



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

Efectos de la fertilización de establecimiento en plantaciones de *Pinus pinaster*

PRADA, E.¹, GÓMEZ GARCÍA E.¹, FRADE, S.¹ y DÍAZ VÁZQUEZ, R.¹

¹ Departamento de Silvicultura e Mellora. Centro de Investigación Forestal de Lourizán. Xunta de Galicia.

Resumen

La fertilización en el momento de establecer una plantación forestal es una medida silvícola que favorece el crecimiento inicial de las plantas. Nuestro objetivo es determinar la dosis que se debe aplicar durante la fase de establecimiento de una plantación de pino pinaster con la mejor combinación de los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio. El diseño experimental consta de 4 bloques completos aleatorizados, con triple factorial (nutrientes N, P y K) y 4 niveles para cada uno (4 dosis de cada nutriente), consecuentemente, cada ensayo consta de 64 tratamientos. La unidad experimental es de 4 plantas. Se establecieron ensayos en 2 sitios en Galicia. Tras el primer año, se observó que altas dosis de nitrógeno dieron lugar a altas tasas de mortalidad. Dosis altas de fósforo y potasio no afectaron a la supervivencia. No se observaron interacciones entre nutrientes. Durante los 3 primeros años de crecimiento se mantuvo la tendencia de que mayor dosis de nitrógeno producía menor altura media. Inversamente, se observó que al añadir fósforo la altura media se incrementó, sin diferencias entre las dosis aplicadas. Como conclusión, se recomienda realizar una fertilización de establecimiento en plantaciones localizadas en sitios de buena calidad de estación para la especie, empleando un fertilizante sin N.

Palabras clave

Macronutrientes, pino, plantación, crecimiento inicial, productividad.

1. Introducción

Pinus pinaster Ait. es una conífera distribuida ampliamente en los países del Mediterráneo occidental, siendo una de las principales especies forestales de Francia, Portugal y España, gracias a sus beneficios económicos, ambientales y sociales.

En Galicia (NO de España), así como en áreas cercanas del norte y centro de Portugal, el área cubierta por *P. pinaster* ha disminuido en las últimas décadas debido a que, en su lugar, los propietarios forestales deciden plantar eucalipto, entre otros motivos, por la buena rentabilidad que presenta esta especie (Marey-Pérez et al. 2017). En la actualidad, se están llevando a cabo varias iniciativas para revertir la recesión de los pinos en Galicia. Ya se dispone de un elevado número de materiales genéticos mejorados de *P. pinaster*, lo que puede hacer aumentar su productividad y mejorar la calidad de su madera. Sin embargo, para lograr el potencial de este material en plantaciones sostenibles de alta productividad, es necesario un manejo forestal óptimo en todo su ciclo de vida. El momento de la plantación es el que requiere la mayor inversión de recursos. Una de las prácticas comunes en este momento es realizar una fertilización de establecimiento utilizando fertilizante triple tipo NPK (Merino et al. 2005), con el objetivo de reducir la muerte de las plántulas, aumentar su crecimiento y mejorar las concentraciones de nutrientes en sus hojas (Bará, 1990; Basurco et al., 2001).

En todo el mundo, ya se han realizado varios experimentos de investigación sobre fertilización en especies forestales (Bará, 1990; Basurco et al., 2001), incluida también *P. pinaster* (Trichet et al. 2009). Sin embargo, hasta donde sabemos, ninguno de los estudios publicados ha considerado para *P. pinaster* un análisis factorial triple N-P-K con cuatro niveles cada uno (resultando en 64 tratamientos de fertilizantes diferentes) y replicado en varios sitios.

2. Objetivos

El objetivo general del presente estudio es determinar la composición y dosis de fertilización de establecimiento en plantaciones de *P. pinaster* en el NO de España utilizando material genético mejorado. Los objetivos concretos son:

(i) evaluar los efectos de cada nutriente y la combinación entre ellos; y (ii) determinar la duración del efecto de la fertilización de establecimiento para coordinar las posibles fertilizaciones recurrentes.

