o la resistencia al frío y a enfermedades; en definitiva, puede afectar a todos los atributos de calidad que tradicionalmente se consideran en la caracterización de la planta forestal, muchos de ellos decisivos en el éxito de las repoblaciones realizadas en condiciones estacionales rigurosas.

El empleo generalizado de sustratos artificiales, pobres en contenido nutritivo pero adecuados por sus características físico-químicas y estructurales, hace que el aporte fertilizante sea la fuente fundamental de nutrientes, lo cual permite controlar adecuadamente la disponibilidad de elementos minerales para la planta durante el cultivo.

En estos casos, el aporte de fertilizante al sustrato puede realizarse en forma líquida, con el agua de riego (fertirrigación), o incorporando un producto sólido al mismo. La fertirrigación es un procedimiento muy extendido, utilizado en todos los viveros tecnificados. La razón de su empleo es conocida: permite un óptimo control de los aportes minerales durante el cultivo, en función de las necesidades estacionales de las plantas y del perfil de calidad perseguido. Sin embargo, la incorporación de fertilizantes sólidos al sustrato no permite un control exhaustivo de los aportes nutritivos a la planta durante el desarrollo del cultivo, dado que dicha incorporación sólo se realiza normalmente al principio de la campaña de producción; esto obliga a seleccionar cuidadosamente el tipo y la cantidad del fertilizante empleado (Vançon, 1993), que no podrá variarse una vez realizada la siembra. A pesar de este notable inconveniente, los productos sólidos gozan de la ventaja de la simplicidad en su manejo, y se han empleado tradicionalmente en la producción de planta.

El tipo de fertilizante sólido utilizado con más frecuencia es el de liberación controlada, denominación que alude a su capacidad para transferir, de forma regular en el tiempo, los nutrientes minerales hacia el sustrato (Jiménez Gómez, 1992). Aunque su primera aplicación fue en la producción de ornamentales, la utilización de estos productos en el cultivo de planta forestal se ha hecho relativamente frecuente desde la pasada década (Fisher, Mexal, 1984; van den Driessche, 1988; Landis, 1989; Donald, 1991; Prasad, 1996), en gran medida debido a la aparición de productos en el mercado adaptados a las peculiaridades del cultivo forestal. La duración de liberación de los fertilizantes disponibles en el mercado ha pasado de 3-5 meses a plazos mucho mayores (16 a 24 meses), lo que garantiza el suministro nutriente durante toda la campaña (Benson, 1997). Asimismo, la aparición de productos granulados de pequeño diámetro permite su incorporación en mezcla con el sustrato para envases pequeños.

Los fertilizantes de liberación controlada lenta se clasifican en función del mecanismo de retardo en la transferencia de los nutrientes al sustrato. De todos ellos, los productos recubiertos de polímeros o resinas termosellantes son los que presentan mayor interés en el ámbito que nos ocupa. Además de poseer duraciones elevadas (8-9 meses, 12-14 meses), variables con el tipo y grosor de la cubierta sobre el fertilizante (Cabrera, 1997), su principal ventaja es que, para un mismo tipo de cubierta, la liberación del fertilizante no se ve afectada por las características físico-químicas o biológicas del suelo o sustrato ni por su

contenido en agua. Sólo la temperatura y el tipo de cubierta influyen en la velocidad de liberación (Cartagena, 1992; Hicklenton, Cairns, 1992). Esta cualidad atenúa parcialmente la desventaja de la falta de control en el suministro que comparten todos los fertilizantes sólidos, ya que al no depender su tasa de liberación más que de la temperatura, mantienen unos niveles de nutrientes en la solución del sustrato variables paralelamente a la demanda de la planta en cada momento, que depende asimismo de la temperatura (Whitcomb, 1988).

Junto con esta ventaja, los fertilizantes cubiertos de resinas poseen otras cualidades favorables, algunas compartidas con otros productos de liberación controlada lenta:

1. Mantienen de forma continua y uniforme una concentración moderada de nutrientes en el sustrato, ya que la planta absorbe la gran mayoría de lo que el fertilizante suministra (Whitcomb, 1988), por lo que pueden utilizarse sin riesgo de daños por salinidad (Donald, 1991; Landis, 1989). La fertirrigación, sin embargo, provoca oscilaciones bruscas en la conductividad del sustrato y en ocasiones daños por quemadura en el follaje después de cada aporte (Pueyo, 1992), que pueden ser perjudiciales para la planta.

2. Ahorran cantidades notables de producto, ya que, por definición, liberan pequeñas dosis de nutrientes en la solución, por lo que, aun en el caso de fuertes riegos o lluvias, se lava sólo una pequeña proporción (Donald, 1991). Hay que tener en cuenta que con fertirrigación se puede perder hasta un 90 p. 100 de la materia activa aportada (Sanderson, 1987).

3. Este ahorro de fertilizante debido a las bajas pérdidas en los drenajes es, asimismo, garantía de una menor contaminación del medio (Mac Carthaigh, 1994; Broschat, 1995).

4. Permiten mantener niveles aceptables de nutrientes en épocas lluviosas, cuando el contenido de humedad en el sustrato es alto y la planta no necesita o no tolera nuevos aportes de agua por riego. En estas circunstancias, el aporte de nutrientes por fertirrigación no mejora apenas la situación nutritiva, ya que gran parte de los iones se lava inmediatamente (Whitcomb, 1988; Landis, 1989), al tiempo que el exceso hídrico en el sustrato puede producir deficiencias de aireación en el sistema radical. Esta circunstancia favorece el empleo de fertilizantes de liberación controlada lenta en la producción de planta al aire libre (Majada, Casares, 1998).

5. Son relativamente independientes de la calidad del agua para desarrollar su mecanismo de liberación (Whitcomb, 1988).

6. Su utilización es compatible con la formación de micorrizas, perjudicadas normalmente por las bruscas variaciones y/o los altos niveles de salinidad del sustrato de las plantas fertirrigadas (Crowley *et al.*, 1986; Trofymow, van den Driessche, 1991).

7. Pueden ser utilizados en mezcla con sustratos de baja capacidad de intercambio catiónico (Broschat, 1995), como lo son muchos de los materiales de uso potencial procedentes de productos de reciclado.

8. Por último, ensayos en los que se compara la fertirrigación con el uso de este tipo de productos sólidos constatan desarrollos similares de planta (Oliet, 1995; Broschat, 1995).

Consecuentemente, los fertilizantes de liberación controlada lenta –y en especial los productos recubiertos– poseen un ámbito potencial de aplicación en la producción de planta forestal como una forma de suministro de nutrientes de bajo costo, simple, para viveros poco tecnificados, pero que permite al mismo tiempo un relativo dominio de los aportes realizados a la planta durante el cultivo.

Existe una gran variedad de fertilizantes recubiertos en el mercado, tanto en lo que se refiere a las formulaciones como a las tasas de liberación y, por tanto, a su duración. La elec-

ción del producto y su dosificación debe ajustarse a la especie, a las condiciones de cultivo, y al tipo de planta deseado. Asimismo, su campo de aplicación puede ampliarse notablemente cuando se mezclan simultáneamente productos con tasas de liberación diferentes o cuando se combina su utilización como fertilización de fondo con la fertirrigación (Rey, 1997).

Los trabajos realizados ponen de manifiesto un claro efecto del tipo y cantidad de producto sobre la calidad del material producido y sobre su respuesta postrasplante (Hathaway, Whitcomb, 1977, 1984; Crowley *et al.*, 1986; van den Driessche, 1988; Whitcomb, 1988; Hicklenton, Cairns, 1992; Oliet, 1995; Oliet *et al.*, 1997; Majada, Casares, 1998).

El presente trabajo tiene por objeto evaluar las aplicaciones potenciales de los fertilizantes de liberación controlada lenta recubiertos mediante el estudio del efecto de diferentes formulaciones y dosis sobre la calidad final de planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill., y sobre ciertos procesos intermedios durante el cultivo.

## MATERIAL Y METODOS

### Cultivo de la planta

El cultivo se realizó en contenedor Super Leach tipo "frondosas", de 230 cm<sup>3</sup> de capacidad, con un sustrato compuesto por turba rubia tipo *sphagnum* y vermiculita, en proporción 80-20 p. 100 en volumen. Una vez expandida la turba y tras incorporar la vermiculita se formó manualmente una mezcla lo más homogénea posible, a la que se incorporaron los diferentes tratamientos fertilizantes. Dichos tratamientos se consiguieron con diferentes dosis de dos formulaciones de Osmocote (Sierra Chemicals Co.), un fertilizante sólido de liberación controlada recubierto de un polímero sintético que le confiere la propiedad de ser liberado de forma gradual y lenta en respuesta únicamente a la temperatura. El tamaño de los gránulos permite incorporarlo de forma homogénea en la mezcla del sustrato para contenedores pequeños. Para cada una de las dos formulaciones se establecieron tres dosis, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y la bibliografía consultada. Los fertilizantes empleados fueron:

OSMOCOTE 9-13-18 (OS9). Composición y propiedades: Nitrógeno 9 % (6,1 % amoniacal y 2,9 % nítrico); Fósforo 13 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> soluble en agua y citrato amónico (5,67 % de P)<sup>1</sup>; Potasio 18 % de K<sub>2</sub>O soluble en agua (14,94 % de K); Tiempo de liberación 12-14 meses a 21 °C.

