



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-567

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Influencia en la anatomía del xilema y en la producción de resina del uso de quemas prescritas en montes con aprovechamiento resinero

RODRÍGUEZ GARCÍA, A.¹, MADRIGAL, J.^{2,3}, GONZALEZ SANCHO, D.⁴ GIL, L.¹ GUIJARRO, M. ^{2,3} y HERNANDO C. ^{2,3}

¹ ETSIM-UPM

² INIA, Centro de Investigación Forestal, Laboratorio de incendios forestales. Ctra. Coruña km 7,5 28040 Madrid. incendio@inia.es

³ iuFOR, Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible uVA-INIA

⁴ TRAGSA, TSUP Incendios y Emergencias. Operaciones Tragsa / G.Incendios Y Emergencias. Grupo Tragsa – SEPI. Calle Conde de Peñalver 84 - 28006 Madrid

Resumen

El sistema secretor del xilema secundario en *Pinus pinaster* ha sido aprovechado tradicionalmente para la obtención de resina. En este trabajo se plantea la hipótesis de que la quema prescrita previa a la resinación podría estimular este sistema secretor aumentando la producción. Se ha realizado un estudio en la provincia de Soria donde se analiza la anatomía del xilema de 24 individuos sometidos a: resinación, quema, quema+resinación y control. Se comparó la producción de resina (2015-2016) en parcelas de quema+resinación frente a solo resinación.

No hubo diferencias significativas en los crecimientos diametrales ni en el área de la sección media de los canales entre tratamientos. La frecuencia y superficie ocupada por los canales axiales aumentó significativamente en pies resinados, quemados o no, en el año de la quema y el siguiente. Ese incremento fue significativamente mayor en los resinados+quemados que en los solo resinados en 2016 indicando un efecto de las quemas en combinación con la herida de resinación. El análisis de la producción de resina no mostró diferencias entre los grupos estudiados.

Los resultados muestran un incremento en la formación de estructuras secretoras que podría suponer incrementos en la producción no observable en este estudio en concreto. Un estudio a más largo plazo y con mayor tamaño de muestra podría permitir la valoración de esta hipótesis y permitiría abrir el debate del uso de las quemas prescritas en un aprovechamiento tan estratégico en el medio rural como es la resinación.

Palabras clave

Canales resiníferos, *Pinus pinaster*, prevención de incendios forestales, silvicultura, sistema defensa.

1. Introducción

En los últimos años la actividad resinera en España está viviendo un proceso de revitalización acompañado tanto de una incorporación de nuevos resineros y nuevos montes, como de distintos estudios y ensayos para la mejora e innovación en este aprovechamiento tradicional (Actas SNRN, 2013; Pinillos, 2014).

Dentro de las regiones de nuestro país donde el aprovechamiento resinero tiene gran importancia, tanto histórica y cultural como económicamente, destaca la provincia de Soria (Gil, 1991). En esta región, extensas masas monoespecíficas de *Pinus pinaster* Ait. han sido ordenadas y resinadas históricamente (Hernández, 2009). En los últimos años, masas de estas características ordenadas con objetivos de aprovechamiento maderero están siendo, sin embargo, incorporadas al aprovechamiento de resina dada la coyuntura del mercado.

Las características de estas masas hacen especialmente interesante el ensayo con tratamientos de quemas prescritas como herramienta de gestión cuyas consecuencias podrían potencialmente facilitar el avance hacia mejoras en el aprovechamiento resinero a la vez que se realiza una labor gestión de la biomasa bajo arbolado para prevenir incendios forestales.

Distintas especies de pinos entre las que se encuentra *P. pinaster* desarrollan gruesas cortezas como respuesta adaptativa a regímenes frecuentes de incendios que les permite presentar altas resistencias a estas perturbaciones y los hace especialmente buenos candidatos para el ensayo de este tipo de tratamientos (Fernandes y Rigolot, 2007) y al mismo tiempo, el género *Pinus* presenta un bien descrito abanico de respuestas frente a estreses bióticos y abióticos (Franceschi et al., 2005) que incluye de manera general incrementos en la secreción de resina y la formación de canales traumáticos (Lewinsohn et al., 1991; Ruel et al., 1998). Por otro lado, esta especie es la única resinada a día de hoy en la península de modo que los resultados obtenidos presentarían especial interés a la hora de extrapolarlos a otras localidades o incluso a otros países.