3. Metodología

El estudio se llevó a cabo en dos emplazamientos ubicados en Galicia (Figura 1). Los ensayos de fertilización se establecieron en el año 2016 en Frades (FRA) y en 2018 en Dozón (DOZ), utilizando plántulas de 1 año germinadas en contenedor. Para evitar efectos genéticos, el material de estudio consistió en una única familia de polinización abierta del programa de mejora genética gallego de *P. pinaster* desarrollado por el Centro de Investigación Forestal de Lourizán. La preparación del sitio consistió en la limpieza de matorral y realización de un subsolado lineal, y un marco de plantación de 4x2 m, resultando en 1250 plantas ha⁻¹. Los dos sitios tienen suelos forestales ácidos sobre esquistos, con baja concentración de nutrientes y alto contenido de materia orgánica (Figura 1). El clima se caracteriza en ambos sitios por temperaturas suaves con baja fluctuación y alta precipitación anual, no obstante, DOZ presenta mayor número de horas de frío anual y sequía estival durante los meses de julio y agosto.

El diseño experimental en cada sitio consistió en un diseño factorial de bloques completamente al azar con cuatro bloques, tres factores y cuatro niveles con las dosis de fertilización (factores: nutrientes N, P, K, niveles: FRA= 0, 20 40 y 60 g planta⁻¹; DOZ= 0, 10, 20 y 40 g planta⁻¹). La unidad experimental por tratamiento fue decuatro árboles continuos por cada bloque. Los tratamientos (combinaciones nutriente-dosis de fertilización) se asignaron al azar dentro de cada bloque. La fertilización se aplicó a mano alrededor de cada plántula justo después de la siembra. En resumen, el diseño experimental incluye 64 tratamientos, aplicados a cuatro plantas en cuatro bloques que dan como resultado 1024 plantas por sitio experimental.

Las variables estudiadas fueron la supervivencia tras el primer periodo de crecimiento y el crecimiento anual en altura. Se midió la altura total de las plantas vivas, usando un telescopio, en el momento de la plantación (marzo) y tras el período de crecimiento (noviembre-diciembre).

Todos los análisis se realizaron utilizando el software SAS (SAS Institute Inc. 2014). Se comprobó la normalidad y la homogeneidad de la varianza de las variables y se realizaron transformaciones cuando fue necesario para cumplir con los supuestos estadísticos subyacentes de los modelos. Las variables que mostraron distribuciones espaciales no aleatorias en las parcelas evaluadas, fueron corregidas mediante el método ISA para eliminar la autocorrelación espacial (Zas, 2006).

Para estimar los efectos de los nutrientes en la supervivencia y en las variables de crecimiento en altura, estos se analizaron asumiendo un diseño factorial de bloques completamente al azar. Se llevó a cabo un análisis para los sitios en conjunto teniendo en cuenta las dosis comunes en ambos, utilizando el siguiente modelo mixto:

$Y_{ijklmn} = \mu + S_i + N_j + P_k + K_l + B_m(S_i) + NP_{jk} + NK_{jl} + PK_{kl} + SN_{ij} + SP_{ik} + SK_{il} + NPK_{jkl} + \epsilon_{ijklmn}$, donde S_i es el efecto del sitio i ; N_j , P_k , K_l son los efectos de los nutrientes j , k , l ; $B_m(S_i)$ es el efecto del bloque m dentro del sitio i , y el resto de los componentes del modelo son las interacciones correspondientes y ϵ_{ijklmn} es el error aleatorio experimental.

Los modelos se analizaron con los procedimientos GLIMMIX para la supervivencia y MIXED para el crecimiento anual en altura, del Sistema SAS (SAS Institute Inc. 2014), considerando todos los

factores fijos excepto el bloque. La comparación estadística de las medias de los tratamientos se realizó utilizando la declaración LSMEAN del procedimiento MIXED en SAS. Se utilizó la prueba de Tukey para distinguir entre las medias individuales cuando correspondía a un nivel de significación de $P < 0,05$.