OSMOCOTE 16-8-9+3 (OS16). Composición y propiedades: Nitrógeno 16 % (6,6 % amoniacal y 9,4 % nítrico); Fósforo 8 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> soluble en agua y citrato amónico (3,49 % de P); Potasio 9 % de K<sub>2</sub>O soluble en agua (7,47 % de K); Magnesio 3 % de MgO; Tiempo de liberación 12-14 meses a 21 °C.

Las dosis ensayadas para cada una de las dos formulaciones o fertilizantes se presentan en la Tabla 1, que recoge las cantidades elementales resultantes a partir de las proporciones arriba indicadas. Los tratamientos se diseñaron para incrementar gradualmente las dosis de N aportadas, manteniendo al mismo tiempo una proporción de P y K similar entre ambas formulaciones.

Todos los tratamientos se dotaron asimismo de una misma cantidad (0,15 g/l de sustrato) de una mezcla sólida de micronutrientes, Micromax (Sierra Chemicals Co.), ideado

---

<sup>1</sup> Si bien N se especifica en porcentaje elemental, P y K se expresan en la forma de óxido del elemento (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O respectivamente), por lo que deben ser convertidos por un factor para transformarlos en porcentaje elemental en peso.

**TABLA 1**  
**DOSIS DE CADA PRODUCTO ENSAYADAS Y CANTIDADES ELEMENTALES**  
*Application rates and elemental quantities*

Formulación	Dosis-g/l	N (mg/l-mg/envase)	P (mg/l-mg/envase)	K(mg/l-mg/envase)
<b>OS9</b>	1-1,5	135- 31,0	85-19,6	224- 51,5
	2-3,25	292- 67,2	184-42,3	485-111,6
	3-5,0	450-103,5	283-65,1	747-171,8
<b>OS16</b>	1-3,25	520-119,6	113-26,0	243- 55,9
	2-5,0	800-184,0	174-40,0	373- 85,8
	3-7,0	1120-257,6	244-56,1	523-120,3

para sustratos artificiales (Liñán, 1992). Su acción se mantiene durante 18 meses, y contiene cobre (0,5 %), hierro (12 %), manganeso (2,5 %), molibdeno (0,05 %) y zinc (1 %).

A los seis tratamientos aludidos hay que añadir un séptimo que actuó de testigo (**TEST**), constituido por el sustrato de turba, vermiculita y micronutrientes sin fertilizar.

El diseño experimental del cultivo fue aleatorio con tres repeticiones. Cada unidad experimental la constituyó un bastidor con un tratamiento de fertilización y 70 envases. De esta forma, el número de envases por tratamiento fue de  $70 \times 3 = 210$ .

La fase inicial del cultivo tuvo lugar en invernadero con condiciones controladas, manteniéndose la humedad relativa del aire en el rango 55-70 % y la temperatura media entre 15 y 20 °C. La siembra se realizó el 11 de enero de 1994, empleando una sola semilla de *Pinus halepensis* por contenedor. La semilla se recogió en 1993 de la región de procedencia ES.05 (Sureste español). No se aplicó sobre la misma ningún tratamiento pregerminativo.

El riego se realizó siempre manualmente, controlando la cantidad de agua aportada en cada bastidor y procurando que fuera uniforme, llegándose a la saturación del sustrato en cada sesión.

Con objeto de estudiar el posible efecto inhibitor del fertilizante sobre la germinación y emergencia de las semillas, se realizaron conteos de germinación, con periodicidad aproximada de 10 días hasta el 11-03-94. La semilla se consideraba germinada cuando los cotiledones emergían del sustrato. Durante el último conteo se evaluaron también las pérdidas, esto es, el número de plantitas que, habiendo germinado con anterioridad, murieron después. El resultado de esta evaluación constituyó el número definitivo de plantas con porvenir (planta viable), certificado a los dos meses de la siembra.

Las plantas prosiguieron su crecimiento en invernadero hasta el 10 de mayo de 1994, fecha en que fueron trasladadas a un umbráculo hasta la finalización del cultivo (noviembre de 1994).

### Control del cultivo: drenaje y análisis de lixiviados

Con objeto de evaluar la tasa de liberación de nutrientes durante el cultivo se acudió al procedimiento, descrito por Landis (1989), de recoger el agua gravitacional (drenajes) que

escurría después de saturar el sustrato con el riego. Para ello se colocaron bandejas bajo los bastidores una vez finalizado el riego y después de un corto lapso de tiempo para garantizar que el agua caída en las bandejas procediera del sustrato, y no del escurrimiento de las paredes exteriores de los envases o del bastidor. La toma de muestra finalizaba cuando no se producían ya escurrimientos. El tamaño de las bandejas permitía recoger agua de un bastidor completo (70 envases).

La recogida de lixiviados se realizó con frecuencia variable, en función del objetivo perseguido con la toma de muestras. En primer lugar, y durante las fases de germinación y emergencia, se recogió agua de drenaje en cada sesión de riego, con objeto de estudiar detalladamente las tasas de liberación de nutrientes de los fertilizantes ensayados al principio de su vida activa, ya que dichas tasas podían proporcionar a la solución del sustrato unos niveles de salinidad perjudiciales para la germinación y emergencia de las jóvenes plantitas (Hathaway, Whitcomb, 1984). Durante este primer periodo se tomaron muestras de dos repeticiones (dos unidades experimentales por tratamiento). Una vez recogidos los drenajes se procedió a determinar en laboratorio el pH y la conductividad eléctrica a 25 °C, tanto de los drenajes como del agua de riego empleada.

Trasladadas las plantas a umbráculo, y con objeto de estudiar la composición nutritiva de la solución del sustrato y sus posibles efectos sobre el estado nutritivo de la planta, se tomaron dos muestras más (el 10 de agosto y el 10 de octubre) de lixiviados. En este caso se tomaron, con el mismo procedimiento descrito anteriormente, muestras de tres repeticiones por tratamiento que, tras ser mezcladas y homogeneizadas para obtener una sola muestra final por tratamiento y fecha, fueron analizadas. Además de determinar el pH y la conductividad eléctrica a 25 °C, se analizaron las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio.

Las determinaciones analíticas se basaron en los Métodos Normalizados del MAPA (1986), excepto la determinación de nitrógeno que se realizó por potenciometría con electrodos selectivos (Sarro *et al.*, 1985). El pH se midió con un pH-metro con electrodo de vidrio, la conductividad eléctrica con un conductímetro con célula de electrodo de platino, la concentración de nitratos con un ionómetro dotado de electrodo de membrana líquida, sensible a nitratos y electrodo de referencia de unión doble, empleando como disolución de relleno una 1/50 ISA compuesta de sulfato amónico 2M que ajusta la fuerza iónica y una disolución eliminadora de interferencias compuesta por sulfato de aluminio, ácido bórico, sulfato de plata y ácido sulfámico a pH: 3,0 (Sarro *et al.*, 1985). La concentración de fósforo se midió por espectrofotometría a 660 nm, del compuesto azul que se forma por reducción con cloruro estannoso del fosfomolibdato obtenido por reacción del fósforo con molibdato amónico en medio básico y la concentración de potasio por espectrofotometría de emisión, utilizando llama aire-acetileno.

### **Caracterización de la planta producida**

La toma y proceso de muestras tuvo lugar el 13 de noviembre de 1994, cuando la planta tenía 10 meses de edad. La recogida de las plantas se realizó aleatoriamente en número de 20 por tratamiento.

Una vez recogida la muestra se llevó a laboratorio en el contenedor, donde se mantuvo hasta su proceso en un plazo inferior a dos días. Las plantas se conservaron. Una vez medida la longitud de la parte aérea y el diámetro del cuello de la raíz y después de contar el número de ramas del tallo, se separaron la parte aérea de la radical por el cuello de la

raíz, se lavaron a chorro los cepellones con sumo cuidado de no desprender raíces finas que en algunos casos se diferencian poco de las fibras de turba. Una vez lavados los cepellones se sumergieron, junto con la parte aérea, en un baño de agua destilada unos 5 min. aproximadamente con objeto de lavar el material para el análisis químico (Landis, 1985). A continuación se trocearon y secaron las muestras en estufa durante 24 h a 65 °C (Landis, 1985) tras lo cual, después de estabilizar su humedad, fueron pesadas en balanza de precisión diezmilésima de gramo. Con los datos de longitud de parte aérea, diámetro del cuello de la raíz, peso seco aéreo y peso seco radical se confeccionaron varios índices morfológicos: el cociente parte aérea:parte radical en peso; la esbeltez o cociente entre longitud aérea en centímetros y el diámetro del cuello de la raíz en milímetros; el Índice de Calidad de Dickson (QI), cuya expresión es el cociente entre el peso seco total de la planta y la suma de su esbeltez más la relación parte aérea:parte radical en peso (Thompson, 1985); y el Balance de Agua en la Planta (BAP) o cociente entre el peso aéreo y el producto del diámetro del cuello de la raíz por el peso radical (Grossnickle *et al.*, 1991). Ambos índices, al combinar el desarrollo total de la planta con el balance aéreo-radical, son indicadores de su equilibrio morfológico.

