

Gestión del cultivo de planta forestal en contenedor con PLANTEC¹

PAULA VALLEJO GARCÍA. Área de Producción Vegetal. Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Universidad de Oviedo. paulavg@serida.org

UNAI ORTEGA LASUEN. Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad del País Vasco/EHU. unai.ortega@ehu.es

ANDREA HEVIA CABAL. Becaria FPU. Ministerio de Educación y Ciencia. Universidad de Santiago de Compostela y SERIDA. andrea@c@serida.org

ELOY ÁLVAREZ RON. Sociedad de Servicios del Principado de Asturias. (SERPA). vflamata@telefonica.net

MIREN K. DUÑABEITIA AURREKOETXEA. Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad del País Vasco/EHU. gvpduaum@lg.ehu.es

ELIAS AFIF KHOURI. Ingeniería Agroforestal. Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Universidad de Oviedo. elias@uniovi.es

JUAN PEDRO MAJADA GUIJO. Programa de Investigación Forestal. Área Cultivos Hortofrutícolas y Forestales. SERIDA. jmajada@serida.org

Introducción

La fertilización es, junto con el manejo de riego, una de las variables culturales con mayor influencia en la calidad de la planta forestal producida en contenedor, especialmente si el proceso de producción se realiza en régimen intensivo y en cortos intervalos de tiempo.

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 una vez que la planta haya sido introducida en campo. En definitiva la fertilización interviene en todos los atributos de calidad que tradicionalmente se consideran en la caracterización de la planta forestal (Oliet, 1997).

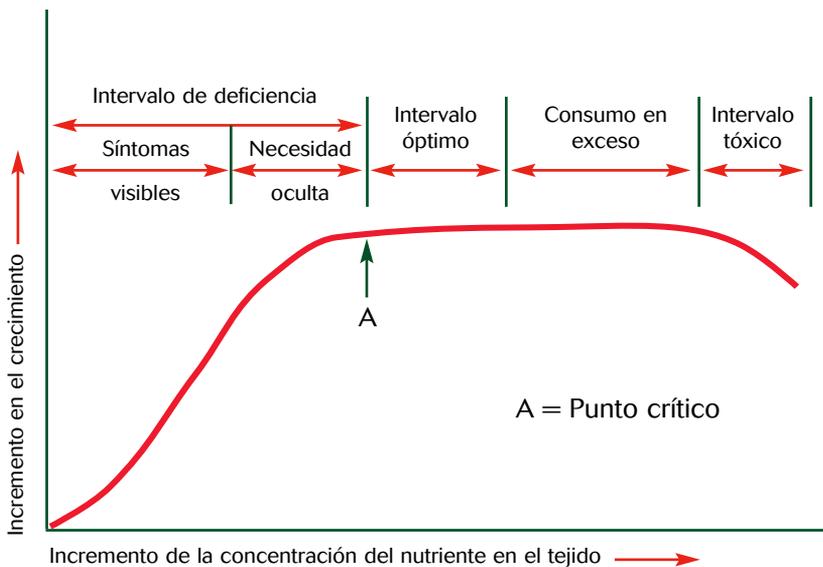
Cuando se confecciona un calendario de fertilización, lo que se pretende es satisfacer las necesidades del cultivo con el fin de optimizar su producción. De entre todos los sistemas disponibles para la aplicación de nutrientes, la fertilización líquida es uno de los más apropiados para la producción de planta en contenedor, pudiendo optar por diversas tecnologías como la aspersión, goteros autocompensantes, etc. Entre los sistemas de apli-

cación de fertilizantes líquidos cabe destacar: la fertilización constante y la fertilización exponencial. Si la aplicación de la solución se realiza de forma lineal a lo largo del ciclo de cultivo se denomina **fertilización constante**, mientras que si comienza con una tasa de fertilización reducida, que incrementa progresivamente conforme las plantas van creciendo y aumenta la demanda de nutrientes, nos hallamos ante la denominada **fertilización exponencial**.