4. Resultados

Las diferentes dosis aplicadas de cada uno de los nutrientes estudiados tuvieron un efecto significativo en la supervivencia (Tabla 1). El efecto de los tratamientos con N (Figura 2A) o con K_2O (Figura 2C) fue negativo para todas las dosis estudiadas, mientras que el efecto de los tratamientos con P_2O_5 fue positivo, siendo las dosis de 20 y 40 g planta⁻¹ estadísticamente iguales entre ellas (Figura 2B). Las interacciones de segundo y tercer orden entre nutrientes no fueron significativas en ningún caso, así como tampoco se observaron interacciones de los nutrientes con los sitios (Tabla 1).

El análisis conjunto de los sitios mostró que el primer año de crecimiento fueron significativos los tratamientos con diferentes dosis de N, P_2O_5 y K_2O (Tabla 1). El efecto de los tratamientos con N fue negativo para todas las dosis estudiadas (Figura 3A). El efecto de los tratamientos con P_2O_5 fue positivo, siendo las dosis de 20 y 40 g planta⁻¹ estadísticamente iguales entre ellas (Figura 3B). El efecto de los tratamientos con K_2O fue positivo, siendo 20 g planta⁻¹ la dosis con mejores resultados para el crecimiento (Figura 3C). No se encontraron diferencias significativas para las interacciones entre nutrientes, pero sí para las interacciones de N y P_2O_5 con el sitio (Tabla 1, Figura 4). Se observó que para el N el efecto es negativo para todas las dosis en ambos sitios, pero solo es estadísticamente significativo en Frades (Figura 4A). Asimismo, el efecto de la dosis de 20 g planta⁻¹ de P_2O_5 es positivo en ambos sitios, pero solo es estadísticamente significativo en Frades y la dosis de 40 g planta⁻¹ de P_2O_5 no aumenta el crecimiento respecto a la de 20 g planta⁻¹ en Frades e incluso se observa que en Dozón esta dosis empeora el crecimiento respecto a los tratamientos sin fertilizar (Figura 4B).

El tercer año de crecimiento encontramos que hay interacción significativa entre de N y K_2O (Tabla 1), sin embargo, ninguna combinación de las dosis estudiadas de estos nutrientes resulta significativamente diferente de la combinación 0-0 g planta⁻¹ N · K_2O . Los tratamientos con dosis de 20 g planta⁻¹ de P_2O_5 son marginalmente significativos respecto a los tratamientos sin este nutriente (Figura 5). Además, se observaron interacciones de P y K_2O con el sitio (Tabla 1).

La evolución que ha tenido el crecimiento anual de uno de los tratamientos con buena respuesta en ambos sitios, tratamiento 0-20-0 (20 g planta⁻¹ de P_2O_5 sin N ni K_2O), ha mostrado que en el sitio de mejor estación (FRA) el primer año se obtuvo un crecimiento 47% mayor frente al tratamiento sin fertilizar, y de un 14% más en el tercer crecimiento. Sin embargo, en el sitio de peores condiciones para la especie (DOZ) el primer crecimiento fue un 26% mayor que el tratamiento sin fertilizar y el tercer crecimiento un 23% (Figura 6).

5. Discusión

La respuesta de la supervivencia y del crecimiento anual en altura a los tratamientos de fertilización con P ha sido en general positiva, mientras que la respuesta de estas variables a los tratamientos con N ha sido mayoritariamente negativa. Además, se ha observado que el efecto de K sería ligeramente negativo para la supervivencia y positivo para el crecimiento de la especie. Estos resultados concuerdan con lo esperado, ya que P es una de las deficiencias nutricionales más comunes de los suelos forestales del NO de España, la disponibilidad de K también puede ser insuficiente, aunque en menor medida, mientras que el contenido de N suele ser alto o incluso excesivo (Zas y Serrada, 2003; Merino et al., 2003; Sánchez-Rodríguez et al., 2002).