Realizada la determinación del peso seco, la muestra troceada se agrupó por las repeticiones dispuestas en vivero, de manera que cada una de ellas estuviera integrada por seis o siete partes aéreas de un mismo tratamiento y repetición con sus respectivos seis o siete sistemas radicales. Una vez agrupadas las muestras fueron molidas y homogeneizadas para la determinación de las concentraciones de macro y micronutrientes. El nitrógeno se analizó por combustión (LECO, CHN-600), y el resto de los elementos, tras digestión húmeda de la muestra en  $\text{HNO}_3$ , se analizaron de la forma siguiente: potasio por emisión en espectrofotómetro de absorción atómica; fósforo, calcio y magnesio por espectroscopía de emisión por ICP; y los micronutrientes (Fe, Mn, Zn y Cu) por espectroscopía de absorción atómica.

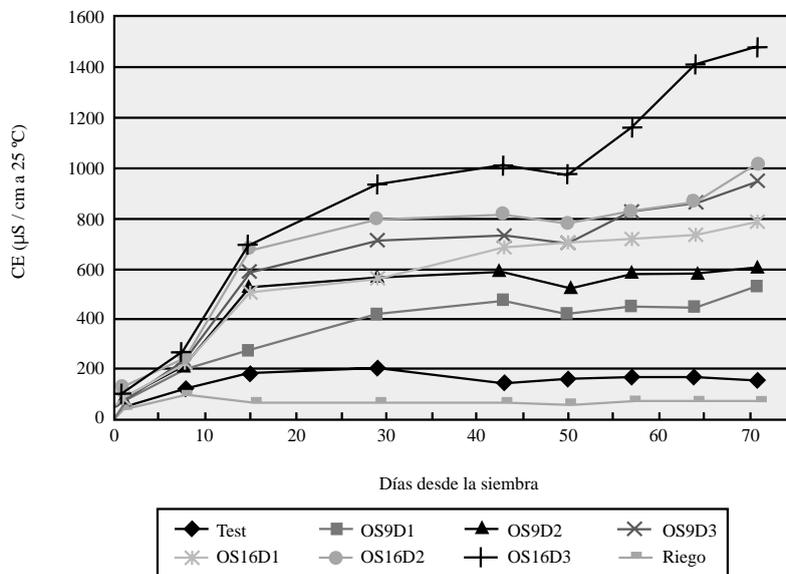
## **Análisis de datos**

El análisis de la varianza se efectuó como diseño completamente al azar según el Modelo Lineal de Efectos Fijos. El análisis de los datos de porcentaje de germinación y de composición nutritiva se realizó manteniendo el diseño de tres repeticiones, y los datos de morfología a partir de los valores individuales de las veinte plantas. Los test de comparaciones múltiples realizados se analizaron según el procedimiento de Scheffé. Para los datos de porcentaje de semilla germinada y de planta viable los valores fueron previamente transformados en arcoseno. En los modelos de regresión se presentan los valores del coeficiente de determinación ajustado. Los datos se procesaron empleando el programa Statistica para Windows 4.0 (StatSoft, Inc. 1993).

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Germinación, obtención de planta viable y salinidad**

La Figura 1 expresa gráficamente la evolución de la conductividad eléctrica del agua de drenaje durante las fases de germinación y emergencia de las semillas.



**Fig. 1.**—Evolución de la salinidad del agua de drenaje durante la germinación y emergencia de las semillas para los diferentes tratamientos de fertilización. (Cada punto es la media de dos muestras.)  
*Salinity evolution of water leaches during germination and emergence for the fertilization regimes*

En general, se produce un aumento de la conductividad eléctrica de los lixiviados de los tratamientos fertilizados desde el inicio de los riegos que está relacionada con la riqueza y dosis de fertilizante. Entre los días 8° y 15° desde el inicio de la liberación, la salinidad crece rápidamente en casi todos los tratamientos, a excepción de OS9D1 (cuyo aumento es más lento respecto a los demás) en correspondencia con los altos ritmos de liberación de estos productos durante las primeras semanas (Broschat, 1996; Cabrera, 1997). A partir del día 15 la conductividad de los lixiviados va a experimentar ligeras variaciones, permaneciendo así hasta el final del periodo de medida. En este momento, la dosis 3 de OS16 (7 g/l) condujo a los mayores valores de salinidad (próxima a 1500 S/cm), y la dosis 1 de OS9 a los menores (520 S/cm). La turba sin fertilizar (TEST) mantuvo siempre valores mínimos y algo superiores a los del agua de riego. Se observa una relación directa entre la dosis de una misma formulación y la conductividad provocada en el sustrato. Si se comparan dosis iguales de las dos formulaciones (OS9D2 con OS16D1 y OS9D3 con OS16D2) se observa que OS16 da lugar a mayor salinidad que OS9. En cualquier caso, los valores de conductividad observados ponen de manifiesto las pérdidas de elementos nutritivos por lixiviación, en mayor o menor proporción según la riqueza y dosis de fertilizante, en esta primera fase del cultivo, cuando las demandas nutricionales son nulas o muy bajas.

Estas oscilaciones a lo largo del periodo de medición no se deben sólo a la temperatura, ya que esta se mantuvo más o menos constante en un entorno de 20 °C, sino a la propia pauta inicial de liberación del fertilizante, caracterizada en general por unas tasas elevadas hasta su estabilización y variables con el tipo de resina o cubierta del producto (Crowley *et al.*, 1986).

Sin embargo, estas diferencias de casi 1000 S/cm en la conductividad de los drenajes entre tratamientos no influyó en la germinación de las semillas ni en la cantidad de planta viable obtenida a los dos meses de la siembra (Tabla 2). El análisis de varianza realizado con los datos obtenidos en los conteos concluyeron en la inexistencia de diferencias significativas tanto en el número total de semillas germinadas como en el porcentaje de planta viable final; asimismo, en todos los casos dicho porcentaje fue prácticamente idéntico al de semillas totales germinadas, esto es, no se produjeron bajas que pudieran achacarse a la presencia del fertilizante. Destacar asimismo que la ausencia de aportes nutritivos en el tratamiento TEST no condujo a descensos en el porcentaje de planta viable obtenida, debido a que el suministro alimenticio en la fase emergente procede en gran medida de los cotiledones.

**TABLA 2**  
**PORCENTAJES DE GERMINACIÓN Y DE PLANTA VIABLE**

*Germination and plant alive percentages*

	Test	OS9D1	OS9D2	OS9D3	OS16D1	OS16D2	OS16D3
<b>Porcentaje G</b>	71,0	62,3	68,7	69,3	71,7	70,0	75,0
<b>Porcentaje V</b>	68,7	61,7	67,7	69,0	69,3	69,7	74,7

Porcentaje G = tanto por ciento total de semilla germinada; Porcentaje V = tanto por ciento de planta viable final. Valores a los dos meses de la siembra. No hay diferencias significativas entre tratamientos para ambas variables (n.s. =0,05, n = 3).

Puede afirmarse por tanto que esta especie tolera, en las fases iniciales de su desarrollo, cantidades de hasta 7 g/l de fertilizante sin efecto aparente sobre su vitalidad. Esta dosis se traduce en valores de conductividad de 1500 S/cm en el agua de drenaje, valor que siempre es inferior al de la solución del sustrato cuando esta se mide en el extracto saturado (Landis, 1989). En cualquier caso debe apuntarse que la susceptibilidad a daños sufridos por salinidad disminuye con la edad de la plántula, de forma que a partir de las cuatro-seis semanas las coníferas toleran en general conductividades superiores a 2000 S/cm, encontrándose su óptimo productivo en las proximidades de esta cifra (Phillion, Bunting, 1983). Advertir para finalizar que estos fuertes incrementos de la salinidad de la solución que siguen a la mezcla del fertilizante con el sustrato y a la siembra puede ser un factor limitante en la producción si se emplean otras especies más sensibles (Oliet, 1995).

### **Caracterización nutritiva de lixiviados**

La Figura 2 recoge los valores de concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en el agua de drenaje correspondiente a las tomas efectuadas en agosto y octubre, un mes antes de la finalización del cultivo. Asimismo se representan en el margen las regresiones entre las cantidades suministradas y dichas concentraciones para cada elemento.

