

Fertilización convencional y exponencial con diferentes dosis en plantas de *Pinus halepensis* y *Pinus nigra* cultivadas en contenedor

Inmaculada Carrasco Manzano, Juan L. Peñuelas Rubira, Luis F. Benito Matías, Pedro Villar Salvador, Susana Domínguez Lerena, Nieves Herrero Sierra, Juan L. Nicolás Peragón

Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo", Ministerio de Medio Ambiente, Apdo 249, 19080 Guadalajara. España. serranillo@dgc.n.mma.es

Resumen

Intentando conseguir una mayor eficacia del uso del fertilizante y una mayor reserva de nutrientes en las plantas, hemos adoptado el método de fertilización exponencial en plantas de *Pinus halepensis* y *Pinus nigra* cultivadas en contenedor. En el ensayo se han comparado dos formas de aportar los nutrientes: convencional y exponencialmente, y dos dosis diferentes aportadas de forma exponencial. Se observan diferencias en alturas y en la concentración de nutrientes entre las plantas fertilizadas con diferentes dosis, pero no aparecen diferencias entre las plantas fertilizadas por el método convencional y las fertilizadas exponencialmente con la misma dosis.

P.C.: fertilización exponencial, nitrógeno, nutrientes, crecimiento de plantas, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*

Summary

In order to improve plant fertilisation use efficiency in the nursery we have studied the influence of a exponential fertilisation regime on the development of *Pinus halepensis* and *P. nigra*. Fertilisation at a constant and an exponential rate were assessed. In addition, two fertilisation doses both supplied at an exponential rate were also studied. Differences in height and nutrient concentration related with fertilization doses were observed. However, given the same total amount of nutrients, no differences were observed between the seedlings grown under a constant and an exponential fertilisation regime.

K.W.: exponential fertilisation, nitrogen, nutrient, plant growth, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*

Introducción

El uso restrictivo de herbicidas químicos para controlar la vegetación adventicia en las plantaciones forestales de algunas regiones de Ontario, Canadá, provocó resultados poco satisfactorios en la regeneración de terrenos propensos a malas hierbas. En un esfuerzo por dirigir el problema, los investigadores se centraron en el desarrollo de técnicas culturales que aumentaran la competitividad en campo de la planta producida en contenedor, para reducir así la necesidad de controlar la vegetación adventicia. Se introducen por tanto nuevas prácticas nutricionales, como la fertilización exponencial y la sobrealimentación nutricional durante la fase de cultivo en vivero. La fertilización exponencial se diseña sobre el concepto del "estado regular de nutrientes", según el cual las plantas deben crecer con una concentración interna de nutrientes constante, libres de estrés nutricional (Ingsted y Lund, 1986). El crecimiento y la acumulación de nutrientes de las plantas fertilizadas convencionalmente aumenta de forma progresiva, pero la

concentración interna de nutrientes generalmente disminuye debido a la dilución por el crecimiento, lo que sugiere un estrés de nutrientes por exceso al inicio del período de crecimiento y una posible carencia al final. Ingestad y Lund (1986) afirman que el índice de adición de nutrientes, es decir, el aporte de nutrientes, que puede ser fácilmente manipulado en el manejo del cultivo, es el conductor variable del crecimiento y la nutrición de la planta y que el mantenimiento de contenidos constantes de nutrientes puede ser lograda mediante la fertilización con un aumento exponencial en la cantidad durante el período de crecimiento.

Intentando adaptar a nuestras especies las experiencias con modelos de fertilización exponencial en otros países, en el Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo” planteamos un ensayo en el que comparar un tratamiento de fertilización convencional habitual con otros tratamientos en los que la liberación de nutrientes se hacía de forma exponencial.

Material y métodos

El ensayo se llevó a cabo con dos especies de pinos, ambas cultivadas en contenedor:

- *Pinus halepensis*, de procedencia La Mancha, en envase Arnabat 48C, de 300 cm³.
- *Pinus nigra*, procedente del huerto semillero “El Serranillo”, en envase Arnabat 48A, termoconformado, de 250 cm³.

En ambas especies el sustrato utilizado es turba *Vapo* sin fertilizar. El cultivo se hace en el interior de invernadero durante la fase de germinación, saliendo después la planta al exterior. El diseño espacial del ensayo es en cuatro bloques, cada uno de ellos con dos bandejas por tratamiento y especie, colocadas de forma aleatoria.