La fertilización exponencial es una práctica de reciente aplicación a nivel mundial en los viveros forestales. Su paulatina introducción, principalmente en países con una gran cultura forestal, ha supuesto una mejora importante en el control de calidad del proceso de producción de plantas forestales. Este sistema se caracteriza principalmente porque induce unas condiciones nutritivas constantes y continuas en las plantas que facilitan la estabilidad relativa de las concentraciones internas de los nutrientes durante todo el crecimiento (Timmer *et al.*, 1991). Además, autores como Timmer *et al.*, (1991) observaron que los beneficios de la fertilización exponencial aumentan al empeorar la calidad del lugar de plantación.

En el gráfico 1 se presenta el modelo de relación existente entre el crecimiento





$$N_T = N_s (e^{rt} - 1)$$

Donde,

- N_T = nitrógeno acumulado en las doce aplicaciones
- N_s = nitrógeno antes de empezar a fertilizar
- r = la tasa de aplicación
- t = número de aplicaciones.

En el ejemplo, la tasa de aplicación es del 3% para la curva amarilla y del 9% para la morada, esto quiere decir que en cada aplicación aumentaba en un 3% ó 9% la dosis de fertilizante respecto a la anterior.

La aplicación informática: PLANTEC

Como vimos anteriormente, un programa de fertilización para un vivero forestal que produce en contenedor deberá diseñarse para mantener concentraciones específicas de los diferentes micronutrientes minerales en el medio de crecimiento, manteniéndolos en balance, y también deberá ser diseñado para permitir los necesarios cambios nutricionales durante el ciclo de cultivo.

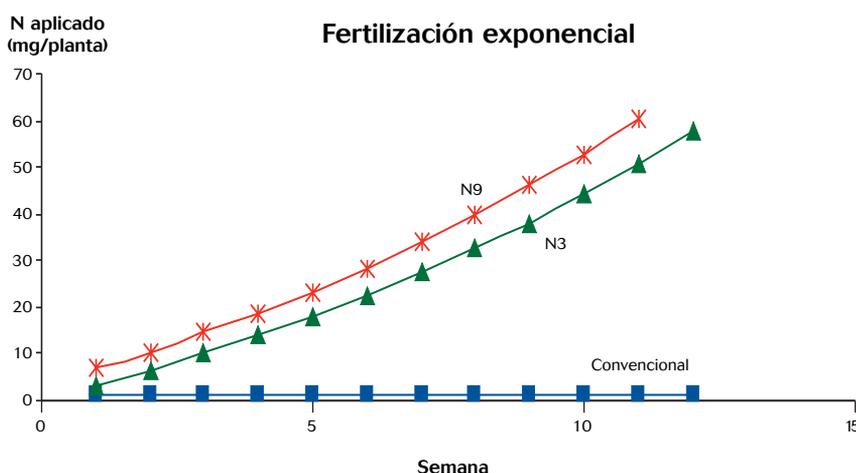
PLANTEC es una aplicación informática desarrollada por el gobierno canadiense para gestionar la fertilización de plantas producidas tanto en contenedor como a raíz desnuda. Permite al viverista fertilizar la planta forestal en función de sus requerimientos minerales (N, P y K). Esta aplicación se viene utilizando desde 1992 por investigadores de la Dirección de Investigación Forestal Canadiense (DRF) y en los viveros forestales gubernamentales de Canadá (Ministère des Resources Naturelles). Actualmente, en Canadá, con este sistema de gestión se producen más de 250 millones de árboles al año. Posteriormente, se ha ido introduciendo en diversos países que mantienen acuerdos de colaboración con el gobierno de Canadá como por ejemplo China y Francia. El SERIDA estableció en el año 2003 un acuerdo con el gobierno canadiense para utilizar el programa en España. Previamente, fue necesario adaptar los modelos de producción a las latitudes en las que se encuentran situados nuestros viveros.

