COMPONENTES GENÉTICAS DE LAS REACCIONES GEOTRÓPICAS DE *Pinus pinaster Ait.* A NIVEL POBLACIONAL

Rosario Sierra de Grado[1], Pablo Martínez Zurimendi[1], Valentín Pando[1], Bruno Moulia[2], Alejandro Peñalvo[1], Esther Báscones[1].

[1]Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales.
ETS Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid.
Avda. de Madrid 44, 34004 Palencia.
rsierra@pvs.uva.es

[2]U.M.R. PIAF. INRA, Site de Crouël
234 avenue du Brézet. F-63039 Clermont-Ferrand cedex 02. Francia.

Resumen

La rectitud del fuste en *Pinus pinaster* Ait. es un carácter de suma importancia económica, por ello se contempla usualmente en programas de mejora genética de la especie. Las diferencias de rectitud de fuste observadas entre distintas procedencias de *Pinus pinaster* Ait. pueden estar relacionadas con diferente sensibilidad a estímulos deformantes (como el cambio de orientación en el campo gravitatorio) y con diferentes capacidades de reenderezamiento tras el estímulo. Para contrastar esta hipótesis, se planteó el siguiente experimento: plántulas de una savia de tres diferentes regiones de procedencia de *Pinus pinaster* fueron sometidas a una inclinación de 45º durante 5 meses. Las procedencias empleadas fueron Sierra de Gredos, Bajo Tiétar y Sierra de Oña. Semanalmente se tomaron de cada planta tres fotografías en planos ortogonales, siendo una de ellas en el plano de inclinación. Sobre las fotografías se midieron las variaciones de inclinación que sufrieron las plantas, considerando por separado la porción del tallo correspondiente al crecimiento del primer año y la formada durante el experimento (segunda estación de crecimiento). Aunque el tipo de respuesta de la planta ante la inclinación es el mismo en las tres procedencias, hay diferencias en la magnitud y velocidad de dicha respuesta.

Palabras clave: Madera de reacción, reenderezamiento**.**

MESA TEMÁTICA 2: Mejora genética, viveros y repoblaciones.

INTRODUCCIÓN

La superficie ocupada por *Pinus pinaster* en España asciende alrededor de 1400000 ha, entre masas naturales y repoblaciones, lo que habla por sí solo de su importancia ecológica y económica. Uno de los principales problemas que encuentra el aprovechamiento de esta especie es su característica falta de rectitud. La falta de rectitud provoca importantes pérdidas económicas, ya que aumenta el coste del transporte y procesamiento, disminuye el rendimiento en materia prima y empeora las propiedades tecnológicas del producto final, debido a la aparición de madera de compresión. Por ello, es habitual en los programas de mejora genética de esta especie incluir el caracter rectitud dentro del ideotipo buscado.

En las regiones de procedencia delimitadas en España para *P. pinaster*, está bien documentada la existencia de variabilidad a nivel poblacional en la rectitud. Esto se puede observar tanto comparando las características de los fustes de las diferentes procedencias en sus propios lugares de origen, como en los ensayos de procedencias, en los que se ha demostrado que el caracter rectitud a nivel poblacional es bastante estable en los diferentes ambientes de ensayo (ALÍA et al., 1995; SIERRA DE GRADO et al., 1999). Esto implica la existencia de diferencias a nivel genético que son

responsables de que las poblaciones que tienden a ser más derechas que otras en sus respectivos lugares de origen, mantengan estas diferencias cuando se ensayan en ambiente común.

El siguiente paso es preguntarse qué procesos subyacentes, relacionados con la rectitud, pueden tener un componente genético que explique las diferencias de rectitud entre poblaciones. La rectitud de un tronco puede verse afectada por muy diferentes factores externos: efecto del viento, daños bióticos y abióticos en la guía principal, iluminación lateral, cambios de orientación en el campo gravitatorio, etc (SIERRA DE GRADO, 1997; TIMELL, 1986). Si se sometiera a dos poblaciones al mismo factor deformante, las diferencias genéticas en la forma del fuste resultante podrían ser debidas a: 1) diferencias en la sensibilidad de cada población al factor en cuestión y 2) diferentes capacidades de recuperar la rectitud.