Este estudio muestra que no tiene sentido seguir aplicando el método de fertilización más común llevado a cabo en el establecimiento de una plantación forestal en el NO de España, así como en otras partes del mundo, que consiste en una sola aplicación de fertilizante tipo NPK (Schönau et al., 1989, Merino 2005). En general, se ha observado que la aplicación de N no solo no es favorable, sino que incluso puede ser perjudicial para la supervivencia y el crecimiento de *P. pinaster* en Galicia. Además, prescindiendo de la aplicación de N estamos evitando efectos ecológicos adversos, como pueden ser el aumento de la deposición de N, la intensificación del efecto invernadero, la acidificación del suelo y la eutrofización de las masas de agua (Liu et al., 2013; Zhu y Zhang, 2017). El efecto positivo en la supervivencia y en el crecimiento, que ha tenido la fertilización con P en los suelos ácidos francos gallegos, en planta de pinaster mejorada genéticamente, concuerda con las prácticas de fertilización de esta especie llevadas a cabo en los suelos ácidos arenosos de las Landas en Francia (Trichet et al., 2009). En nuestro caso, se ha observado que dosis de 40 g planta⁻¹ no mejoran el crecimiento respecto a dosis de 20 g planta⁻¹ y que, además, el efecto de estos tratamientos puede ser mucho menor en el tercer período de crecimiento, tal y como han constatado otros autores (Zas y Serrada, 2003; Merino et al., 2003).

La aplicación de la fertilización fosfatada no se debe recomendar como práctica rutinaria en todos los suelos gallegos, ya que su efecto depende en todo caso de las condiciones de estación. De esta manera, solo sería rentable el uso de fertilizantes con P en los sitios de alta, o al menos media, calidad de estación para la especie. En todo caso, para que sea efectiva, la fertilización del establecimiento debe combinarse con un control efectivo de cualquier competencia de vegetación hasta el cierre del dosel (Trichet et al., 2008; Varela, 1995).

6. Conclusiones

Las variables de supervivencia y crecimiento anual en plantaciones de *P. pinaster* con material genéticamente mejorado se ven significativamente afectadas por la fertilización de establecimiento con los macronutrientes N, P y K. El efecto general de N fue negativo, el de P positivo, mientras que el de K fue ligeramente negativo para la supervivencia y positivo para el crecimiento. Además, se ha encontrado que aumentar la dosis de un nutriente, aunque este sea favorable, más allá de una dosis idónea para la especie, no implica que sus beneficios vayan a seguir aumentando. El efecto de la fertilización inicial parece que disminuye de forma considerable en el tercer período de crecimiento en los sitios de buena calidad de estación.

Las diferencias de productividad encontradas en las plantaciones de este estudio se pueden atribuir a la altitud, la duración del período de sequía y el número de horas de frío. Los datos obtenidos indican la necesidad de realizar una buena selección del sitio y solo fertilizar cuando este presente buenas condiciones para el crecimiento de la especie. Parece que los tratamientos de fertilización NPK utilizados actualmente en las plantaciones de pino pueden no ser los adecuados para los primeros años tras su establecimiento y probablemente no serán suficientes para su desarrollo posterior. Por ello, se deben seguir realizando ensayos con aplicaciones de fertilizantes con un rango amplio de dosis de nutrientes y repetidas a lo largo del tiempo para continuar este estudio.

7. Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por las acciones PTT2020/154 y AC2021 L-03 de la Xunta de Galicia, cofinanciadas por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), Xunta de Galicia y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Agradecemos a la empresa FINSA S.L. su colaboración permitiendo el establecimiento de las parcelas experimentales en su propiedad, así como a sus trabajadores Carlos Iglesias Dapena y al personal de campo por su ayuda en el establecimiento de las mismas y en la toma de datos de campo.

8. Bibliografía

BARÁ, S.; 1990. Fertilización forestal. Consellería de Agricultura, Gandería e Montes, Xunta de Galicia.

BASURCO, F.; NORIEGA, M.; ROMERAL, L.; TOVAL, G.; 2001. Ensayos de fertilización localizada en masas clonales de *Eucalyptus globulus* en el momento de la plantación en la provincia de A Coruña. III Congreso Forestal Español, mesa 3. pp. 671–675.

KEAY, J.; TURTON A.G.; CAMPBELL, N.A.; 1968. Some effects of nitrogen and phosphorus fertilization of *Pinus pinaster* in Western Australia, *For. Sci.* 14, 408–417.