↑
Gráfico 1.-Relación crecimiento-concentración en tejidos vegetales.
(Fuente: Landis, 1990a).

y la concentración de nutrientes. Se puede observar, por ejemplo, cómo el máximo crecimiento se puede alcanzar con distintas concentraciones de nutrientes, aunque se deben mantener ciertos niveles durante las últimas fases del cultivo para facilitar la acumulación de reservas por parte de la planta antes de su plantación en el monte. A partir de estos intervalos de nutrientes denominados óptimos, se seguirán incrementando las concentraciones internas de nutrientes sin cambiar la biomasa total, lo que se traduce en un consumo de lujo en la planta.

↓
Gráfico 2.-Aplicación de Nitrógeno (N) con fertilización exponencial y convencional.

El gráfico 2 muestra un ejemplo teórico comparativo de la utilización durante 12 semanas de fertilización convencional continua (1,3 mg por aplicación) frente a fertilización exponencial. La fertilización exponencial del ejemplo se aplica mediante la formulación de Timmer (1991):





↑
Fotografía 1.-Área de sombrote del vivero forestal de “La Mata” (Grado, Asturias), con producción de *P. pinaster*.

Los objetivos del trabajo consistieron en, por una parte, implementar la aplicación informática PLANTEC en el vivero forestal de La Mata, de modo que permitiera registrar las prácticas culturales y variables de seguimiento de los lotes cultivados, así como optimizar la gestión nutricional de los cultivos. Por otra, validar los modelos de producción desarrollados experimentalmente en 2004 y 2005 con fertilización exponencial para *Pinus pinaster* y *Pseudotsuga menziesii*, evaluando la producción en vivero de estas especies con la aplicación informática PLANTEC.

Para lograr estos objetivos, se siguieron varias fases:

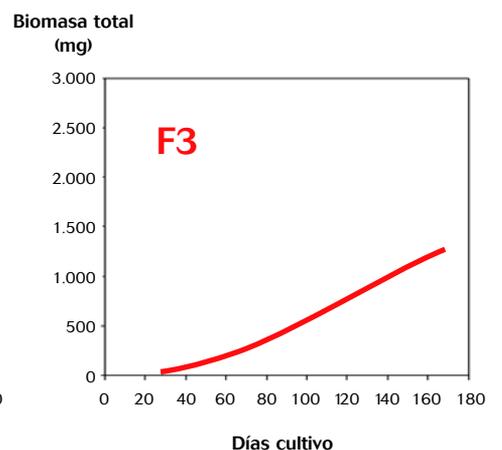
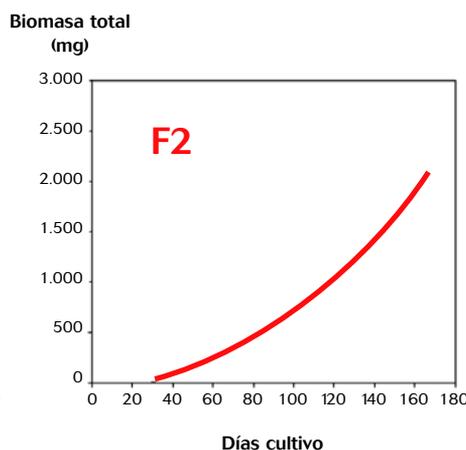
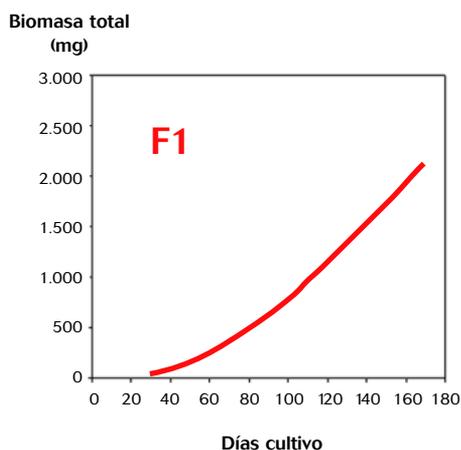
Fase 1. Construcción de los modelos de producción