Los tratamientos que vamos a comparar para cada especie son:

- 1) fertilización convencional con 75 mg de nitrógeno aportado a cada planta durante todo el cultivo, haciendo fertilizaciones semanales en un total de 20, en las que se aporta 3.75 mg de nitrógeno por planta;
- 2) fertilización exponencial con 75 mg de nitrógeno aportado a cada planta durante todo el cultivo, haciendo fertilizaciones semanales en un total de 20, en las que las cantidades aportadas van aumentando de forma exponencial;
- 3) fertilización exponencial de sobrecarga con 225 mg de nitrógeno aportado a cada planta durante todo el cultivo, haciendo fertilizaciones semanales en un total de 20, en las que las cantidades aportadas van aumentando de forma exponencial.

Para calcular las cantidades a aportar en cada una de las fertilizaciones en los tratamientos de fertilización exponencial se utilizó la ecuación propuesta por Timmer y Aidelbaum (1996).

En todos los casos las fertilizaciones se hicieron de forma manual, aportando a cada planta su dosis correspondiente de fertilizante mediante una pistola dosificadora.

Al final del cultivo se midieron Las variables: altura, diámetro y pesos secos y se analizaron el contenido de nutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio. También se realizó un potencial de regeneración de raíces, con 12 plantas por tratamiento, y pruebas de helada, alcanzando en ambas especies -12°C.

Resultados y discusión

Los análisis de morfología ofrecen pocas diferencias entre los distintos tratamientos en alturas, diámetros y pesos secos al final del cultivo, tanto en *P. halepensis* como en *P. nigra*.

En el caso de *P. halepensis* (Figura 1), existen diferencias estadísticamente significativas entre la altura de las plantas fertilizadas con sobrecarga y las plantas fertilizadas con 75 mg de N en todo el cultivo, ya sea de forma convencional o exponencial. La diferencia media es de más de un centímetro, siendo más altas las plantas del tercer tratamiento, lo cual parece lo más lógico ya que han recibido muchos más nutrientes. Sin embargo, no se observan diferencias entre los tratamientos en el caso del diámetro medido en el cuello de la raíz. El índice H/D, altura/diámetro, (Tabla 1) establece diferencias entre el tratamiento exponencial y el exponencial con sobrecarga, pero sin diferencias significativas entre cada uno de estos tratamientos y el convencional. En cuanto a los pesos secos, la media de los pesos secos radicales no muestra diferencias significativas entre ningún tratamiento y las medias de los de la parte aérea muestran diferencias entre el tratamiento sobrecarga y los otros dos tratamientos, al igual que en el caso de la variable altura. La diferencia entre estos tratamientos se repite en los índices PSA/PSR y PSR/PST.

Con *P. nigra* (Figura 2) no hay diferencias significativas entre los tratamientos, ni en altura ni en diámetro; tampoco en el caso del peso seco de la parte aérea, pero sí se muestran diferencias entre el tratamiento de sobrecarga y los otros tratamientos en los pesos del sistema radicular (PSR), siendo menor la media de peso en el tratamiento sobrecarga. Esta diferencia hace que los índices PSA/PSR y PSR/PST (Tabla 2) también muestren diferencias estadísticamente significativas entre los mismos tratamientos.

Tanto en *P. halepensis* como en *P. nigra* el tratamiento de sobrecarga presenta mayor descompensación entre la parte aérea de la planta y la parte radical, en el primer caso por ser mayor la parte aérea y en el segundo por ser más pequeño el sistema radicular. Podemos aventurar en el caso del pino carrasco un consumo excesivo de nitrógeno, sin llegar a alcanzar el nivel de toxicidad, que sí puede haberse dado en *P. nigra*, inhibiendo el completo desarrollo de las raíces.

Para las dos especies estudiadas vemos que no existen diferencias morfológicas estadísticamente significativas entre los tratamientos convencional y exponencial, lo que contrasta con los resultados obtenidos por Timmer y Armstrong (1987) en *P. resinosa*, con crecimientos superiores en las plantas de los regímenes exponenciales.