En trabajos previos se constató la existencia de diferencias genéticas entre progenies de *P. pinaster* sometidos a iluminación lateral. (SIERRA DE GRADO et al., 1997). En el presente trabajo se trata de contrastar la hipótesis anterior tomando como proceso de referencia la reacción gravitrópica, es decir, la respuesta de las plantas a un cambio en su orientación dentro del campo gravitatorio terrestre, provocado al inclinar la planta, y trabajando esta vez a nivel de procedencia.

La respuesta a la inclinación de una planta de pino pinaster se había estudiado previamente (LOUP et al. 1991, FOURNIER et al. 1994), estableciéndose que la reacción tiene tres componentes: una relacionada con el crecimiento primario, que implica una reacción de la parte apical del tallo a la busca de la verticalidad, una segunda relacionada con el crecimiento secundario y la formación de madera de compresión, que provoca una curvatura en el tallo inclinado tendiendo a reenderezarlo, y finalmente, una tercera denominada reacción autotrópica, que modifica, actuando basípetamente, la curvatura adquirida debido a los dos procesos anteriores. En esta comunicación nos ocuparemos de las dos primeras.

MATERIAL Y MÉTODOS

El material ensayado fueron plántulas de una savia de tres diferentes regiones de procedencia de *Pinus pinaster*. Las procedencias empleadas fueron Sierra de Gredos, Bajo Tiétar y Sierra de Oña. Las características de estas poblaciones se indican en la tabla 1. Las plantas se distribuyeron en un diseño en bloques completos aleatorios, con 10 plantas por procedencia, en soportes diseñados para el experimento, manteniendo cada maceta con una inclinación de 45º durante 5 meses (desde mayo a septiembre). De cada planta se tomaron fotografías en el momento de sufrir la inclinación, a las 24 horas y a partir de entonces, una vez a la semana aproximadamente. Cada vez se tomaban tres fotografías en planos ortogonales, siendo una de ellas en el plano de inclinación. La estructura prevista para el experimento permitía que las fotografías se tomaran siempre desde el mismo punto.

Sobre las fotografías se midieron los ángulos respecto a la horizontal que sucesivamente presentaban los tallos, considerando por separado la porción del tallo correspondiente al crecimiento del primer año –tramo 1- y la formada durante el experimento (segundo periodo de crecimiento), dividiendo esta última en dos partes de diferente orientación –tramo 2 y tramo 3- (Figura 1).

El análisis de estos datos se llevó a cabo mediante un análisis de medidas repetidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La respuesta general de todas las plantas siguió un patrón similar en cuanto al tipo de cambios experimentados tras ser inclinadas, aunque en la magnitud y la velocidad de las respuestas hubo algunas diferencias entre procedencias. La secuencia de fotografías de la figura 2 muestra la evolución de las plantas a lo largo del experimento.

Parte del tallo correspondiente al crecimiento del primer año (tramo 1)

Aunque la maceta se inclina 45º, la inclinación inicial de los tallos es mucho mayor, entre 15º y 20º aproximadamente, debido a su propio peso. Después, durante 13 días, los tallos (tramo 1) todavía adquieren una inclinación cada vez más pronunciada (fase de caída). Posteriormente, comienzan a elevarse rápidamente (pasan de estar desde -5º hasta 50º aproximadamente en un mes), y luego más despacio, hasta alcanzar una posición estable (Figura 3).

En fase de caída, la población de Bajo Tiétar se inclina significativamente menos que la de Gredos, quedando Oña en una posición intermedia. Es destacable que Bajo Tiétar es la única procedencia en la que el ángulo medio del tramo 1 no adquiere valores negativos, es decir, posiciones más bajas que la horizontal. Las plantas de Gredos y Bajo Tiétar no tenían alturas significativamente diferentes en el momento de ser inclinadas (las de Oña sí, eran más pequeñas), por lo que la menor caída de las plantas de Bajo Tiétar podría estar relacionada con una mayor rigidez del tallo más que con diferencias de crecimiento durante el primer año.

Durante la fase de elevación rápida no hay diferencias significativas entre las procedencias, pero sí vuelve a haberlas al finalizar esta, ya que Gredos alcanza más tarde la posición estable, es decir, mantiene durante más tiempo una fase activa de elevación, lo que le supone, finalmente, una diferencia media de 10º respecto a las otras dos poblaciones.