Como fase previa es necesario introducir los modelos de producción ajusta-

dos a las condiciones climatológicas del vivero forestal de La Mata (Fotografía 1). A la hora de realizar lotes industriales de producción supervisados con la ayuda de PLANTEC, se utilizaron modelos previamente construidos a escala experimental para las especies *Pinus Pinaster* Aiton y *Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco. Los modelos de partida fueron obtenidos en 2005 mediante la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno, tal y como se muestra en el gráfico 3. Como modelos a aplicar de forma industrial y gestionados con PLANTEC seleccionamos el F3 para construir los modelos de la campaña de producción de verano de 2006. Como muestran las gráficas, las dosis de aplicación de nitrógeno son mayores para el modelo F1, un poco menores para el modelo F2 y las dosis más bajas para el modelo F3.

Una vez definidos los modelos de producción para cada especie, la persona

↓
Gráfico 3.-Modelos de biomasa construidos a nivel experimental en 2005 para diferentes dosis de aplicación de Nitrógeno (N) F1, F2 y F3.



que gestione el vivero puede determinar la evolución del crecimiento de cada lote en producción, evaluar sus requerimientos minerales semanales en N, P y K, y redefinir dinámicamente los calendarios de fertilización para cada lote de plantas. PLANTEC presenta utilidades como la selección de fertilizantes con distintas formulaciones para cada aplicación. Una vez realizada esta tarea el programa facilita los cálculos para preparar la solución fertilizante, en función de las dosis calculadas, del área a abonar y del sistema de aspersores a utilizar.

Todos los tratamientos realizados sobre el cultivo pueden ser registrados y guardados en la memoria del programa. Asimismo, este permite revisar los calendarios de fertilización en función de las mediciones periódicas realizadas sobre el crecimiento del cultivo y sobre la concentración nutricional en los tejidos vegetales, y en los sustratos. Al finalizar el periodo de producción provee un estado nutricional para cada lote que ha sido monitorizado.

La figura 1 muestra la pantalla principal del programa que se divide en tres partes: la configuración del vivero, la campaña de producción y seguimiento, y las utilidades del sistema.

Este programa permite recoger todas las variables culturales de cada campaña de producción, proporcionando un registro tanto de los tratamientos culturales aplicados como de las variables ambientales durante el cultivo.

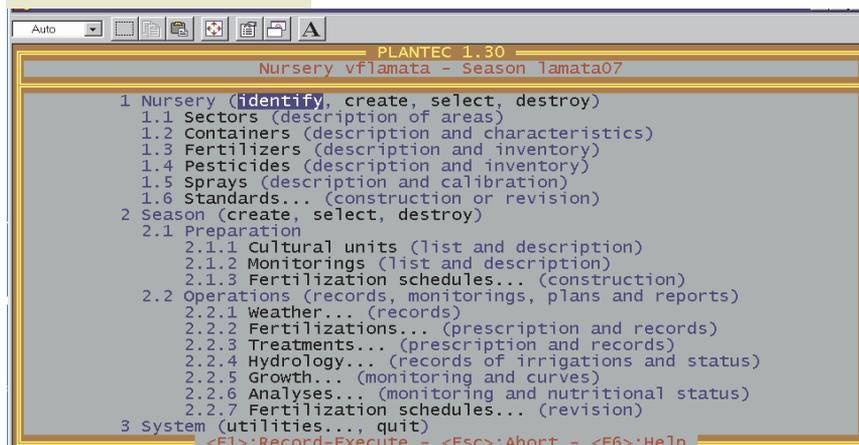
Una vez establecidos los valores que queremos que presente la planta al final de la campaña de producción (altura, diámetro, biomasa aérea y radical, fecha de siembra, fecha fin de campaña), asociamos el lote con su estándar de producción (los valores medios obtenidos durante los seguimientos que caracterizan a cada lote de planta). Estos estándares sirven como base para la construcción de los calendarios de fertilización.