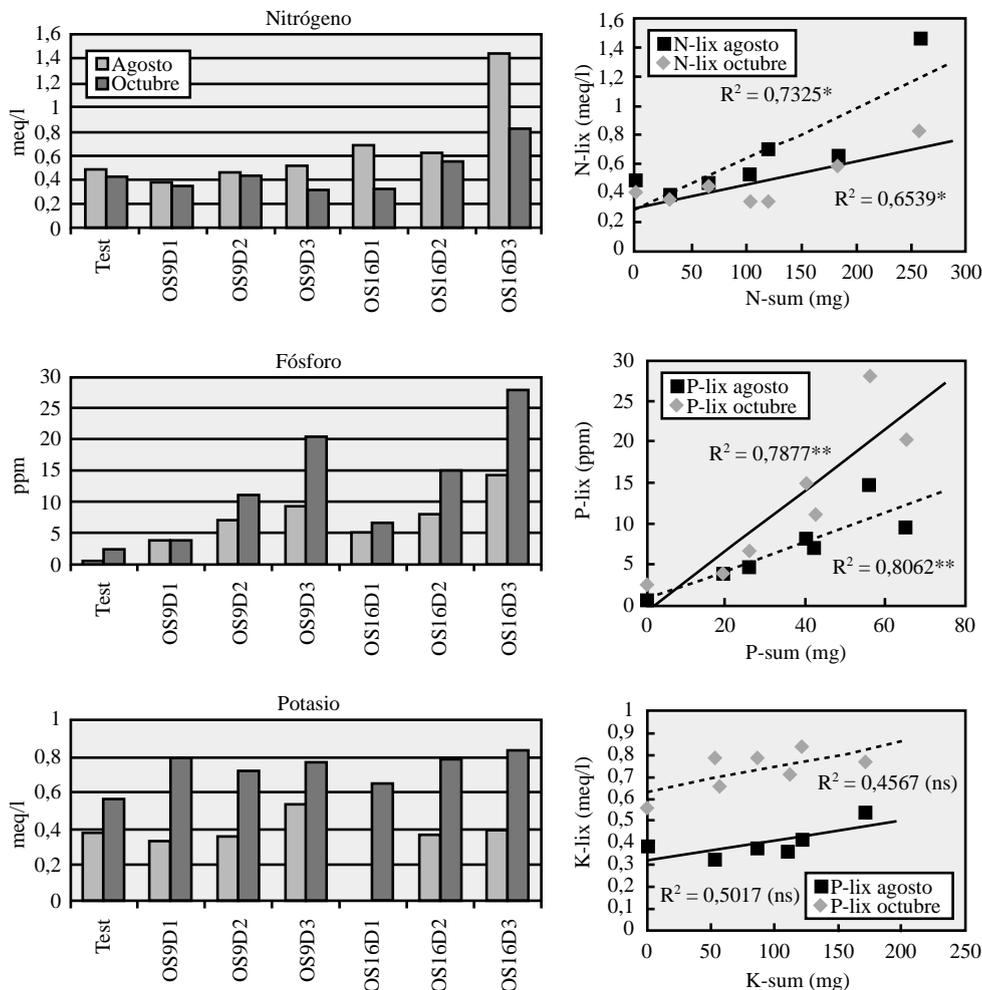


Fig. 2.—Concentración de nitrógeno ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), fósforo ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) y potasio en lixiviados durante las tomas de agosto y octubre. Al margen, rectas de regresión entre las cantidades suministradas por cada fertilizante y concentración en lixiviados (ns = no significativo; \* = significativo  $p < 0,05$ ; \*\* = significativo  $p < 0,01$ ).

*Nitrogen, phosphorous and potassium leaches concentration in August and October samplings.*

A excepción del fósforo, los demás elementos no muestran diferencias notables en concentración respecto al testigo (TEST), lo que evidencia que las concentraciones en la solución del sustrato no son nunca muy elevadas, en correspondencia con el carácter del fertilizante de liberación lenta. Por otro lado, los elementos fósforo y potasio incrementan su concentración entre agosto y octubre para todos los tratamientos de fertilización y también para el TEST, lo que podría poner de manifiesto, por una parte, unas menores necesidades nutricionales en los citados elementos en el último mes de cultivo que en los meses anteriores al de agosto o, por otra, la fijación, en el complejo de cambio hasta su saturación,

saturación que se produciría en los últimos meses del cultivo, (Broschat, 1995) provocándose en ese momento mayores pérdidas. Lo contrario sucede con el nitrógeno, cuya concentración disminuye en todos los casos entre agosto y octubre; esta tendencia decreciente podría deberse al incremento de la absorción de N por la planta y/o a una disminución, por agotamiento de este elemento, de su tasa de liberación (Broschat, 1995).

Por otro lado, si se comparan, para una misma fecha, las concentraciones correspondientes a los diferentes tratamientos de fertilización, se aprecian para cada elemento respuestas diferentes a las dosis suministradas (Figura 2). Las concentraciones de nitrógeno y fósforo en lixiviados están relacionadas significativamente con las cantidades respectivas suministradas, de forma más intensa para el fósforo. Además, la fuerza de dichas relaciones es más alta en agosto que en octubre. Se observa, para el caso del nitrógeno, que las distintas proporciones de las fuentes nitrogenadas en cada formulación no afecta de manera evidente a la concentración de N-NO<sub>3</sub> en lixiviados, debido probablemente a la nitrificación que tiene lugar en el sustrato (Cabrera, 1997). Sin embargo, la concentración de potasio en lixiviados parece independiente de las cantidades suministradas, tanto en agosto como en octubre. Esto podría reforzar la hipótesis de su adsorción en el complejo de cambio.

## Atributos de calidad de la planta producida

### *Atributos morfológicos*

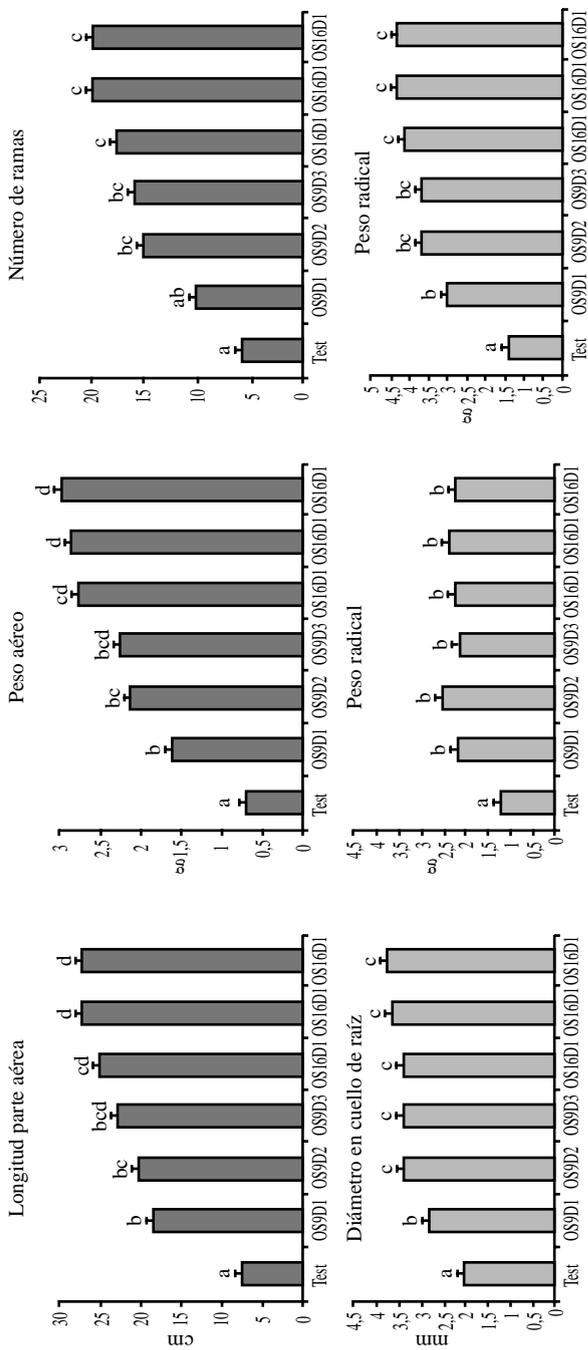
La Figura 3 recoge los valores de los atributos morfológicos simples evaluados para los distintos tratamientos de fertilización a la finalización del cultivo (10 meses).

El desarrollo en peso y longitud de la parte aérea, el diámetro del cuello de la raíz, así como el número de ramas, responden de forma creciente al tipo y dosis de fertilizante aplicado. El desarrollo radical no responde de igual forma, ya que su peso no varía significativamente para ningún tratamiento, a excepción del testigo. La duración del cultivo ha sido suficiente para que la planta colonice todo el volumen disponible del contenedor a cualquier nivel fertilizante, que presenta un espacio limitado de macroporos donde las raíces puedan respirar. Esto conduce a una evolución de la relación PA:PR en peso similar al peso de la parte aérea, esto es, creciente con el aporte nitrogenado, de forma que las plantas más desequilibradas son las producidas bajo altas dosis de dicho aporte (Tabla 3).