Parte del tallo formada durante el experimento (tramos 2 y 3)

El ápice reacciona a la inclinación de forma espectacular, buscando la vertical. A las 24 horas se aprecia perfectamente el cambio de orientación de la porción apical del tallo, surgiendo con ello el tramo 2 y observándose un codo muy marcado. A las 24 h tras la inclinación, los ápices de las plantas de Gredos tienen una inclinación media de 73º, 63º de Bajo Tiétar y 52º de Oña, siendo sus ángulos iniciales justo tras la inclinación 15º, 20º y 16º respectivamente. El ángulo respecto a la horizontal de este tramo 2 sigue aumentando hasta un máximo, que oscila entre los 103º de Oña y los 127º de Gredos, y luego disminuye muy lentamente el resto del tiempo de duración del experimento (Figura 4).

Las diferencias en la inclinación del tramo 2 son significativas entre Gredos y Oña durante todo el experimento, siendo las plantas de Gredos las que muestran una reorientación apical más acusada. Las de Bajo Tiétar son intermedias, si bien las diferencias con Gredos no son significativas ni al comienzo del experimento (mayo y comienzos de junio) ni al final del mismo (agosto y septiembre). Esto sugiere que, a parte de la diferente magnitud de la respuesta inicial, las diferencias residen en el tiempo durante el que el ápice sigue aumentando su inclinación. Esto no puede ser explicado exclusivamente en términos de reacción apical, ya que durante ese tiempo el tramo 1 sigue levantándose.

Al alcanzar el tramo 2 el máximo ángulo respecto a la horizontal, ya es apreciable el tramo 3, indicando que el ápice en elongación ha cambiado de nuevo su dirección de crecimiento tratando de recuperar la vertical, la cual ha sobrepasado (Figura 5). Este cambio origina un segundo codo en el tallo. En el ángulo adquirido por el tramo 3 hay una diferencia significativa de unos 10º entre Oña y las otras dos procedencias. En todos los casos, este ángulo permanece bastante constante hasta finales de agosto, cuando experimenta un ligero descenso.

En una primera aproximación, la respuesta primaria de la planta está asociada a los cambios de orientación iniciales del ápice en crecimiento y la respuesta secundaria con la elevación de la porción del tallo correspondiente al crecimiento del primer año. Las principales diferencias observadas entre las poblaciones pueden centrarse en una reacción apical menos pronunciada de las plantas de Oña y una elevación del tallo ya formado más prolongada en las plantas de Gredos. En relación con la hipótesis inicial, los resultados concordarían con una sensibilidad menor de las plantas de Oña frente al estímulo geotrópico y una capacidad mayor de enderezamiento tras la inclinación de

las plantas de Gredos. La población de Bajo Tiétar tiene una reacción similar a la de Gredos en cuanto a la reacción apical, pero su repuesta secundaria es similar a la de Oña.

CONCLUSIÓN

Las respuestas a la inclinación de las tres procedencias ensayadas han mostrado diferencias significativas entre ellas. Las plantas de Oña tienen una reacción apical menor que las de Gredos y Tiétar, mientras que las plantas de Gredos son las que han presentado una capacidad de reenderezamiento posterior a la inclinación más prolongada.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por los proyectos AGF 97-0809 y AGL2001-1780 de la CICYT (MEC).

BIBLIOGRAFÍA

ALÍA, R.; GIL, L. & PARDOS, J.A.; 1995. Performance of 43 *Pinus pinaster* provenances on 5 locations in central Spain. *Silvae Gen*. 44, 2-3, 75-81.

FOURNIER, M.; BAILLERES, H. & CHANSON, B.; 1994. Tree biomechanics: growth, cumulative presstreses and reorientations. *Biomimetics* 2: 229-252.

LOUP, C.; FOURNIER, M.; CHANSON, B. et MOULIA, B.; 1991. Redressements, contraintes de croissance et bois de réaction dans le bois d'un jeune *Pinus pinaster* artificiellement incliné. En Thibaut B (ed) *Proceedings of the Third seminar "Architecture, Structure, Mécanique de l'arbre"* LMGC, Université de MontpellierII, Montpellier.