Respecto a la analítica del contenido de nutrientes, los resultados obtenidos al final del cultivo en el caso de *P. halepensis* nos dicen que existen diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de nitrógeno entre el tratamiento de sobrecarga y los otros dos tratamientos, tanto en la parte aérea como en la parte radical (Figura 3); la misma diferencia se da respecto a la concentración de fósforo en la parte radical, siendo diferentes en la parte aérea los tratamientos convencional y exponencial, mientras que el de sobrecarga no presenta diferencias con ninguno de los dos. En el caso del potasio, las diferencias se dan entre el tratamiento de sobrecarga y los tratamientos convencional y exponencial, tanto en la parte aérea como en la parte radical. En general la concentración de nutrientes siempre es mayor en el caso del tratamiento de sobrecarga, cosa lógica por otra parte, salvo en el caso del fósforo en la parte aérea. En cuanto al contenido total de nutrientes (Tabla 3), se mantienen las mismas diferencias entre tratamientos, salvo en el caso del fósforo en la parte aérea, que no muestra ninguna diferencia, y en el caso del potasio del

sistema radical, en que el tratamiento convencional es estadísticamente diferente del tratamiento sobrecarga, pero ninguno de los dos presenta diferencias con el tratamiento exponencial.

En el caso de *P. nigra* los datos de concentración de nutrientes al final del cultivo (Figura 4) nos muestran diferencias entre el tratamiento sobrecarga y los demás en la concentración de nitrógeno, tanto en la parte aérea como en la parte radical, y también en el caso de la concentración de fósforo y potasio en la parte aérea. El fósforo en la parte radical muestra diferencias entre todos los tratamientos, siendo máxima la concentración en el tratamiento de sobrecarga y mínima en el tratamiento de fertilización convencional. Respecto del potasio en el sistema radical no se muestran diferencias entre los tratamientos. Los resultados son similares cuando comparamos contenidos totales de nutrientes (Tabla 4).

Los resultados del potencial de regeneración de raíces para *P. halepensis* y *P. nigra* pueden verse en las figuras 5 y 6 respectivamente. En la primera de las especies no hay diferencias estadísticamente significativas en cuanto al número de raíces entre los tres tratamientos; tampoco las hay en la comparación de la longitud total de raíces ni en los pesos secos de éstas. Los datos para *P. nigra* nos muestran diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento de sobrecarga y los demás respecto del número y longitud de raíces, así como en el peso seco radical. Podemos ver cómo el número de raíces formadas en las plantas de *P. nigra* fertilizadas con sobrecarga es muy pequeño, lo que nos hace abundar en la idea de una posible toxicidad por exceso de nutrientes.

Las pruebas de helada no provocaron daños en ninguno de los tratamientos de ninguna de las dos especies, por lo que podemos deducir que los diferentes modelos de fertilización no influyen en la resistencia al frío de ambas especies, al menos con las temperaturas alcanzadas (hasta -12°C).

Conclusiones

Morfológicamente no se dan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos convencional y exponencial en ninguna de las dos especies estudiadas. En *P. halepensis* el tratamiento de sobrecarga ofrece plantas con su parte aérea más desarrollada; no así la parte radical, lo cual implica un cierto grado de descompensación entre ambas partes en este tratamiento. En *P. nigra* también se observa descompensación en el tratamiento sobrecarga, pero en este caso debido a la presencia de un sistema radicular más reducido, posiblemente por haber llegado a niveles de toxicidad.

Respecto a la concentración y contenido de nutrientes, tanto en el pino carrasco como en el pino laricio apenas se observan diferencias entre los tratamientos convencional y exponencial. Por otra parte, como era previsible, las concentraciones y los contenidos de nutrientes fueron significativamente superiores en el tratamiento sobrecarga.