LIU, X. J.; ZHANG, Y.; HAN, W. X.; TANG, A. H.; SHEN, J. L.; ZHANG, F. S.; et al.; 2013. Enhanced nitrogen deposition over China. *Nature* 494, 459–462. doi: 10.1038/nature11917

MAREY-PÉREZ, M.F.; BRUÑA-GARCÍA, X.; PICOS-MARTÍN, J.; RODRÍGUEZ-VICENTE, V.; 2017. Eucalyptus y Planificación Forestal: El Caso de Galicia. En 7º Congreso Forestal Español: gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía, 26-30 de junio, Plasencia, Cáceres, Spain

MERINO, A.; BALBOA, M.A.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; 2005. Nutrient exports under different harvesting regimes in fast-growing forest plantations in southern Europe. *For. Ecol. Manage.* 207, 325–339.

MERINO, A.; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, A.; BRAÑAS, J.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2003. Nutrition and growth in newly established plantations of *Eucalyptus globulus* in Northwestern Spain. *Ann. Forest Sci.* 60, 509–517.

SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, F.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; ESPAÑOL, E.; LÓPEZ, C.A.; MERINO, A.; 2002. Influence of edaphic factors and tree nutritive status on the productivity of *Pinus radiata* D. Don plantations in northwestern Spain. *For. Ecol. Manag.* 171, 181-189.

SAS Institute Inc. 2014. SAS/STAT® 13.2 User's Guide. Cary, NC, USA.

SCHÖNAU, A.P.G.; HERBERT, M.A.; 1989. Fertilizing eucalypts at plantation establishment, *For. Ecol. Manage.* 29, 21–244.

TRICHET, P.; BAKKER, M.; ALAZARD, P.; MERZEAU, D.; SAUR, E.; 2009. Fifty Years of Fertilization Experiments on *Pinus pinaster* in Southwest France: The Importance of Phosphorus as a Fertilizer. *For. Sci.* 55, 390-402.

TRICHET, P.; LOUSTAU, D.; LAMBROT, C.; LINDER, S.; 2008. Manipulating nutrient and water availability in a maritime pine plantation: Effects on growth, production, and biomass allocation at canopy closure. *Ann. For. Sci.* 65. 814.

VARELIDES, C.; KRITIKOS, T.; 1995. Effect of site preparation intensity and fertilization on *Pinus pinaster* survival and height growth on three sites in northern Greece. *For.Ecol. Manage.* 73, 111-115

ZAS, R.; 2006. Iterative Kriging for Removing Spatial Autocorrelation in Analysis of Forest Genetic Trials. *Tree Genetics and Genomes* 2(4), 177-85.

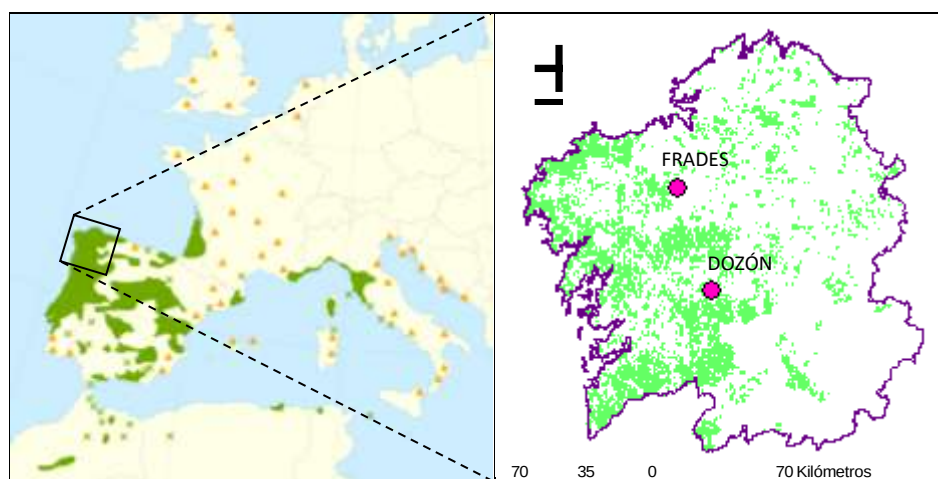
ZAS, R.; SERRADA, R.; 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in northwest Spain. *For. Ecol. Manage.* 174, 167-176.