Las quemas prescritas bajo arbolado consisten en fuegos controlados y planificados de baja intensidad llevados a cabo por personal cualificado con procedimientos específicos y objetivos concretos (Pyne et al., 1996) entre los que destaca la reducción de peligro de incendios mediante la disminución del combustible presente en el monte (Haines et al., 2001) todo ello bajo condiciones de prescripción técnica para evaluar que los daños directos al arbolado sean mínimos (Ryan 2000). A pesar de esta intención de minimizar los efectos del fuego en el arbolado, distintos estudios llevados a cabo los últimos años han demostrado que las quemas tienen una serie de efectos que incluyen variaciones en la formación de madera (Arbellay et al., 2014), incrementos en la producción de resina, exudación de la misma y variaciones en su composición (Lombardero et al., 2006; Cannac et al., 2009; Perrakis et al., 2011), así como cambios en las estructuras secretoras asociadas, los canales resiníferos (Perrakis et al., 2011; Hood et al., 2015). Por otro lado, la propia resinación presenta efectos sobre distintas variables anatómicas del xilema (Génova et al., 2014; Rodríguez-García et al., 2014; Rodríguez-García et al., 2016).

Pinus pinaster Ait. presenta un desarrollado sistema de canales resiníferos, axiales y radiales, conectados mediante anastomosis (Lewinsohn et al., 1991) que almacena y sintetiza resina a través de distintas estructuras (Trapp y Croteau, 2001). Las plantas, en particular los pinos, reaccionan frente a distintos estímulos, específicamente frente a heridas o un estrés grave, con la diferenciación de estructuras específicas y la síntesis de compuestos defensivos (Fanh y Zamsky, 1970; Lewinsohn et al., 1991). El sistema de defensa resultante muestra una combinación de barreras físicas y químicas que se distribuyen en diferentes órganos del árbol y se expresan en momentos determinados (Kolossova y Bohlmann, 2012). Según esté siempre presente o aparezca como respuesta a una alteración externa, se distinguen dos tipos de defensa; primaria o constitutiva y secundaria o inducida (Karban y Baldwin, 1997). Un tercer tipo de defensa sería la defensa adquirida o sistémica, que puede ser considerada como una variedad de la defensa inducida pero que se desarrolla a cierta distancia de la zona dañada, en un momento retardado respecto al momento de la alteración, y con propiedades que se mantienen a largo plazo (Franceschi et al., 2005; Eyles et al., 2010).

El incremento en la producción de resina provocado por la síntesis de terpenos como respuesta a un estrés y/o herida (Franceschi et al., 2005; Luchi et al., 2005; Knebel et al., 2008) lleva a cuestionar si los distintos efectos sobre la planta de estas quemas, -ya sea pérdida de raíz, acícula o daños en la zona cambial-, o bien la reducción de competencia interespecífica provocada por las mismas, podría generar, el año de la quema o los siguientes, un incremento en la producción de resina que mejorara la rentabilidad del aprovechamiento resinero o, en su caso, pudiera indicarnos un aumento del estrés producido al arbolado. A pesar de las complejas relaciones entre las estructuras secretoras y la producción de resina (Rodríguez-García et al., 2014), observar el efecto conjunto de la quema con el tratamiento tradicional de resinación sobre estas variables permitiría iniciar la estimación de la conveniencia del uso de las quemas prescritas bajo arbolado como mejora para la puesta en resinación de ciertas masas de *P. pinaster* con las consiguientes ventajas añadidas de mejora de acceso del resinero y la disminución del peligro de incendios. Además, el estudio de variables asociadas a los canales resiníferos y a la formación de madera permite establecer unos primeros parámetros que evalúen el impacto de estas quemas en el sistema de defensa de la especie

con especial relevancia a la hora de discutir el estado sanitario de una masa sometida a este tipo de tratamientos.

2. Objetivos

Se pretende aproximar las relaciones existentes entre la producción de resina, y las variables anatómicas relacionadas con la misma en parcelas sometidas a tratamientos de quemas prescritas bajo arbolado en pinares monoespecíficos de *P. pinaster* de la provincia de Soria. Se estudiará la formación de madera y canales resiníferos en plantas sometidas a quemas y a resinación y se relacionan los resultados con la producción de resina tanto en el año de la quema como durante el año siguiente. El objetivo aplicado de este estudio es establecer en qué modo las quemas preventivas afectan a la anatomía de la planta y a su producción de resina de manera que estos tratamientos pudieran ser introducidos como herramientas de gestión para el aprovechamiento resinero en estos pinares.