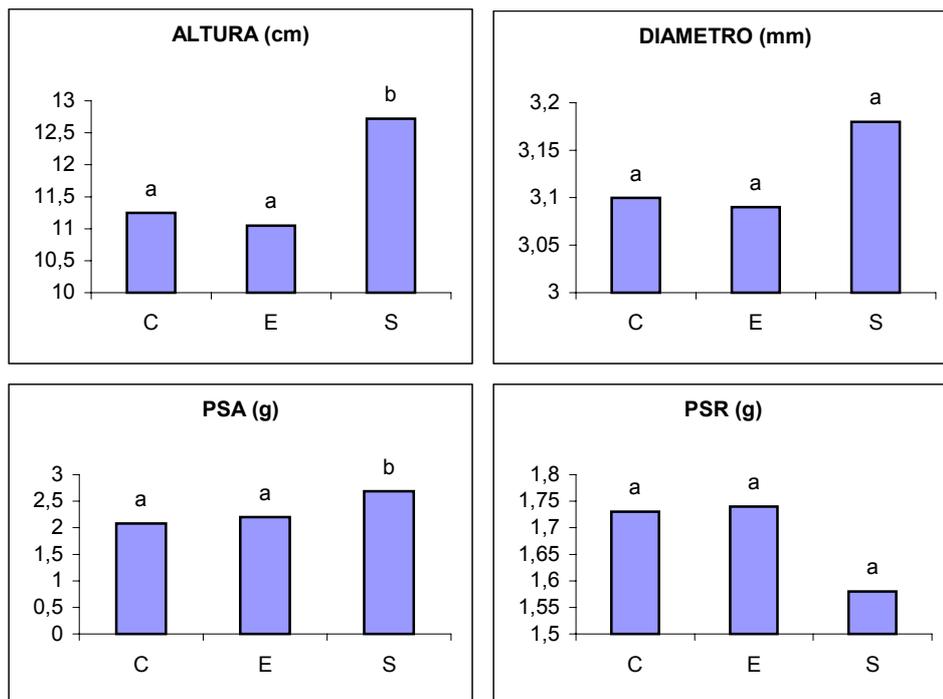


Figura 1.- Medias de los datos tomados al final del cultivo para cada tratamiento en *Pinus halepensis*. C: convencional; E: exponencial; S: sobrecarga.

Tabla 1.- Medias de los índices morfológicos al final del cultivo para cada tratamiento en *Pinus halepensis*. H: altura (cm); D: diámetro (mm); PSA: peso seco de parte aérea (g); PSR: peso seco radical (g).

Fertilización	H/D	PSA/PSR	PSR/PST
Convencional	3.65 ab	1.23 a	0.45 a
Exponencial	3.59 a	1.29 a	0.44 a
Sobrecarga	4.01 b	1.74 b	0.37 b