Por último, el programa calcula el calendario e indica la recomendación de fertilización para cada fecha, tanto cualitativa (en función de las formulaciones elegidas) como cuantitativa (requerimientos y dosis). Todo proceso de fabricación industrial necesita del control de sus objetivos de producción, así como identificar y resolver posibles problemas de capacidad en las distintas etapas del proceso. La producción de materiales forestales de reproducción no deja de ser un proceso industrial, con el agravante de que trabajamos con material biológico susceptible de modificar su comportamiento ante cambios en el ambiente. Sin embargo, si deseamos introducir elementos de control industrial de procesos, debemos realizar un seguimiento de la producción e introducir elementos de mejora mediante la obtención de información sobre la producción en todos y cada uno de los lotes. El empleo de PLANTEC ha supuesto el primer paso en la implantación de este tipo de estrategias de producción en España, gracias a la cual podremos identificar rápidamente problemas de capacidad y controlar la producción de forma eficaz mediante la evaluación continua de los estándares de calidad previstos para cada una de las fases del proceso.

Fase 2. Control de producción a nivel industrial mediante la aplicación PLANTEC

Los modelos se utilizaron en la aplicación informática PLANTEC versión 1.30 (Gouvernement du Québec, 2001), con el objetivo de obtener calendarios de fertilización que se aplicaron en la campaña de producción de 2006-2007.

↓
Figura 1.-Pantalla principal de la aplicación informática PLANTEC.



Para realizar el ensayo se seleccionaron en un lote industrial tres bloques aleatorios (réplicas) por cada especie, representados cada uno de ellos por una mesa de cultivo con 1160 plantas. En cada bloque se recogieron aleatoriamente diez plantas por cada muestreo.

La producción de planta se realizó en el vivero forestal de "La Mata" del Servicio de Montes, y en los invernaderos de investigación del SERIDA en Grado. Para realizar el ensayo se utilizó el envase multialveolar CETAP 40 Pinextra. Se empleó una mezcla al 80% de turba rubia, tipo "VP BOW" (VAPOPEAT, modelo BOW), comercializada por la firma Kekkilä (origen Finlandia), y 20% de vermiculita de granulometría tres. Como material vegetal se emplearon semillas de *Pinus pinaster* Aiton VF02, de Mimizan (Francia), cosecha 2002; y de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco 422-15, de Washington, cosecha 1997/1998. Durante siete meses, con una periodicidad quincenal, se extrajeron aleatoriamente diez plantas de cada uno de los tres bloques correspondientes a cada especie. En cada muestreo se analizaron los siguientes parámetros: Altura, Diámetro, Biomasa parte aérea (PsA) y raíz (PsR), Biomasa total (PsT), Nutrientes en planta (los contenidos en macronutrientes y micronutrientes se determinaron conjuntamente sobre un las diez plantas de cada réplica, tanto con la parte aérea como con la radical) e Índice de calidad de Dickson. Este índice combina parámetros morfológicos de longitud y peso (Thompson, 1985):

$$QI = \frac{\text{Peso total (gr)}}{\frac{\text{Long (cm)}}{\text{Diam (cm)}} + \frac{\text{Peso Aéreo (gr)}}{\text{Peso Raíz (gr)}}$$

Donde,

QI = índice de calidad de Dickson;

Long = altura de la planta en vivero

Diam = diámetro del cuello de la raíz.

Todos los pesos (Aéreo, Radical y Total) son obtenidos previo secado en estufa.

Los tratamientos de fertilización fueron aplicados mediante fertirrigación; es

decir, inyectando una solución de fertilizante líquido en el sistema de riego para todas las plantas que conformaban el lote de cada especie. La aplicación se realizó de acuerdo con los modelos de producción, en distintas fechas y con diferentes fertilizantes en función de las fases de producción de planta en vivero (fase de establecimiento, fase de rápido crecimiento y fase de endurecimiento).