ZHU, L. X.; ZHANG, W.; 2017. Effects of controlled-release urea combined with conventional urea on nitrogen uptake, root yield, and quality of *Platycodon grandiflorum*. *J. Plant Nutr.* 40, 662-672. doi: 10.1080/01904167.2016.1249799

Tabla 1. Resumen del modelo estadístico del análisis conjunto de dos sitios para la supervivencia (Sup) y crecimiento anual del primer (C1) y tercer (C3) año para plántulas de *P. pinaster*.

	Sup	C1	C3
Sit	5,22 ^a	12,66*	635,48***
N	53,14***	25,73***	5,14**
P ₂ O ₅	9,03***	28,14***	2,97 ^a
K ₂ O	5,84**	5,96**	2,99 ^a
N* P ₂ O ₅	n.s.	n.s.	n.s.
N* K ₂ O	n.s.	n.s.	2.43*
P* K ₂ O	n.s.	n.s.	n.s.
Sit*N	n.s.	3,90*	n.s.
Sit* P ₂ O ₅	n.s.	32,04***	4,47*
Sit* K ₂ O	n.s.	n.s.	3.36*

Sup: Supervivencia, C1: Crecimiento en primer año, C3: Crecimiento en tercer año. Sit: Sitio de ensayo
Niveles de significación: *** = P < 0,001; ** = P < 0,01; * = P < 0,05; ^a = P < 0,1; n.s.= no significativo



SITIO	Alt. (m)	Litología	Textura	pH	C/N	P(ppm)	K(ppm)	PMA (mm)	TMA (°C)	Horas frío
FRADES	375	Esquistos	Franca	4,67	17,5	3,0	84	1574	11,8	135,2
DOZÓN	770	Esquistos	Franca	4,69	13,7	3,5	43	1275	11,7	174,1

Figura 1. Localización y características de suelo y climáticas de los sitios de ensayo. Alt= altitud, P: concentración de fósforo, K concentración de potasio, PMA: Precipitación media anual, TMA= Temperatura media anual.

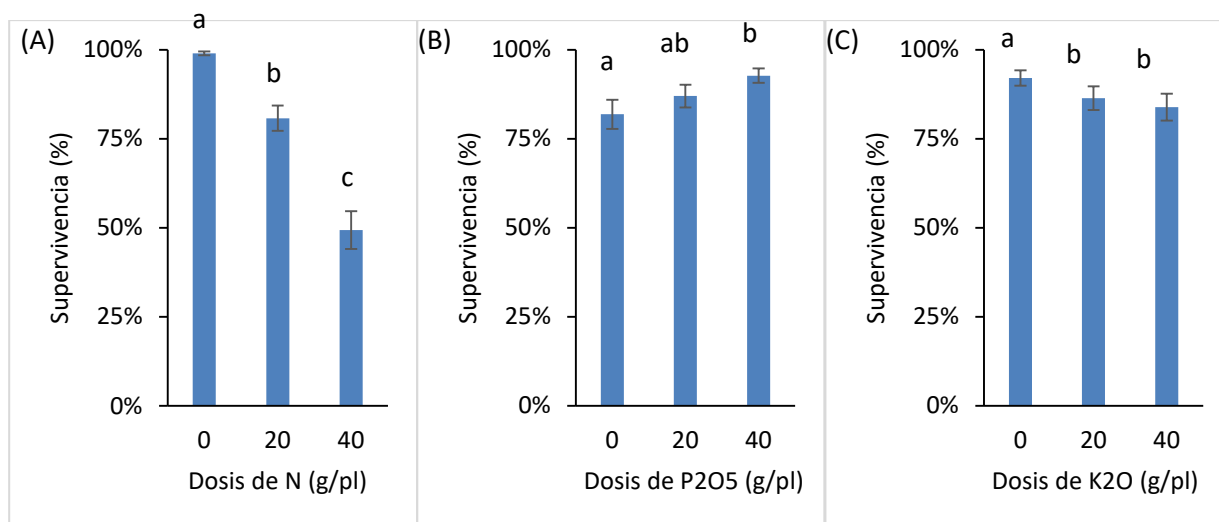


Figura 2. Supervivencia tras el primer periodo de crecimiento para las distintas dosis de aplicación de cada nutriente, (A) Nitrógeno, (B) P2O5, (C) K2O. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre dosis del mismo nutriente.