SIERRA DE GRADO, R.; 1997. Observaciones sobre la rectitud del fuste en *Pinus pinaster* Ait. En: F. Puertas Tricas y M. Rivas (eds.), Actas del 1 Congreso Forestal Hispano-Luso y II Congreso Forestal Español IRATÍ- 97. 4: 615-620.

SIERRA DE GRADO, R.; MOULIA, B.; FOURNIER, M., ALIA, R.; DIEZ BARRA, R.; 1997. Genetic control of stem form in *Pinus pinaster* Ait. seedlings exposed to lateral light. *Trees* 11: 455-461.

SIERRA DE GRADO, R.; DÍEZ-BARRA, R. y ALÍA, R.; 1999. Evaluación de la rectitud del fuste en 6 procedencias de *Pinus pinaster* Ait. *Investigación Agraria. Serie Recursos Forestales* Vol 8 (2):263-278.

TIMMEL, T.E.; 1986. Compression wood in gymnosperms. Springer. Berlin, Heildlberg, New York.

Tabla 1. Caracterísiticas de las procedencias estudiadas.

PROCEDENCIA	CRECIMIENTO	RECTITUD TÍPICA
Sierra de Gredos	Elevado	Fustes muy rectos
Bajo Tiétar	Elevado	Fustes helicoidales
Sierra de Oña	Bajo	Fustes tortuosos

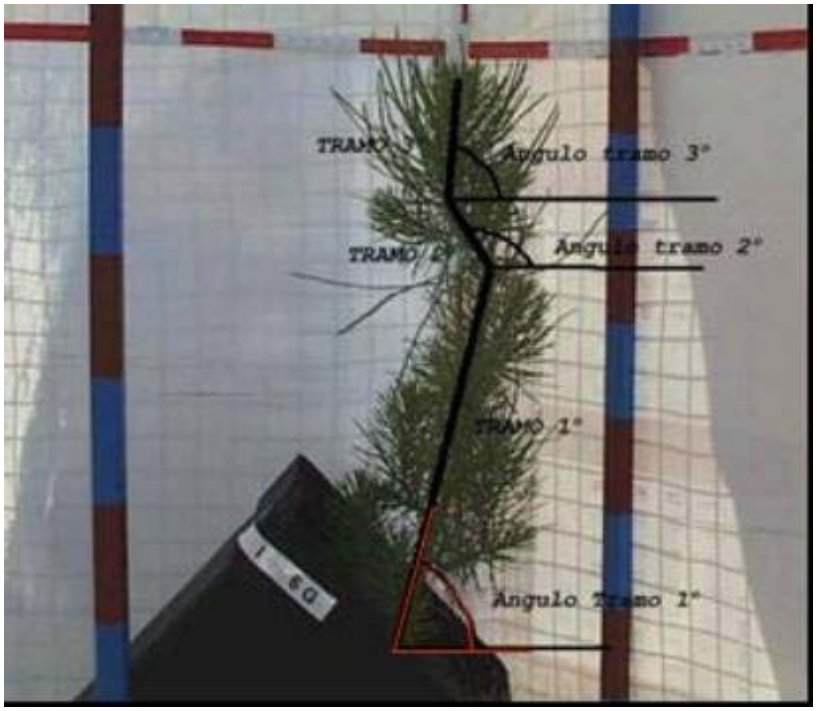

Figura 1. Ángulos de los distintos tramos del tallo medidos en el experimento.