**TABLA 3**  
**INDICES MORFOLOGICOS DE CALIDAD**  
*Morphological quality indices*

Test	OS9D1	OS9D2	OS9D3	OS16D1	OS16D2	OS16D3
<b>PA:PR</b>	0,96a	1,14a	1,33ab	1,70bc	1,97c	2,16c
<b>L:D</b>	3,8a	6,5b	6,0b	6,9b	7,5b	7,4b
<b>QI</b>	0,31a	0,41ab	0,53b	0,44ab	0,46ab	0,47ab
<b>BAP</b>	0,49abc	0,41ab	0,39a	0,52abc	0,60c	0,59bc

PA: PR peso parte aérea/peso parte radical; L: D esbeltez; QI: índice de Dickson; BAP: balance de agua en la planta. En una fila, valores seguidos por distinta letra difieren significativamente ( $p < 0,05$ ,  $n = 20$ ).



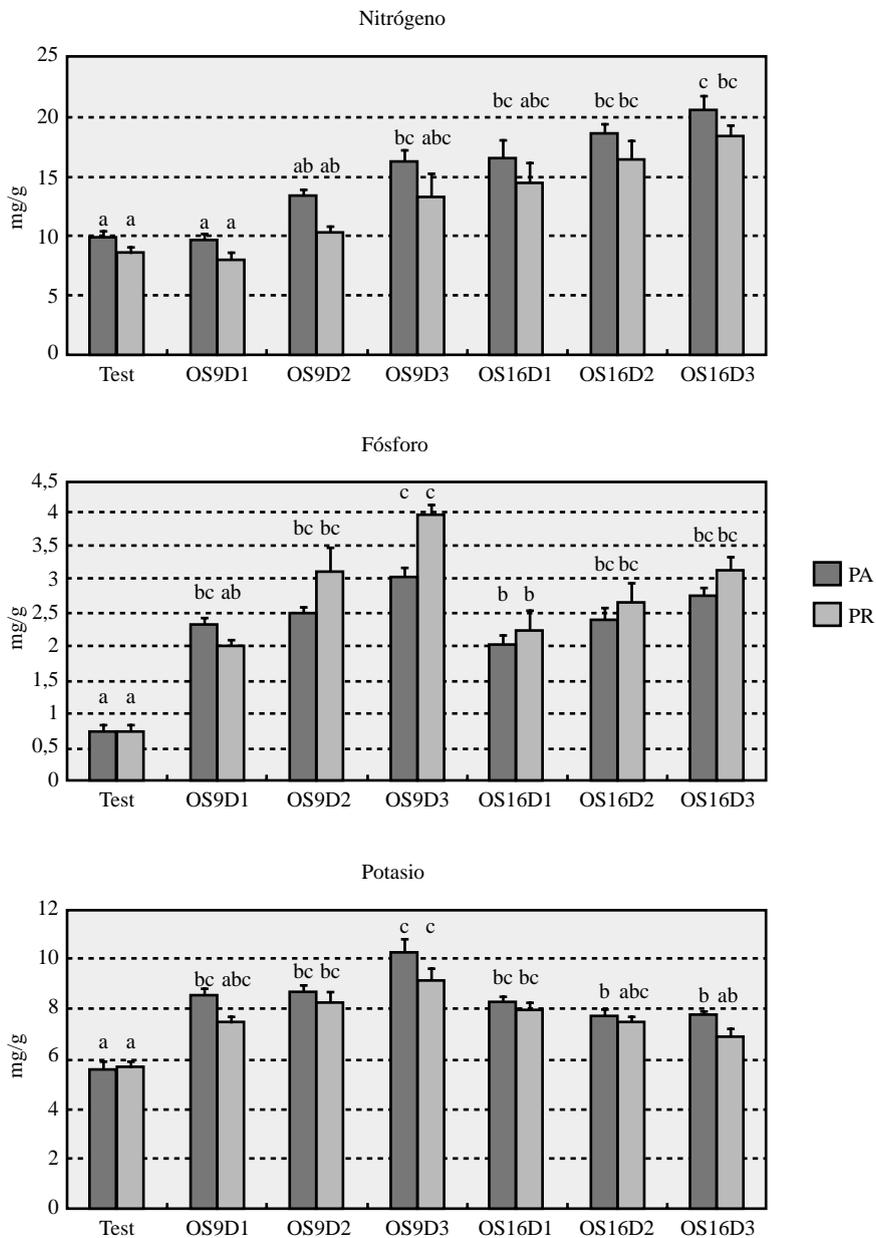
**Fig. 3.—Atributos medios morfológicos de calidad de planta (+ error estándar). Valores seguidos de distinta letra difieren significativamente ( $p < 0,05$ ,  $n = 20$ ).  
*Morphological seedling quality attributes.***

Sin embargo, al estudiar el índice de calidad de Dickson, se observa que la mejor calidad (el mayor valor) corresponde a OS9D2, al ser el tratamiento que, estando más equilibrado en su relación aérea-radical, presenta un mayor desarrollo de raíces y total. El Balance de Agua en la Planta, diseñado para pronosticar la respuesta en supervivencia, también señala a la planta producida con OS9D2 como la de mejor calidad (el menor valor), y a las tres dosis de OS16 como las peores, aunque las diferencias no son estadísticamente significativas. La utilidad clasificatoria de ambos índices puede verse en que las plantas no fertilizadas (tratamiento TEST), consideradas de mayor calidad de acuerdo con los valores de esbeltez (L:D) o de PPA:PPR, son en realidad plantas poco desarrolladas y, en consecuencia, manifiestan un bajo valor de QI y alto de BAP, ya que ambos índices contemplan la calidad morfológica asociada a un balance equilibrado de sus distintas fracciones, pero en un contexto en el que también está presente el desarrollo total de la planta.

#### *Atributos fisiológicos: estado de los nutrientes*

La Figura 4 recoge la concentración de los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio en tejido aéreo y radical de pino carrasco analizados. La comparación de los valores obtenidos en estos tres elementos con los de referencia para coníferas de vivero (Hinesley y Wright, 1988; Landis, 1989; Rook, 1991) sitúan al nitrógeno en los intervalos recomendados (a excepción del testigo y la dosis 1 de OS9), al igual que al fósforo (a excepción también del testigo); sin embargo, las concentraciones de potasio son, según estos valores de referencia, algo bajas para casi todos los tratamientos (exceptuando la dosis 3 de OS9). En relación con otros valores analíticos obtenidos para esta especie, de un muestreo realizado por Royo *et al.* (1997) durante tres campañas consecutivas en planta de vivero destinada a repoblación, pueden extraerse algunas conclusiones comparativas: la concentración de nitrógeno es claramente superior aquí que en la muestra analizada por dichos autores, a excepción del testigo y de OS9D1; la concentración de fósforo se encuentra más próxima a los valores medios que se obtuvieron en dicho muestreo, excepto el testigo, que es claramente inferior; por último, el trabajo citado presenta valores medios de concentración de potasio una vez más por encima de los obtenidos en los tratamientos aquí realizados. Por otro lado, ensayos en *Pinus echinata* Mill. fertilizado con varias formulaciones de Osmocote obtuvieron valores de concentración similares (Crowley *et al.*, 1986).

Más adelante, la Tabla 7 presenta los estadísticos de los modelos de regresión lineal entre aportes y concentración en tejidos. Se han encontrado relaciones significativas, muy altas para el N y P y menores para el K. Esto indica que con las dosis y formulaciones empleadas pueden controlarse con bastante precisión las concentraciones finales en planta, especialmente para los dos primeros elementos (Crowley *et al.*, 1986). Las menores correlaciones entre potasio suministrado y concentración en tejidos son frecuentes en ensayos de fertilización, incluso empleando el sistema de aporte por fertirrigación (van den Driessche, 1992). Su adsorción en el complejo de cambio, como ya se ha indicado, o las interacciones entre este y otros cationes en la solución del sustrato podrían dificultar la absorción por la planta (Ingestad, 1979), haciendo que tan sólo con los altos aportes de potasio que OS9 realiza, se aprecie una respuesta creciente a la dosis suministrada. Para el fertilizante OS16 las cantidades aportadas de potasio son insuficientes en relación con la demanda creciente de la planta ante el incremento de su desarrollo en respuesta a las mayores cantidades de nitrógeno aportadas por esta formulación. Parece, por tanto, que la baja eficiencia absorbente de



**Fig. 4.—**Concentración media (+ error estándar) de N, P y K (mg/g de materia seca) en Parte Aérea (PA) y Radical (PR) en planta de pino carrasco. Para una misma fracción, valores seguidos de distinta letra difieren significativamente ( $p < 0,05$ ,  $n=3$ ).  
*N, P and K shoot root concentrations (mg/g dry weight).*

potasio es la responsable del efecto de dilución observado en OS16, manifestado en la tendencia descendente de su concentración ante aportes crecientes (Chong, 1991; van den Driessche, 1992), lo que hace pensar que esta formulación no es del todo equilibrada en las proporciones entre elementos.