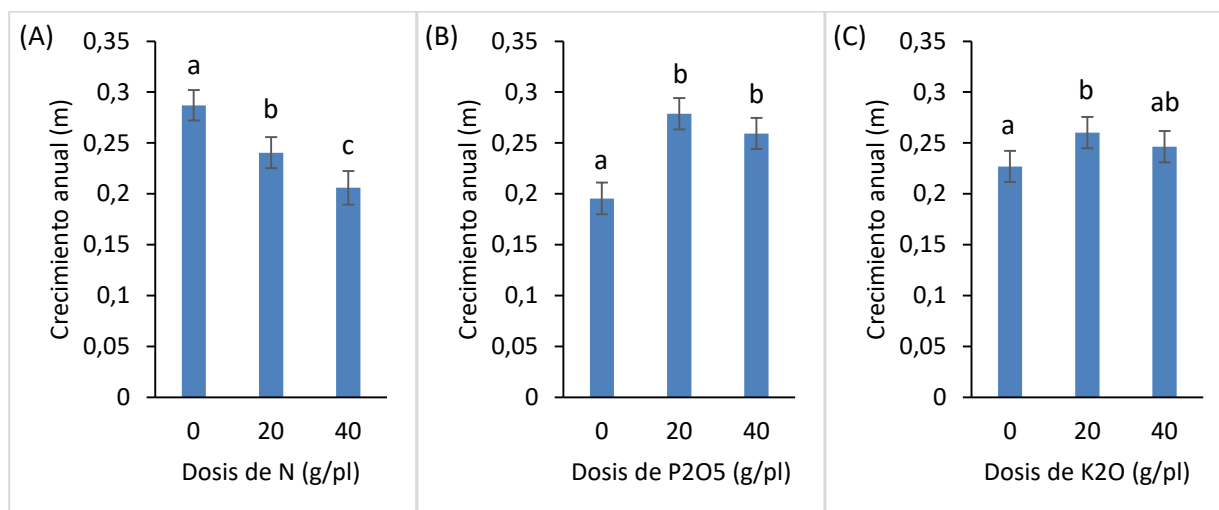


Figura 3. Crecimiento anual en altura en el primer periodo de crecimiento para las distintas dosis de aplicación de cada nutriente: (A) Nitrógeno, (B) P2O5, (C) K2O. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre dosis del mismo nutriente.

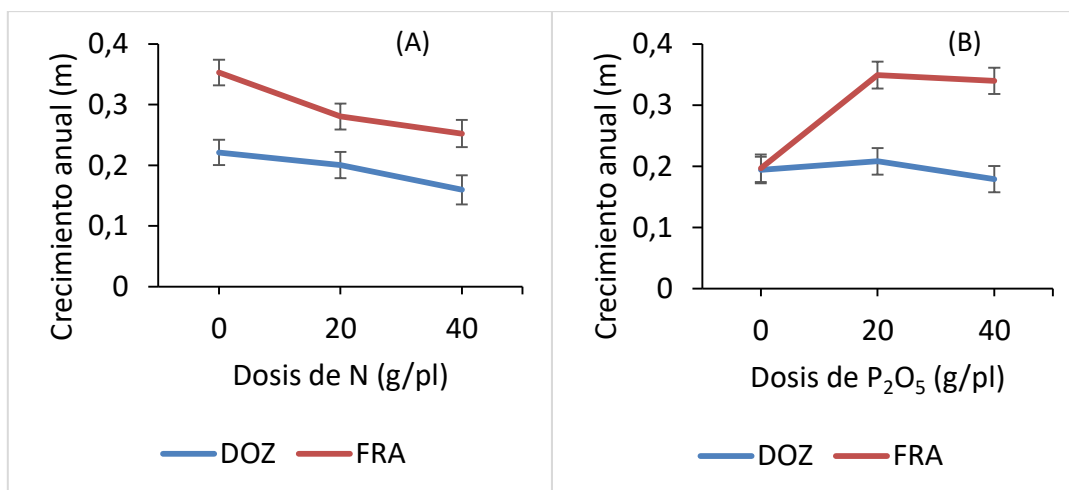


Figura 4. Crecimiento anual en altura en cada sitio tras el primer periodo de crecimiento según dosis de aplicación de (A) Nitrógeno, (B) P₂O₅