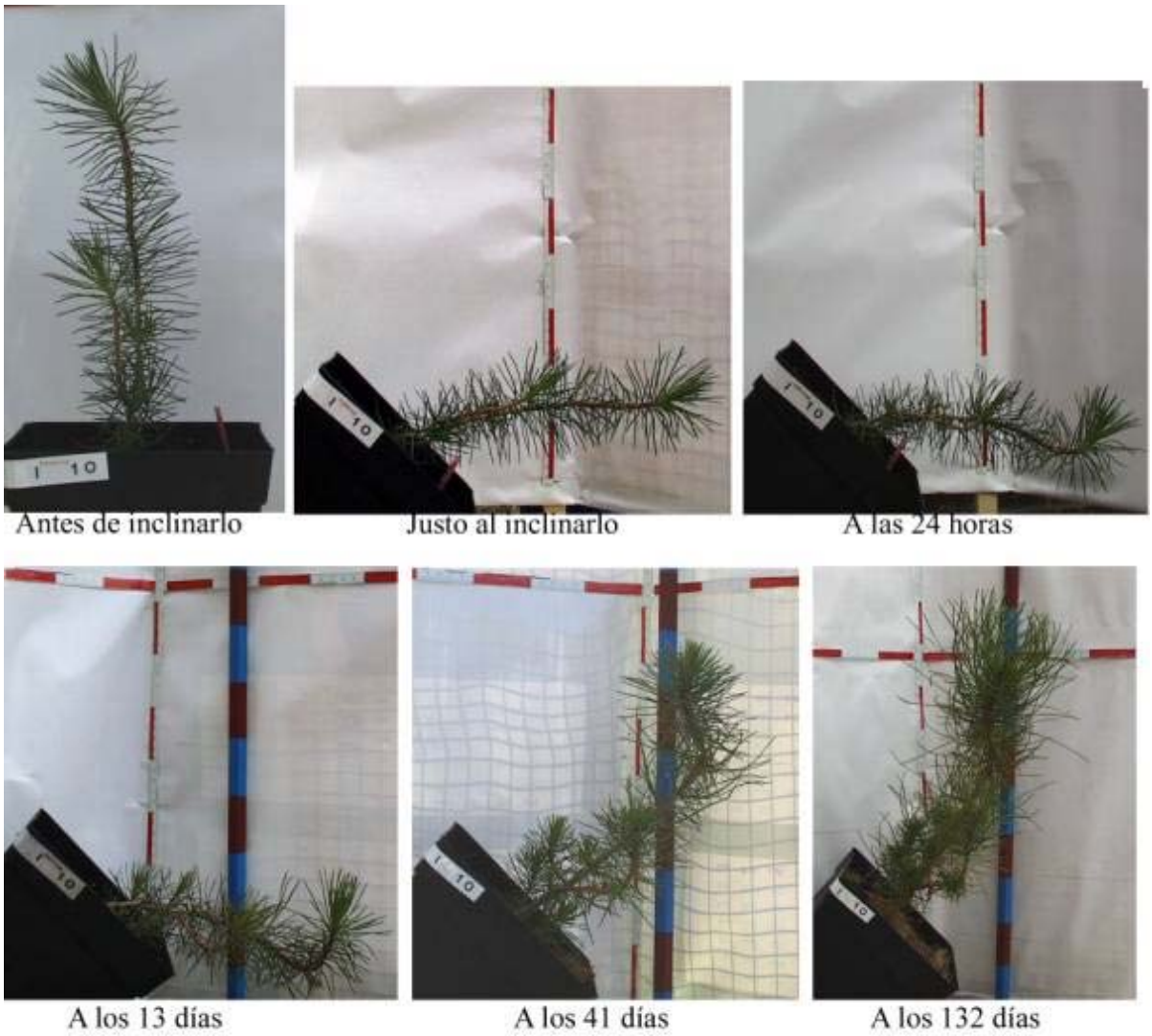

Figura 2. Cambios sufridos por un pino pinaster tras la inclinación.