3. Metodología

El material y los datos usados en este estudio han sido recogidos en monte MUP: nº 197 de pinar monoespecífico de *Pinus pinaster* (Densidad=400 pies/ha; H=18 m; dbh=44 cm; CBH=9 m Espesor de corteza=4,6 cm; FCC= 80%) localizado en Quintana Redonda (Soria) con sotobosque de jara (*Cistus laurifolius*, H=0,6 m; Cobertura<1 %) y abundante presencia de restos de desrame procedentes de poda natural y tratamientos selvícolas previos (Carga de combustible muerto=0,559 Kg/m²). Los pinares objeto de estudio se incluyen dentro de la región de procedencia número 8, denominada “Meseta Castellana”. Estos pinares se sitúan sobre depósitos del Cuaternario formados, principalmente, por arenas silíceas. Las BLP de Lubia (Soria), formada por personal de Tragsa que presta el servicio mediante encomienda de gestión del MAPAMA, ejecutó una serie de quemas prescritas experimentales bajo arbolado con la técnica de fajas a favor que tuvieron como resultado la eliminación del 100% de la biomasa de acícula y el 40% de la biomasa de jara y restos gruesos (0,6-2,5 cm de grosor). El presente trabajo se ha centrado en tres de las parcelas experimentales de 50 X 50 m² separadas 30 m entre sí. En dos de ellas se habían realizado quemas preventivas en el mes de Abril de 2015 y la otra se mantuvo como control. Ese mismo año se realizó por primera vez el aprovechamiento resinero, entre Abril y Octubre, sobre las parcelas quemadas (individuos quemados-resinados) y sobre el resto de la masa no quemada (individuos resinados-no quemados), dejándose sin resinar los pies pertenecientes a la parcela control (individuos control) y la mitad de los pies de las parcelas quemadas (individuos quemados-no resinados). Con objeto de observar la influencia de las quemas en la producción y con la colaboración de un resinero de la zona y de los Servicios Forestales de Soria, se pesó la resina recogida en 80 árboles resinados pie a pie, 40 de ellos sometidos a quemas y 40 no afectados, a lo largo de la campaña de 2015 y 2016. En 2015 se realizó una sola pica y en 2016 se realizaron 2 picas.

Para la realización del estudio anatómico se recogieron muestras del xilema de 24 individuos; 6 resinados-quemados, 6 resinados-no quemados, 6 no resinados-quemados y 6 ni resinados ni quemados (control). Para la obtención de muestra de tejido se barrenaron todos los pies seleccionados en el mes de octubre del 2015 y 2016. La literatura nos señala la importancia de la posición respecto a la zona herida para observar cambios anatómicos (Nagy et al., 2006; Rodríguez-García et al., 2016) y en segundo lugar, la herida de resinación del año siguiente (entalladura) se realiza, dentro de la práctica más extendida, en la zona inmediatamente superior a la resinada el año anterior. En este sentido, presenta especial interés observar los cambios en el tejido de esa zona en concreto. Se extrajeron por tanto con barrena de Pressler muestras de xilema por individuo de los últimos 4 anillos (2013-2016) a una altura de 1,30m. Para el caso de individuos resinados se extrajeron dos muestras, una en la cara resinada (cara A), a 15 cm por encima del límite de la herida- y una segunda en la cara opuesta (cara B) a la misma altura. En el caso de los pies no resinados se obtuvo una única muestra a la misma altura que en los pies resinados. En total se recogieron 36

muestras. Con un micrótopo de deslizamiento se realizaron cortes transversales que contuvieran los anillos correspondientes al periodo 2013-2016 de 20-30 μm de espesor. Para su preparación se siguió un protocolo de tinción estándar con safranina y azul de alcian y se fijaron para su mejor conservación. Se han fotografiado las muestras con una cámara Nikon digital Coolpix 4500. Las imágenes tomadas han sido analizadas con el programa de análisis de imágenes WinCel Pro 2004 midiendo 4 variables anatómicas sobre las imágenes registradas. Estas variables son el ancho de anillo (GR; μ) (Figura 1), el tamaño medio de la sección transversal del canal axial (que incluye la superficie de las células parenquimáticas que lo rodean) (CAs; μ^2) (Figura 1), la frecuencia de canales por mm^2 (CAf; N° canales/ mm^2) y la superficie ocupada por canales por mm^2 (CAa; μ^2/mm^2). Posteriormente se calculó la variable de variación en la formación de xilema (Long_x; μ) como diferencia entre el año n y el n-1.