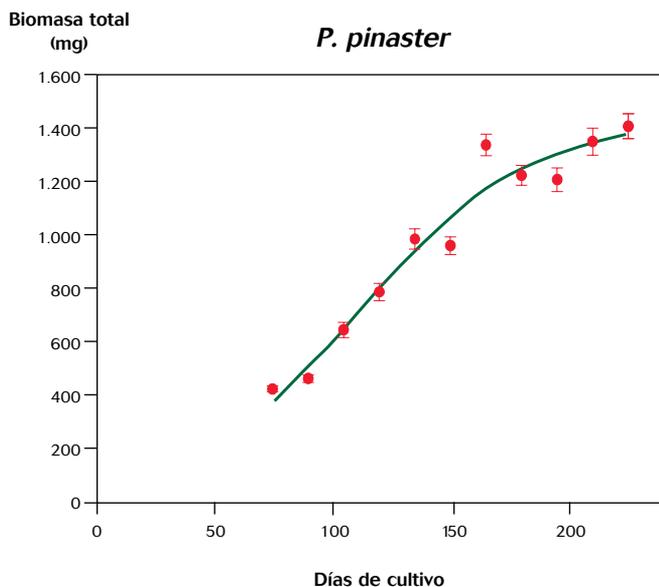
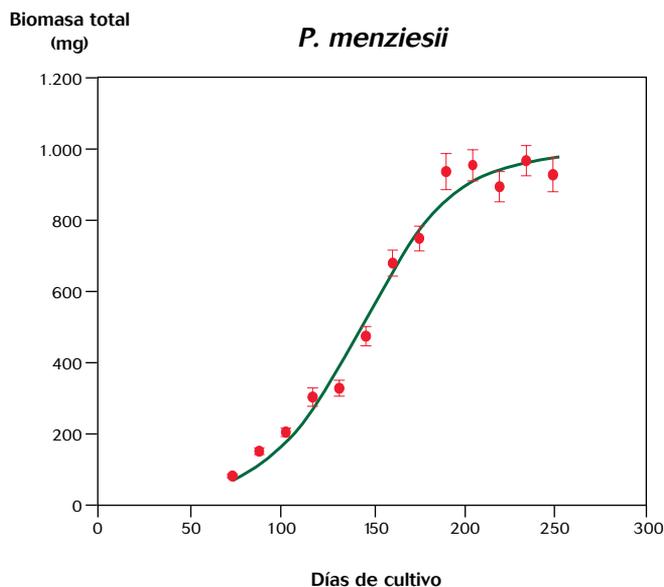
Resultados

El seguimiento de la producción industrial en las dos especies seleccionadas permitió evaluar la bondad de los modelos construidos a nivel experimental, en tanto en cuanto se pueden comparar los valores esperados "objetivo" respecto a los valores observados en dichos seguimientos. Los modelos obtenidos a nivel experimental durante 2004 y 2005, permitieron estimar al final del período de cultivo unos valores de 9,4 cm y 815 mg para altura y biomasa, respectivamente en *P. menziesii*, y de 8,9 cm y 1297 mg para *P. pinaster*. Los valores observados de los modelos construidos en la campaña 2006-2007 fueron de 11,3 cm y 681 mg para altura y biomasa, respectivamente en *P. menziesii* y de 12,4 cm y 1326 mg para *P. pinaster*. Por ello, los valores reflejaron un desfase tanto en altura como en biomasa de aproximadamente un 15% en *P. menziesii*; mientras que en *P. pinaster* el desfase es de un 28% para la altura y un 2% para la biomasa total.

A modo de ejemplo, se presentan algunos resultados obtenidos en los seguimientos de producción de ambas especies. Así, los datos para la biomasa reflejan que *P. pinaster* y *P. menziesii* son especies que presentan un comportamiento diferente (Gráfico 4). Al final del seguimiento los valores de biomasa (aérea, radical y total) fueron superiores para *P. pinaster*, incluso hasta un cincuenta por ciento mayor para la biomasa aérea.