La Tabla 4 recoge los valores de concentración de los macronutrientes calcio y magnesio, así como de micronutrientes.

**TABLA 4**  
**CONCENTRACION DE Ca, Mg Y MICRONUTRIENTES**  
*Ca, Mg and micronutrients concentrations*

	Ca		Mg		Fe		Mn		Zn		Cu	
	PA	PR	PA	PR	PA	PR	PA	PR	PA	PR	PA	PR
TEST	2,46a	6,47a	3,27ab	3,47a	126 a	1020,7a	447,3a	44,3a	93,3a	78,7a	4,7a	13 a
OS9D1	3,45bc	9,69bc	3,74b	4,30b	97,67a	899,3ab	384,3a	41 a	78,7a	55,7abc	24,3a	38 a
OS9D2	3,98c	10,29c	3,41ab	4,28b	98,7a	824 ab	243,3b	48 a	45,7b	46,7bc	18,7a	28,3a
OS9D3	3,82c	9,08abc	3,29ab	3,89ab	102,3a	867 ab	228 b	57 a	47,7b	43 c	21 a	21 a
OS16D1	3,22abc	7,49abc	3,08ab	3,61ab	87,7a	672 b	221,7b	46 a	53,7b	60,7abc	16 a	13,7a
OS16D2	2,63ab	7,45ab	3,04a	3,94ab	89,3a	739,7ab	213,3b	67,7a	60,7ab	71,3ab	3,3a	18,3a
OS16D3	2,63ab	6,29a	2,82a	3,35a	125,3a	762,3ab	196,3b	47 a	69 ab	68 abc	4 a	22,3a

Ca y Mg valores en mg/g de materia seca. Micronutrientes (hierro, manganeso, zinc y cobre) en µg/g de materia seca. En una columna, valores seguidos por distinta letra difieren significativamente ( $p < 0,05$ ,  $n = 3$ )

La concentración de calcio y magnesio es más abundante en las dosis menos nitrogenadas, (correspondientes al fertilizante OS9) y mantiene una tendencia decreciente con el incremento de la dosis de OS16, debido probablemente al efecto de dilución. Las concentraciones obtenidas en el testigo son similares, en general, a las de los tratamientos fertilizados, dado que en este caso la fuente mineral procede mayoritariamente del agua de riego (2,0 meq  $\text{Ca}^{2+}/\text{l}$  y 2,6 meq  $\text{Mg}^{2+}/\text{l}$ ). Los valores obtenidos en estos nutrientes se encuentran dentro de los rangos recogidos por la literatura citada (Hinesley, Wright, 1988; Landis, 1989; Rook, 1991; Royo *et al.*, 1997), que en general son de considerable amplitud.

En lo que respecta a la distribución relativa de la concentración de macronutrientes en las fracciones aérea y radical sigue la pauta comprobada para otras especies cultivadas en vivero (Oliet, 1995) esto es, superior en parte aérea para el N y el K y superior en parte radical para el resto de los elementos, especialmente el Ca.

En cuanto a los micronutrientes, todos los valores se encuentran aproximadamente dentro de los rangos considerados "típicos" en planta de vivero producida en contenedor (van Steenis, 1998), si exceptuamos al manganeso en parte aérea para los tratamientos TEST y OS9D1 y el hierro en raíz en todos los tratamientos, valores por encima de las referencias citadas, lo que indica una acumulación de este último elemento en dicha fracción (Eymar, 1993).

Pero además de los valores de concentración absolutos, las proporciones relativas de nutrientes en tejidos tienen un valor predictivo propio de la calidad de la planta, debido a

las interacciones de diferente naturaleza que se producen dentro de aquella. La Tabla 5 recoge las proporciones de P, K, Ca y Mg relativas al nitrógeno obtenidas en los diferentes tratamientos, acompañadas de las proporciones en los dos fertilizantes empleados y del balance recomendado. Los valores de la Tabla sugieren un exceso de K relativo y un valor óptimo de P en las dosis de OS9, un defecto de P en todas las dosis de OS16 y de potasio en la dosis 3 de dicha formulación. Calcio y magnesio presentan excesos relativos, incluso en el testigo sin fertilizar.

Estos valores sugieren que la proporción relativa final de N, P y K en tejidos es relativamente controlada por la formulación del fertilizante. En el caso del fósforo, su proporción relativa se mantiene casi constante, con independencia de la dosis dentro de una misma formulación. Sin embargo, el potasio parece ser más sensible al efecto dilución, ya que su presencia relativa disminuye al incrementarse la dosis dentro de cada una de las dos formulaciones. Estas consideraciones pueden resultar de interés a la hora de fijar una formulación óptima para ensayos futuros.

**TABLA 5**  
**PROPORCION RELATIVA DE MACRONUTRIENTES**

*Macronutrients balance*

	9-13-18	16-8-9	TEST	OS9D1	OS9D2	OS9D3	OS16D1	OS16D2	OS16D3	(*)
<b>N</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>P</b>	63	22	8	24	19	19	12	13	13	20
<b>K</b>	166	47	55	87	65	63	50	42	38	55
<b>Ca</b>			25	35	30	24	20	14	13	6
<b>Mg</b>			33	38	26	20	19	17	14	5

9-13-18 y 16-8-9: proporción de elementos en los fertilizantes; TEST a OS16D3 proporción elemental en parte aérea de *Pinus halepensis*; (\*) proporción recomendada (Landis, 1989).

Por otra parte, el estudio del contenido total de un nutriente en planta (producto de la concentración por el peso seco) informa sobre la eficiencia de la planta para absorber las cantidades aportadas (Timmer, 1991). La Tabla 6 recoge los valores de contenido total en planta de nitrógeno, fósforo y potasio, así como de la eficiencia absorbente por elemento de cada tratamiento, expresada por medio del porcentaje del elemento contenido en planta en relación a la cantidad total suministrada (Tabla 1).

Se aprecia en general para todos los elementos una tendencia decreciente de la eficiencia absorbente con el incremento de la dosis (McNabb, Hesel, 1997). Para el caso del nitrógeno, esta tendencia es muy acusada, pasando de una eficiencia cercana al 90 % del total suministrado con OS9D1 (31 mg, Tabla 1) hasta tan sólo el 33 % de los 257,6 mg suministrados por OS16D3, a pesar de lo cual las cantidades totales acumuladas por la planta crecieron significativamente. A mayor dosis y, consecuentemente, mayor tasa de liberación, mayor cantidad de nitrógeno acumulado en tejidos, mayor concentración (Fig. 4) y mayor biomasa desarrollada (Fig. 3), pero también menores porcentajes de elemento aprovechado. Este aspecto, además de la calidad de planta producida, debe tenerse muy en consideración

a la hora de elegir un tratamiento fertilizante, por sus efectos sobre la contaminación provocada por los drenajes de riego (McNabb y Hesper, 1997). El porcentaje de fósforo absorbido también desciende con la dosis suministrada, aunque en este caso las oscilaciones en la eficiencia son menos marcadas, pasando del 34 % para 19,6 mg suministrados (OS9D1), al 19 % para 65,1 mg aportados por OS9D3. Mayor oscilación se aprecia en el potasio, que alcanza valores máximos del 61 % absorbido en OS16D1 (55,9 mg suministrados) y un mínimo del 21 % para un suministro de 171,8 mg con OS9D3. Sin embargo, las cantidades totales de potasio absorbidas no variaron significativamente en ningún tratamiento, corroborando lo dicho hasta el momento en relación con la eficiencia de la planta en la absorción de este elemento. Comparando estos valores con los obtenidos en ensayos empleando fertirrigación, se constata la mayor eficiencia de la liberación controlada: Argillier, Raymond (1993), en *Pinus nigra*, concluyeron que tan sólo entre el 5 y el 10 % del elemento suministrado por riego era absorbido por la planta; Timmer, Aidelbaum (1996) recogen valores de eficiencia en la absorción de nitrógeno del 16 % en *Pinus resinosa*.

TABLA 6

## CONTENIDOS N, P Y K TOTALES EN PLANTA Y EFICIENCIA ABSORBENTE

*N, P and K total contents and absorbent efficiency*

	NTOTAL (mg)	p.100 N absorb.	PTOTAL (mg)	p.100 P absorb.	KTOTAL (mg)	p.100 K a absorb.
TEST	13,7a	—	1,2a	—	8,3a	—
OS9D1	27,6ab	88,8	6,7b	34,2	24,6b	47,7
OS9D2	45,3bc	67,4	10,3bc	24,2	32,0b	28,7
OS9D3	53,6cd	51,8	12,3c	18,9	35,7b	20,8
OS16D1	64,9de	54,3	8,6bc	33,2	34,2b	61,3
OS16D2	76,0ef	41,3	10,6c	26,5	32,7b	38,2
OS16D3	85,3f	33,1	12,2c	21,7	32,3b	26,9

Para los contenidos, en una columna, valores seguidos por distinta letra difieren significativamente ( $p < 0,05$ ,  $n = 3$ ). Porcentajes referidos al total suministrado por el fertilizante (Tabla 1).