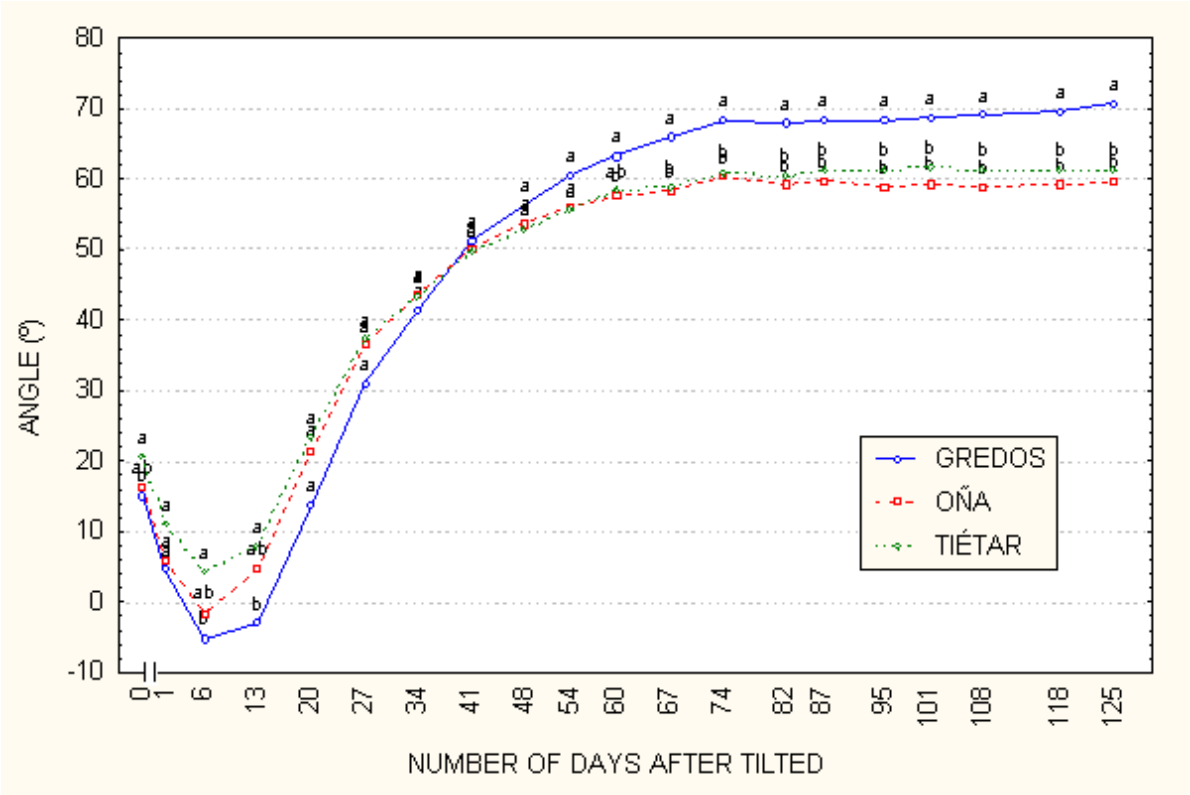

Figura 3. Evolución del ángulo del tramo 1 durante el experimento. En cada fecha de medición, las medias señaladas con diferente letra son significativamente distintas al 5% de significación.