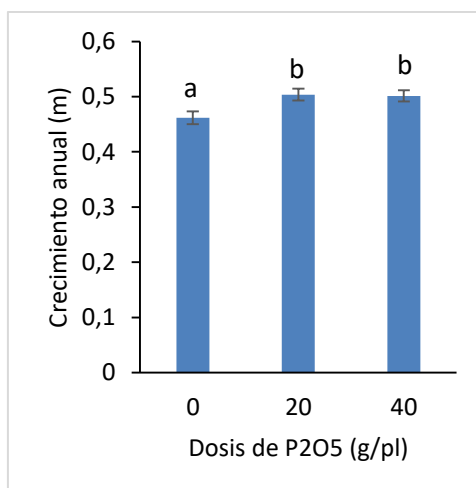


Figura 5. Crecimiento anual en altura en el tercer periodo de crecimiento para las dosis de P₂O₅. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre dosis.

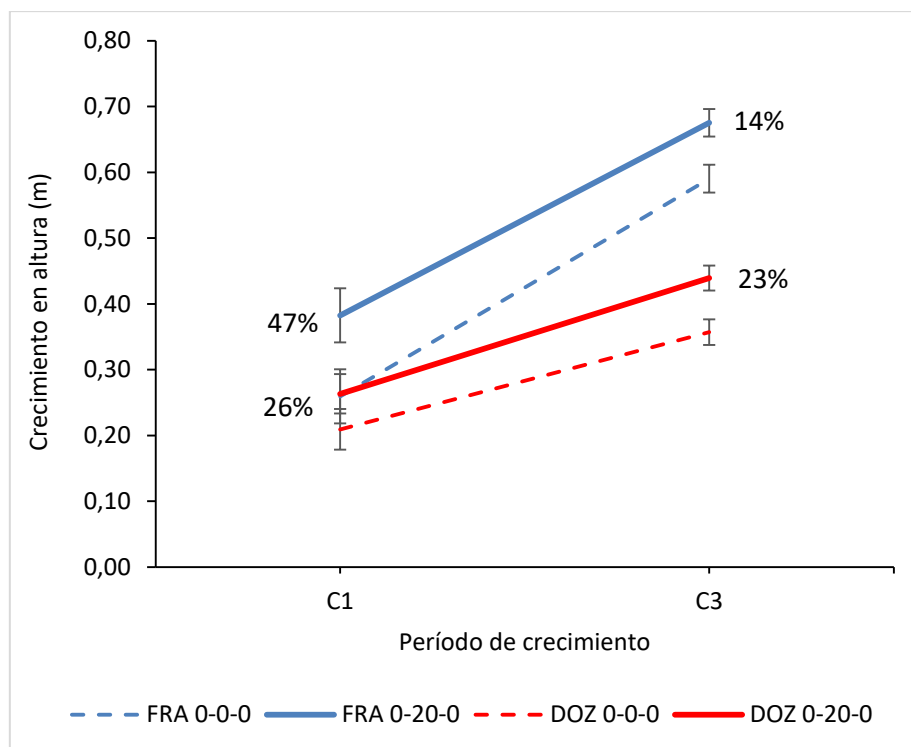


Figura 6. Crecimiento en altura en cada sitio (FRA y DOZ) para el tratamiento sin fertilizar (0-0-0) y el tratamiento con 20 g planta⁻¹ de P205 (0-20-0). Los porcentajes expresan el crecimiento con el tratamiento 0-20-0 respecto al tratamiento sin fertilización para cada sitio y año.