El control de los niveles de N permite manipular el crecimiento de las plantas, por lo que los niveles recomendados de fertilización con N pueden variar considerablemente en función de la época de sembrado, la latitud del vivero y los estadios de crecimiento (Ortega, 2006). Por





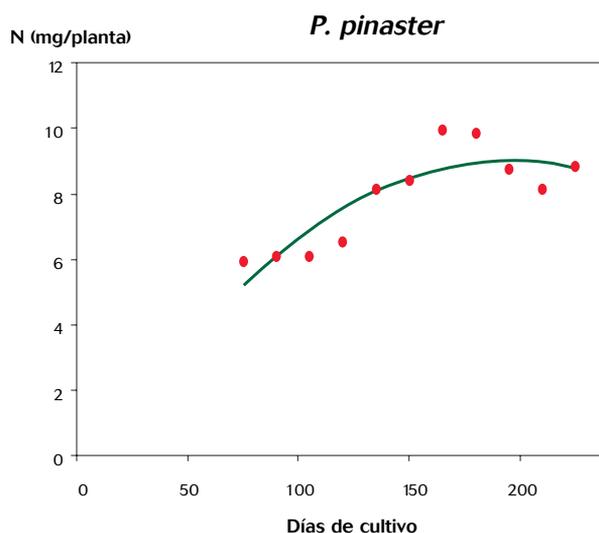
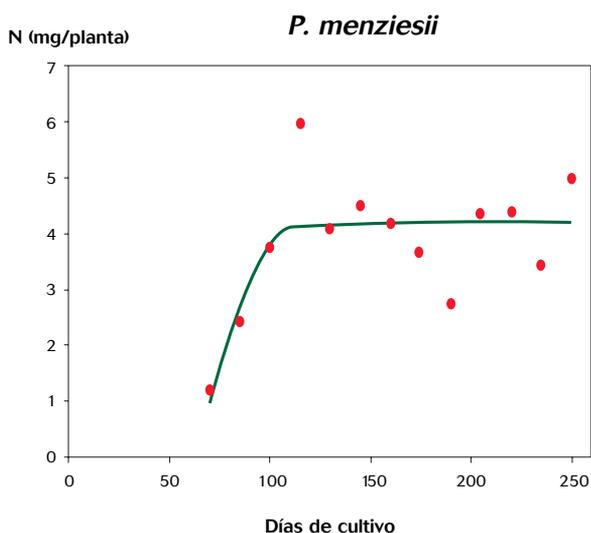
↑
Gráfico 4.-Evolución de biomasa total de *P. menziesii* y *P. pinaster* durante el período de seguimiento.

↓
Gráfico 5.-Contenidos de Nitrógeno (N) de *P. menziesii* y *P. pinaster* durante el período de seguimiento.

lo tanto, el control de dichos niveles constituirá una herramienta de gestión de gran importancia para la producción de planta forestal en contenedor. El gráfico 5 representa el contenido en nitrógeno respecto a los días de cultivo para las dos especies objeto de estudio.

La concentración de N está correlacionada positivamente con el crecimiento de la planta. Por lo tanto, una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno contribuiría a un aumento en la producción de biomasa. Tal es el caso de *P. pinaster* que muestra mayores valores de concentración de este macronutriente así como de biomasa al final del periodo de segui-

miento respecto a *P. menziesii*. Se puede observar una mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes para *P. pinaster* que para *P. menziesii*. Esto puede deberse a que el aprovechamiento de los nutrientes y la acumulación de estos sea mayor en *P. pinaster* que en *P. menziesii*. Durante la fase inicial *P. menziesii* crece lentamente, presenta un bajo consumo de nitrógeno, ya que generalmente utiliza menos del 20% de nitrógeno aplicado. De cualquier forma, los niveles óptimos de cada nutriente requeridos por las diferentes especies forestales producidas en contenedor necesitarán ajustarse para cada especie y condición de cultivo (Villar, 2003).