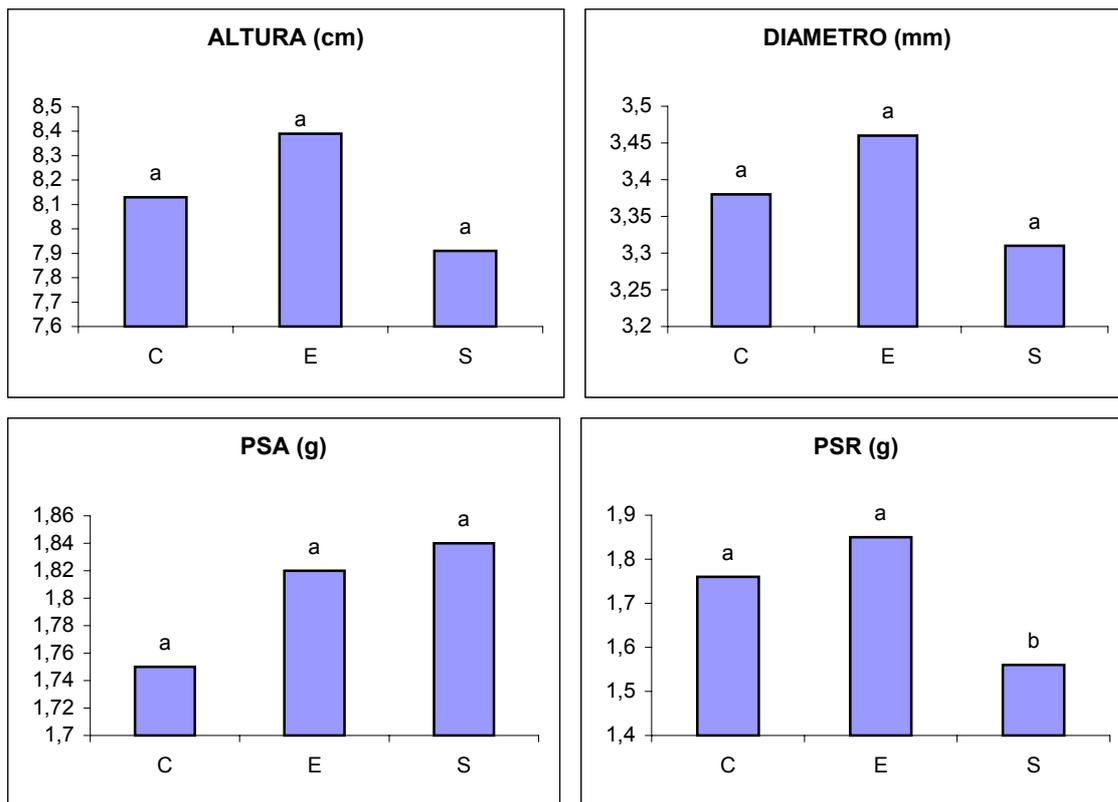


Figura 2.- Medias de los datos tomados al final del cultivo para cada tratamiento en *Pinus nigra*. C: convencional, E: exponencial, S: sobrecarga.

Tabla 2. Medias de los índices morfológicos al final del cultivo para cada tratamiento en *Pinus nigra*. H: altura (cm); D: diámetro (mm); PSA: peso seco de parte aérea (g); PSR: peso seco radical (g).

Fertilización	H/D	PSA/PSR	PSR/PST
Convencional	2.41 a	0.99 a	0.50 a
Exponencial	2.44 a	0.99 a	0.50 a
Sobrecarga	2.40 a	1.19 b	0.46 b

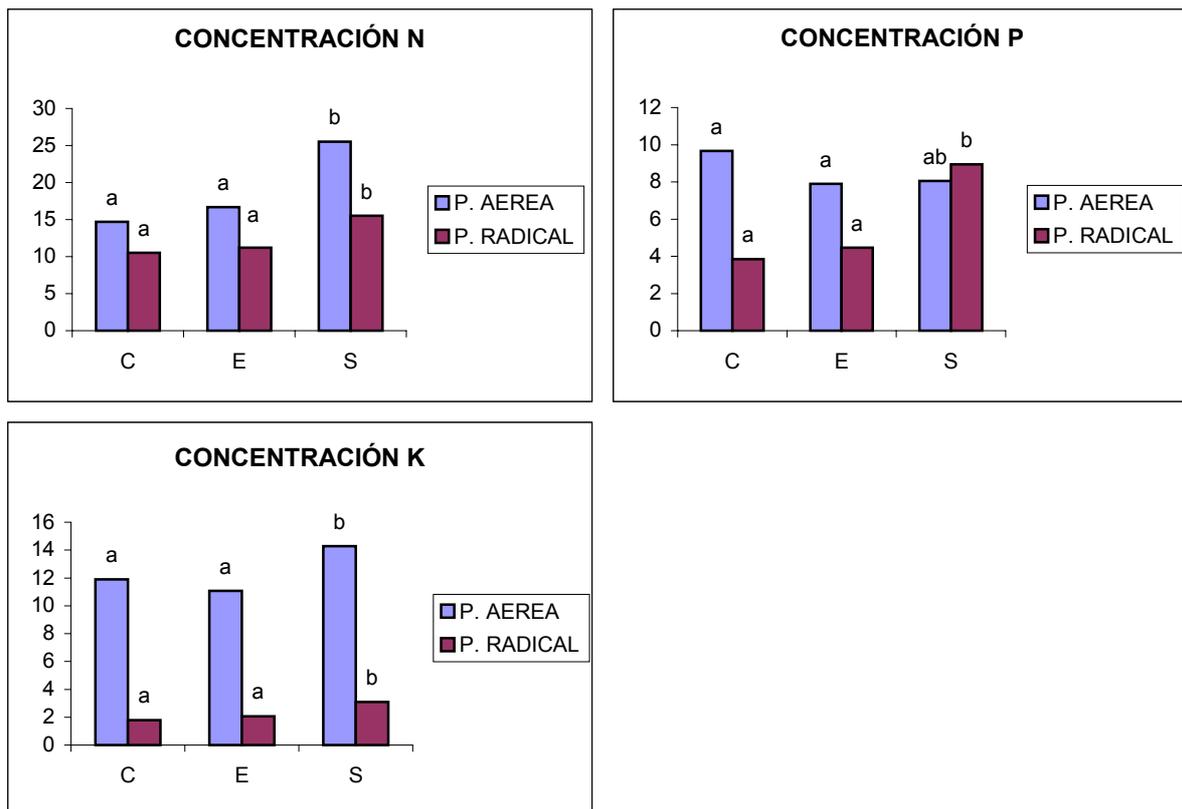


Figura 3.- Concentración de nutrientes (mg/g) al final del cultivo para cada tratamiento en *Pinus halepensis*.