Para el análisis de la producción de resina, previa comprobación de los requisitos paramétricos, se usó un modelo lineal general de medidas repetidas para los dos años en los que se pesó la producción. La unidad experimental fue el árbol (N=80) que se distribuyeron al azar en las 4 parcelas (2 quemadas y 2 testigo) para evitar autorreplicación. Se analizó el tratamiento como factor intersujeto con 2 niveles (Quemado-Resinado, No quemado-Resinado), la fecha de medición como factor intrasujeto con 2 niveles (2015, 2016) y sus interacciones. Las comparaciones entre grupos fueron realizadas con el test de mínimas diferencias de Fisher (LSD $p < 0.5$).

En el análisis de las distintas variables anatómicas se ha estudiado en primer lugar la influencia de la orientación muestreada (cara resinada frente a cara opuesta) a través de un modelo de medidas repetidas para los cuatro años estudiados con el factor cara y las correspondientes interacciones. Este análisis ha sido realizado sobre los valores medios por individuo, año y orientación (N=138). Tras ese primer análisis, las variables no afectadas por la orientación han sido analizadas usando un modelo lineal general de medidas repetidas sobre los valores medios por individuo y año (N=92). Se analizó el tratamiento como factor intersujeto con 4 niveles (Quemado-Resinado, No quemado-Resinado, Quemado-No resinado y controles), la fecha de medición como factor intrasujeto con 4 niveles (2013, 2014, 2015, 2016) y sus interacciones. En las variables en las que la orientación era un factor significativo se ha estudiado de manera independiente el efecto de los tratamientos sobre cada una de las caras a través del mismo modelo de medidas repetidas con el tratamiento como factor. Las comparaciones entre grupos se realizaron mediante el test de mínimas diferencias de Fisher (LSD, $p < 0.05$). Todos los análisis estadísticos han sido llevados a cabo con el programa Statistica 6.0.

4. Resultados

4.1 Estudio de producción

El análisis de la producción de resina mostró diferencias significativas entre los dos años de estudio ($p = 0.0002$) con una producción media de 1.06 kg ($\pm 87\text{g}$) el segundo año frente a los 0.92 kg ($\pm 82\text{g}$) del primero (2015). Sin embargo, no se observaron diferencias de producción significativas entre los individuos sometidos al tratamiento de quemados y los individuos control ($p = 0.56$).

4.2 Estudio de anatomía

La influencia de la orientación (cara resinada (A) frente a cara opuesta (B) a la resinación) en los parámetros anatómicos medidos en árboles resinados (quemados o no), muestra que: para las variables de frecuencia y superficie de canales axiales (CAf y CAs), la influencia de este factor es claramente significativa ($p = 0.0002$ y $p = 0.0001$, respectivamente). CAf y CAs mostraron valores significativamente mayores para el año 2015 y 2016 (años resinados) en la cara herida que en la cara opuesta (Figura 1) no observándose ninguna diferencia en los años previos a la resinación y la quema (2013 y 2014) con lo que se puede asumir que las diferencias observadas se deben al tratamiento (Tabla1). En relación a la variación del crecimiento (Long_x), la orientación es también un

factor significativo ($p=0.03$) mostrando la cara resinada un decrecimiento medio para los 4 años de 74.73 micras mientras que la cara opuesta un incremento medio de 3.65 micras para el mismo periodo (Figura 1).

Tabla 1. Valores medios (\pm desviación estándar) de las variables anatómicas estudiadas, frecuencia de canales axiales por mm^2 (CAf) y superficie media por mm^2 ocupada por los canales axiales en el xilema (CAs), para cada una de las orientaciones analizadas (cara A y cara B) en los distintos años de estudio, para los individuos resinados en 2015 y 2016 (fondo gris) (N=12). Letras distintas indican diferencias significativas entre grupos (LSD $p<0.05$). En negrita los valores con diferencias significativas entre orientaciones.