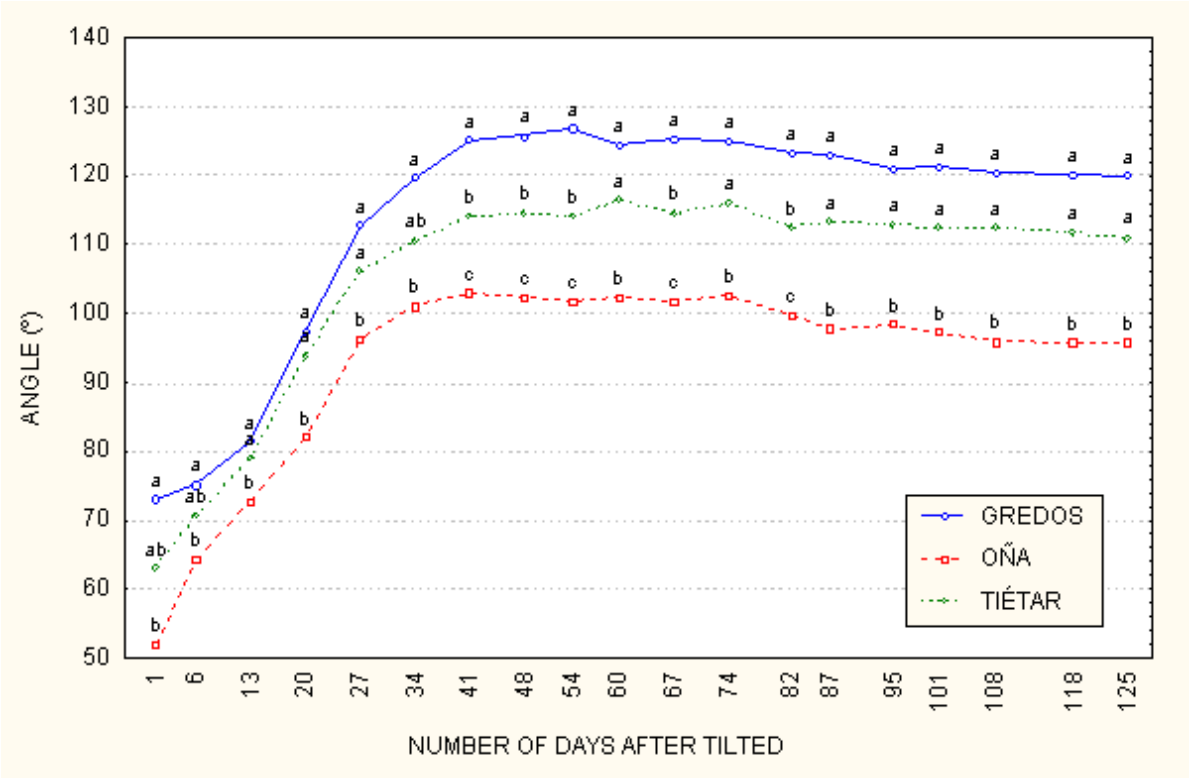

Figura 4. Evolución del ángulo del tramo 2 durante el experimento. En cada fecha de medición, las medias señaladas con diferente letra son significativamente distintas al 5% de significación.

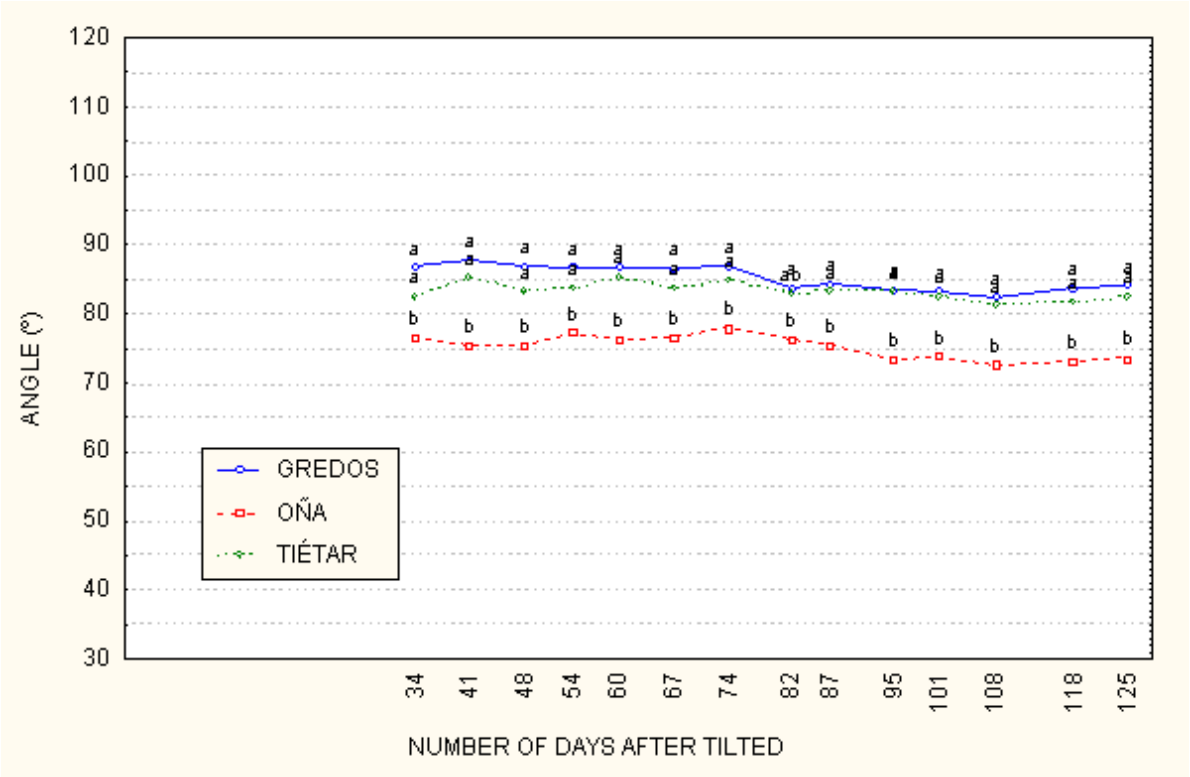

Figura 5. Evolución del ángulo del tramo 3 durante el experimento. En cada fecha de medición, las medias señaladas con diferente letra son significativamente distintas al 5% de significación.