Tabla 3.- Resultados de contenido total (CT) de nutrientes (N, P, K) al final del cultivo para cada tratamiento en *Pinus halepensis*. A: parte aérea; R: parte radical.

Fertilización	CTNA (mg)	CTNR (mg)	CTPA (mg)	CTPR (mg)	CTKA (mg)	CTKR (mg)
Convencional	30.44 a	18.23 a	19.94 a	6.67 a	24.75 a	3.08 a
Exponencial	36.83 a	19.52 a	17.29 a	7.77 a	24.01 a	3.60 ab
Sobrecarga	68.93 b	24.45 b	21.69 a	14.12 a	38.59 b	4.86 b

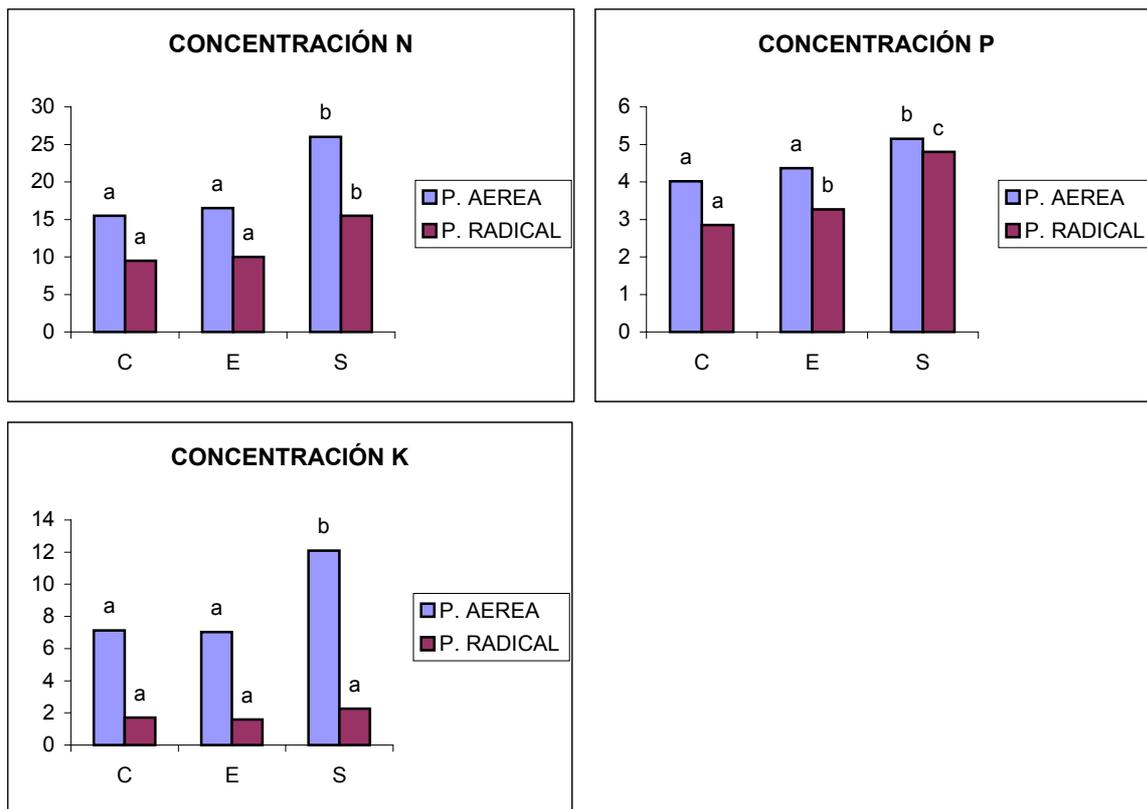


Figura 4.- Concentración de nutrientes (mg/g) al final del cultivo para cada tratamiento en *Pinus nigra*

Tabla 4.- Resultados de contenido total (CT) de nutrientes (N, P, K) al final del cultivo para cada tratamiento en *Pinus nigra*. A: parte aérea; R: parte radical.