La Tabla 7 recoge el grado de relación entre las cantidades de N, P y K suministradas o existentes en los lixiviados recogidos en octubre y las concentraciones en tejidos y los pesos secos. El único de los elementos aportados que se correlaciona significativamente con el desarrollo es el nitrógeno en relación con el peso aéreo. Esto confirma el activo y conocido papel del nitrógeno en el desarrollo de la planta (Hicklenton, Cairns, 1992).

La capacidad predictiva de las concentraciones en lixiviados al final del cultivo sobre las correspondientes en tejidos es nula, a excepción de la de fósforo en raíz. Los coeficientes de determinación son especialmente bajos para el potasio.

Para finalizar, se presenta en la Figura 5 la relación entre la concentración nitrogenada y el desarrollo en parte aérea. Se aprecia una tendencia creciente del desarrollo aéreo con la concentración para el intervalo considerado, por lo que puede afirmarse que con las dosis aportadas no se produce aún consumo de lujo de nitrógeno.

TABLA 7

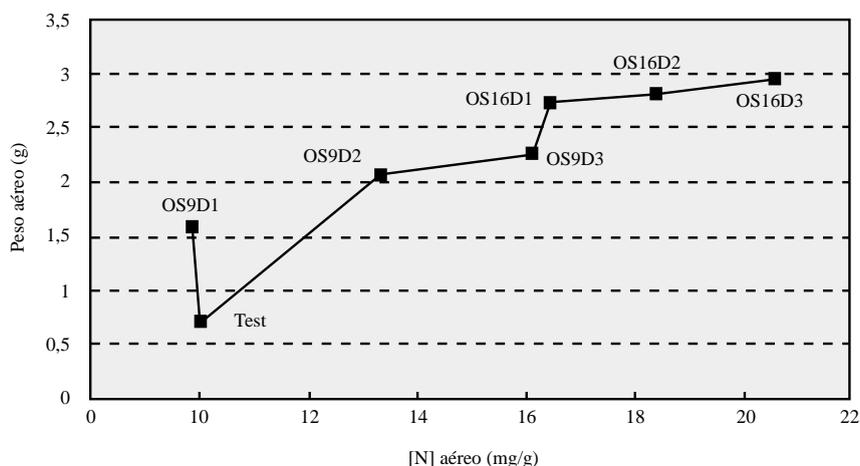
**COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN (R<sup>2</sup>) DE LAS REGRESIONES LINEALES ENTRE APORTES, LIXIVIADOS Y ALGUNOS ATRIBUTOS DE CALIDAD**

*Regressions coefficients of determination for some quality attributes on supply and leach concentrations*

	PPA	PPR	[N]PA	[N]PR
<b>N-sum</b>	0,73 **	0,06 NS	0,92 ***	0,93 ***
<b>N-lixoet</b>	0,08 NS	0,02 NS	0,46 NS	0,51 NS
	PPA	PPR	[P]PA	[P]PR
<b>P-sum</b>	0,41 NS	0,28 NS	0,81 ***	0,94 ***
<b>P-lixoet</b>	0,47 NS	0,15 NS	0,51 NS	0,60 *
	PPA	PPR	[K]PA	[K]PR
<b>K-sum</b>	0,23 NS	0,24 NS	0,59 *	0,53 *
<b>K-lixoet</b>	0,44 NS	0,50 NS	0,34 NS	0,18 NS

Valores de R<sup>2</sup> ajustados: \* = significativo p<0,05; \*\* = significativo p<0,01; \*\*\* = significativo p<0,001; NS = no significativo. PPA = peso seco aéreo; PPR = peso seco radical; [N, P ó K]PA/PR = concentraciones N, P, K en tejidos aéreo o radicales. N, P ó K-sum = cantidades de elemento suministradas por planta. N, P ó K-lixoet = concentraciones de elemento en lixiviados de octubre.

Por otra parte, siendo muy similares las concentraciones de N en parte aérea en los tratamientos TEST y en OS9D1, el desarrollo aéreo en el segundo caso es significativamente superior: es el efecto Steenbjerg (Landis, 1985), producido cuando un elemento es extremadamente deficiente y un aporte suplementario, por pequeño que sea, produce una respuesta muy brusca en el crecimiento, que resulta en una disminución de la concentración en tejidos.



**Fig. 5.—Evolución del peso seco de la parte aérea de pino carrasco con los niveles de concentración de nitrógeno en dicha fracción.**

*Shoot nitrogen concentration and shoot dry weight in Pinus halepensis seedlings.*

## CONCLUSIONES

En las condiciones ensayadas, el empleo de fertilizantes de liberación controlada lenta permite un control de planta de pino carrasco, en términos de morfología y de composición nutritiva, dando lugar a calidades de planta similares, respecto a estos atributos, a las producidas por otros sistemas de fertilización.

Las tasas de liberación de fertilizante durante las primeras semanas manifiestan diferencias con la formulación y la dosis de fertilizante ensayadas. Sin embargo, valores próximos a 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en lixiviados (producidos por la dosis 3 de OS16) no afectaron a la germinación y emergencia de las plántulas de pino carrasco.

De los tres elementos cuyo aporte fue controlado, el nitrógeno fue el que presentó relaciones significativas con el desarrollo aéreo de la planta. Las relaciones entre aportes y concentración final en tejidos, para cada elemento, fueron significativas en todos los casos, aunque poco intensas para el potasio. Esta débil respuesta al potasio es consecuencia de un conjunto complejo de interacciones, y obliga a emplear cantidades elevadas de este elemento si se desea controlar con cierta eficacia su absorción en tejidos. En cambio, los elementos nitrógeno y fósforo responden muy bien a las cantidades aportadas.

En relación con los tratamientos ensayados, Osmocote 9-13-18 es equilibrado en las proporciones de fósforo y potasio, aunque da lugar a concentraciones de nitrógeno en tejidos algo deficientes. Por el contrario, Osmocote 16-8-9 parece algo deficiente en potasio en relación con las cantidades de nitrógeno que aporta. Estas indicaciones permiten proponer ensayos futuros que supongan formulaciones más equilibradas.

5 g/l de Osmocote 9-13-18 conduce a las mayores concentraciones de potasio en tejidos, al tiempo que sitúa también al nitrógeno y al fósforo en los valores recomendados. 1,5 g/l de esta formulación se muestra insuficiente en cuanto al suministro de nitrógeno y de fósforo. 7 g/l de Osmocote 16-8-9 produce concentraciones máximas de nitrógeno y un desarrollo aéreo también máximo, aunque provoca efecto dilución sobre el potasio. 3,25 g/l de esta formulación conduce a valores intermedios de nitrógeno y potasio dentro de los rangos obtenidos, pero mínimos en fósforo.

El análisis de lixiviados permite conocer el estado de los nutrientes fósforo y nitrógeno en la solución del sustrato, pero no del potasio, y no se ha mostrado muy eficaz, en la predicción de la composición de tejidos al final del cultivo. Una toma de muestras más frecuente, acompañada de analítica de extracto de saturación, permitiría, probablemente, dar luz al conocimiento de los procesos que tienen lugar en el complejo sustrato-planta (Broschat, 1995; Prasad, 1996).

El nutriente que, en las condiciones ensayadas, fue aprovechado con más eficiencia fue el nitrógeno, seguido del potasio y del fósforo. La eficiencia en la absorción ha sido, en todos los casos, inversamente proporcional a las dosis aportadas. Este hecho debe valorarse cuando se tienen en consideración los aspectos ambientales de la producción de planta, en especial en lo referente a la contaminación de acuíferos por nitratos.

## AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio del Área de Uso Sostenible del Medio Natural del INIA y al Centro de Investigación y Formación Agraria de Almería. Este trabajo ha sido realizado bajo financiación del Proyecto INIA SC-94111.

## SUMMARY

### Slow-controlled release fertilizers used in nursery seedling productions. Doses and formulations effects on *Pinus halepensis* Mill. seedling quality

The results of applying three doses of coated slow release fertilizers OSMOCOTE 9-13-18 (1.5; 3.25 and 5 g/l) and OSMOCOTE 16-8-9 (3.25; 5 and 7 g/l) in producing *Pinus halepensis* seedlings are evaluated. Mixing the fertilizer in the growing media increased the salinity, but didn't affect the germination and survival of the seedlings. N and P leach concentrations were correlated with the application rates, but K wasn't. N, P and K shoot concentrations at lifting were correlated with the doses applied, although the relationship between K and doses was the weakest. Shoot growth responded significantly only to N doses. The relative N proportion in OSMOCOTE 9-13-18 was deficient, and OSMOCOTE 16-8-9 had a K deficient ratio, due to the dilution effect observed. The mineral nutrient uptake efficiency decreased in response to the dosis, but was higher than observed in liquid fertilizer injection methods.