La relación de las concentraciones obtenidas al final del seguimiento fue de 2,6-3-4,5 para nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente en el caso de *P. menziesii* y de 2,5-3,3-4,2 para *P. pinaster*. Se puede constatar una tendencia positiva entre el aporte de N, P y K y el incremento de la concentración y contenido total de estos elementos en *P. menziesii*. Para *P. pinaster* la relación más clara se dio entre el aporte de estos macronutrientes y las concentraciones, no así para el contenido de los mismos. Resultados similares fueron obtenidos por Domínguez *et al* (2000), empleando *P. pinea*, al mostrar una relación de N y P directa entre el aumento de la dosis de los mismos y el incremento de la concentración y del contenido, mientras que en el caso del K dicho incremento sólo fue significativo para la concentración de este elemento en la parte aérea.

Los niveles de nutrientes de las plantas producidas en contenedor tienen una gran influencia en el crecimiento producido tras la plantación para muchas especies forestales. Las plantas que reciben una fertilización elevada y, por tanto, que presentan una concentración o un contenido de nutrientes minerales elevado en los tejidos suelen sobrevivir y crecer más después de la plantación que las poco fertilizadas y con un estado nutricional pobre. En *P. menziesii* se ha observado que los brinzales con mayor concentración de N foliar presentan una menor mortandad. En sentido contrario concentraciones muy elevadas de N en los tejidos pueden mermar el desarrollo en campo, probablemente por toxicidad y en algunas especies por un inadecuado endurecimiento frente las heladas (Villar, 2003).

A partir de los resultados obtenidos se han desarrollado calendarios de fertilización validados para su empleo a escala industrial en las dos especies seleccionadas como modelo y que se emplearán en próximas campañas de producción. Dentro de esta línea de trabajo seguiremos definiendo modelos de producción para otras especies como el abedul, el castaño, el pino radiata, etc.

Referencias bibliográficas

- DOMÍNGUEZ LERENA, S.; CARRASCO, I.; HERRERO, N.; OCAÑA, L.; NICOLÁS, J. L. y PEÑUELAS, J. L. 2000. Las características de los contenedores influyen en la supervivencia y crecimiento en campo de las plantas de *Pinus pinea* en campo. 1^{er} Simposio de pino piñonero (*Pinus pinea*) Valladolid, pp. 203-209.
- OLIET, J. A. 1997. Fertilización: Aspectos teóricos. Curso de producción de planta forestal en contenedor. Colegio I.T.F. Madrid, 13-17 Octubre. 1997.
- ORTEGA, U. 2006. Efecto de la gestión en vivero sobre las repoblaciones de *Pinus radiata* D. Don. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco. 159 p.
- THOMPSON, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking. Duryea, M.L. (ed.), Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Oregon State University, Corvallis. pp. 59-71.
- TIMMER, V. R.; AMSTRONG, G. y MILLER, B. D. 1991. Steady-state nutrient preconditioning and early outplanting performance of containerized black spruce seedlings. *Can J. For. Res.*, 21: 585-594.
- TIMMER, V. R. 1991. Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. En: Mineral Nutrition of Conifer seedlings. CRC Press.
- VILLAR-SALVADOR, P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. En: Rey-Benayas, J.M.; Espigares Pinilla, T. y Nicolau Ibarra, J.M. (ed.). Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. Universidad de Alcalá / Asociación Española de Ecología Terrestre.

Nota

- ¹ Este trabajo resume los resultados del proyecto de fin de Carrera de Paula Vallejo (Ingeniería Técnica en Explotaciones Forestales) y forman parte de los objetivos desarrollados dentro del proyecto europeo INTERREG DEFOR (SO2.1.3. F64, Demostración Forestal), cuyos objetivos son transferir a distintos agentes de la cadena de valor monte-industria resultados de investigación a través de experiencias piloto demostrativas. Dicho proyecto se estructura básicamente en torno a tres áreas de conocimiento: el manejo de materiales forestales, el control de calidad durante el proceso de producción de planta forestal en vivero y la optimización de sistemas de explotación en media montaña. A lo largo del desarrollo del proyecto los participantes pondrán en marcha los ensayos demostrativos en cada una de las áreas de conocimiento anteriormente citadas y realizarán jornadas de puertas abiertas a todos los socios de proyecto y a las empresas del sector de cada región europea. ■