Fertilización	CTNA (mg)	CTNR (mg)	CTPA (mg)	CTPR (mg)	CTKA (mg)	CTKR (mg)
Convencional	27.16 a	16.67 a	7.07 a	5.01 a	12.48 a	2.99 a
Exponencial	30.16 a	18.49 a	7.99 a	6.06 b	12.81 a	2.93 a
Sobrecarga	47.92 b	24.14 b	9.47 b	8.03 c	22.21 b	3.52 a

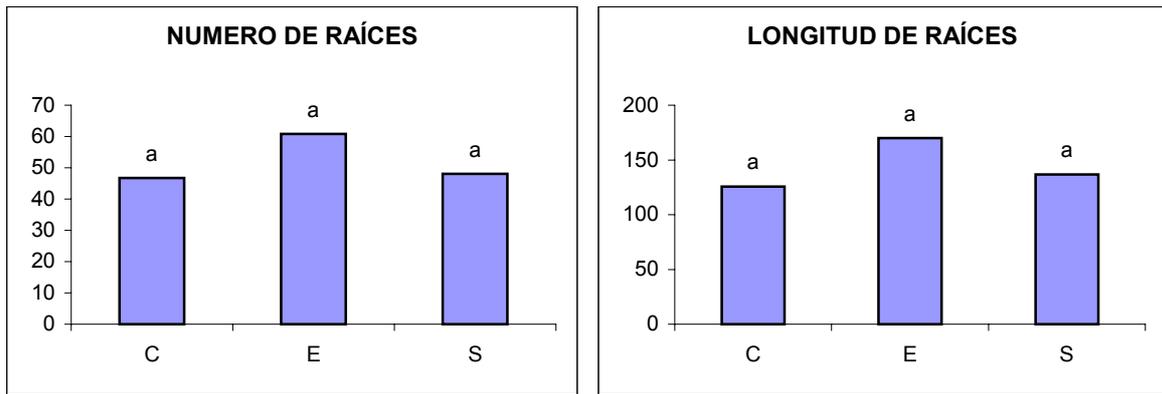


Figura 5.- Resultados del test de regeneración de raíces (medias) en *Pinus halepensis*.

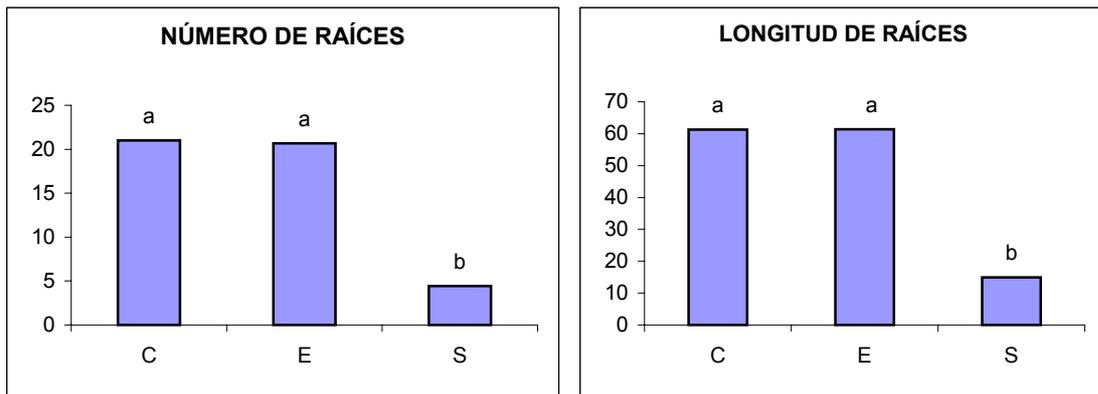


Figura 6. Resultados del test de regeneración de raíces (medias) en *Pinus nigra*.

Bibliografía

INGESTAD, T. y LUND, A.B.; (1986). *Theory and techniques for steady-state mineral nutrition and growth of plants*. Scan. J. For. Res. 1: 439-453.

TIMMER, V.R. y ARMSTRONG, G. (1987). *Growth and nutrition of containerized Pinus resinosa at exponentially increasing nutrient additions*. Canadian Journal of Forestry Research. 17: 644-647.

TIMMER, V.R. y AIDELBAUM, A.S.; (1996). *Manual for exponential nutrient loading of seedlings to improve outplanting performance on competitive forest sites*. Noda/nfp technical report tr-25.