**KEY WORDS:** *Pinus halepensis*  
Mineral nutrition  
Seedling quality  
Slow release fertilizers

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARGILLIER C., RAYMOND V., 1993. Fertilisation des pins laricio (*Pinus nigra* ssp. Laricio) en culture en conteneur. CEMAGREF. Division Fôret Méditerranée-Aix an Provence.
- BENSON R.R., 1997. Fertilizer Technology. In: Forest seedling nutrition from the nursery to the field. Simposium Proceedings. Haase, D.L.; Rose, R. Eds. NTC. Oregon State University, pp 5-9.
- BROSCHAT T.K., 1995. Nitrate, phosphate and potassium leaching from container-grown plants fertilized by several methods. HortScience, 30(1), 74-77.
- BROSCHAT T.K., 1996. Release rates of soluble and controlled-release potassium fertilizers. HortTechnology, 6(2), 128-131.
- CABRERA R.I., 1997. Comparative evaluation of nitrogen release patterns from controlled-release fertilizers by nitrogen leaching analysis. HortScience, 32(4), 669-673.
- CARTAGENA M.C., 1992. Productos recubiertos. In: Fertilizantes de liberación lenta. Tipos, evaluación y aplicaciones. Jiménez Gómez, S. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, pp 43-62.
- CROWLEY D.E., MARONEK D.M., HENDRIX J.W., 1986. Effect of slow release fertilizers on formation of mycorrhizae and growth of container grown pine seedlings. Journal of Environmental Horticulture, 4(3), 97-101.
- CHONG C., 1991. Shade tree growth and nutritional status as influenced by fabric container and trickle fertigation. Journal of Environmental Horticulture. 9(4): 187-191.
- DONALD D.G., 1991. Nursery fertilization of conifer planting stock. In: Mineral nutrition in conifer seedlings. van Den Driessche, R. Ed. CRC Press, pp 137-168.
- EYMAR E., 1993. Fertirrigación de coníferas en contenedores con sustratos de turbas y aditivos minerales. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 353 pp.
- FISHER J.T., MEXAL J.G., 1984. Nutrition management: a physiological basis for yield improvement. In: Seedling physiology and reforestation success. Duryea, M.L.; Brown, G.N. Eds. Nijhoff/Junk Publishers, pp 271-300.
- GROSSNICKLE S., ARNOTT J., MAJOR J.E., TSCHAPLINSKI T., 1991. Influence of dormancy induction treatments on Western hemlock seedlings. 1.- Seedling development and stock quality assessment. Canadian Journal of Forestry Research, 21, 164-174.
- HATHAWAY R.D., WHITCOMB C.E., 1977. Effects of 3 sizes of bottomless containers and 5 levels of Osmocote during propagation on root modification and growth of *Quercus shumardi* seedlings. J. Arboriculture, 3, 208-212.
- HATHAWAY R.D., WHITCOMB C.E., 1984. Nutrition and performance of container-grown Japanese Black Pine seedlings. Journal of Environmental Horticulture, 2(1), 9-12.
- HICKLENTON P.R., CAIRNS K.G., 1992. Solubility and application rate of controlled-release fertilizer affect growth and nutrient uptake in containerized woody landscape plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 117(4), 578-583.

- HINESLEY L.E., WRIGHT R.D., 1988. Budset and growth of Eastern White pine following application of 6-Benzylaminopurine to seedlings fertilized with different levels of nitrogen. *Journal of Environmental Horticulture*, 6(2), 42-45.
- INGESTAD T., 1979. Mineral nutrient requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiol. Plant*, 45, 373-380.
- JIMÉNEZ GÓMEZ, S., 1992. Fertilizantes de liberación lenta: Introducción. In: *Fertilizantes de liberación lenta*. Jiménez Gómez, S. Ed., Mundi-Prensa. Madrid, pp 1-7.
- LANDIS T.D., 1989. Mineral nutrients and fertilization. In: *The container Tree Nursery Manual*, Vol 4. *Agriculture Handbook 674*. Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E., Barnett, J.P. Eds. Forest Service. U.S. Dep. of Agric., pp 1-70.
- LANDIS T.D., 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. In: *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests*. Duryea, M. Ed. Forest Research Lab. Oregon State University, pp 29-48.
- LIÑÁN C., 1992. *Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales*. Madrid.
- MAC CARTHAIGH D., 1994. Environmental aspects of fertilizing container plants. *Combined proceedings international plant propagators' Society*, 44, 182-186.
- MAJADA J.P., CASARES A., 1998. Nutrición de eucalipto en contenedor mediante fertilizantes de liberación controlada. *Actas del VII Simposio Nacional - III Ibérico sobre nutrición mineral de las plantas*, 337-382.
- MAPA 1986. *Métodos Oficiales de análisis*. Tomo III. Secretaria General Técnica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 532 p.
- McNABB K., HESER B., 1997. The potential use of slow release fertilizers for forest tree nursery production in the Southeast U.S. In: *Forest seedling nutrition from the nursery to the field*. *Symposium Proceedings*. Haase, D.L., Rose, R. Eds. NTC. Oregon State University, pp 50-57.
- OLIET J., 1995. Influencia de la fertilización en vivero sobre la calidad de la planta y la supervivencia en campo de varias especies forestales. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. ETSIAM.
- OLIET J., PLANELLES R., LOPEZ ARIAS M., ARTERO F., 1997. Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 4: 69-80.
- PHILLION B., BUNTING W., 1983. Growth of Spruce seedlings at various soluble fertilizer salt levels. *Tree Planters' Notes*, 34(4), 31-33.
- PRASAD M., 1996. Nutrient survey of nursery stock in Ireland and U.K. including nutrient reserve analysis in controlled-release fertiliser and leaf analysis. *Combined proceedings International Plant propagators' Society*, 46, 183-189.
- PUEYO A., 1992. Aplicación práctica de los fertilizantes de liberación lenta. In: *Fertilizantes de liberación lenta: tipos, evaluación y aplicaciones*. Jiménez Gómez, S. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, pp. 127-145
- REY F., 1997. Current trends in nutrition of container stock. In: *Forest seedling nutrition from the nursery to the field*. *Symposium Proceedings*. Haase, D.L., Rose, R. Eds. NTC. Oregon State University, pp 43-49.
- ROOK D.A., 1991. Seedling development and physiology in relation to mineral nutrition. In: *Mineral nutrition in conifer seedlings*. van Den Driessche, R. Ed. CRC Press, pp 86-112.
- ROYO A., FERNANDEZ M., GIL L., GONZALEZ E., PUELLES A., RUANO R., PARDOS J.A., 1997. La calidad de la planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. destinada a repoblación forestal. *Tres años de resultados en la Comunidad Valenciana*. *Montes*, (50), 29-39.
- SANDERSON K.C., 1987. Selecting the right fertilizers for container-grown woody ornamentals. *American nurseryman*, 165(1), 160-181.
- SARRO M.J., CADAHÍA J., CARPENA O., 1985. Balance iónico en savia como índice de nutrición de tomate. Nueva metodología aplicable "in situ". *Anales de Edafología y Agrobiología*, XLIV (5-6), 799-812.
- THOMPSON B., 1985. Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking. In: *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test*. M.L. Duryea Ed. Forest Research Laboratory. Oregon State University, pp 59-69.
- TIMMER V.R., 1991. Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. In: *Mineral nutrition in conifer seedlings*. van Den Driessche, R. Ed. CRC Press, pp 113-134.
- TIMMER V.R., AIDELBAUM A.S., 1996. Manual for exponential nutrient loading of seedlings to improve out-planting performance on competitive forest sites. NODA/NFP Technical report; TR-25. *Nat. Resour. Can., Canadian Forest Service-Sault Ste. Marie*. 21 pp.
- TROFYMOW J.A., VAN DEN DRIESSCHE R., 1991. Mycorrhizas. In: *Mineral nutrition of conifer seedlings*. van Den Driessche, R. Ed. CRC Press, pp 183-227.
- VAN DEN DRIESSCHE R., 1992. Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen and potassium treatments. *Can. Journal of Forestry Research*, 22(5), 740-749.

- VAN DEN DRIESSCHE R., 1988. Nursery growth of conifer seedlings using fertilizers of different solubilities and application time, and their forest growth. *Canadian Journal of Forestry Research*, 18, 172-180.
- VAN STEENIS E., 1998. Micronutrients-Manganese. In: *Forest Nursery Notes*. USDA Forest Service. Pacific Northwest Region. RS-CP-TP-03-98: 8-12.
- VANÇON S., 1993. Fertilization affects growth and incidence of grey mold on container-grown giant sequoia. *Tree Planters' Notes*, 44(2), 68-72.
- WHITCOMB C.E., 1988. *Plant production in containers*. Stillwater O.K.:Lacebark Publications. 638 pp.