	CAf (N° CA/ mm^2)				CAs (μ^2/mm^2)			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
Cara A	1.36 ± 0.17 bc	0.20 ± 0.06 a	1.74 ± 0.31 c	3.66 ± 0.49 d	31815.77 ± 3942 bc	4881.92 ± 1717 a	35259.24 ± 5678 c	105765.48 ± 14128 d
Cara B	1.34 ± 0.18 bc	0.23 ± 0.07 a	0.42 ± 0.33 a	0.64 ± 0.54 ab	34969.15 ± 4319 c	6536.71 ± 1881 a	10071.74 ± 6220 ab	13419.89 ± 13419 abc

En el caso de la variable sección media del canal axial, los valores medios por individuo fueron analizados para estudiar el efecto de los distintos tratamientos en los años estudiados. Los resultados mostraron que esta variable no parece ser alterada ni por la resinación, ni por la quema, ni por el tratamiento conjunto ($p=0.82$).

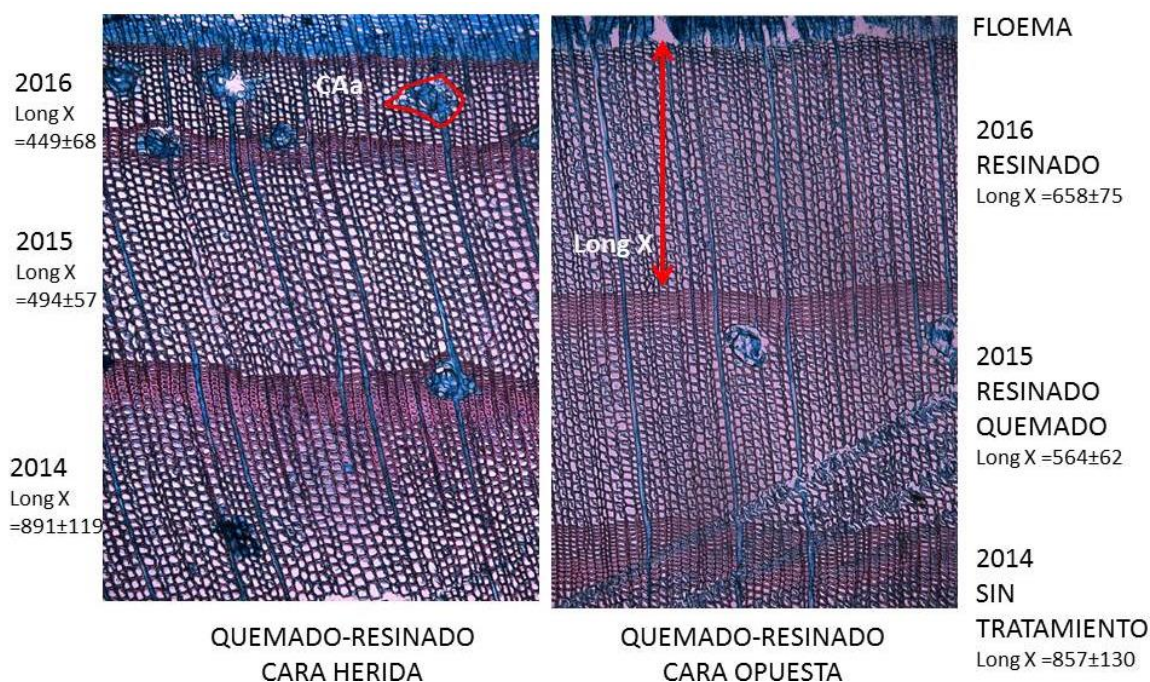


Figura 1. Cortes transversales de floema y xilema de un individuo quemado-resinado para las localizaciones de cara herida (a) y cara opuesta a la herida (b) en los que se observan los anillos de crecimiento correspondientes a los años 2014 (año previo a la quema y la resinación), 2015 (año en el que se realizan las quemas y la primera entalladura de resinación) y 2016 (año en el que se realiza la segunda entalladura de resinación). Valores medios (\pm DE) del ancho de anillo (long X) para los años indicados, en cara herida y cara opuesta de los individuos resinados (N=12)

a. Efecto local: respuesta en los tejidos en la zona próxima a la herida

De las tres variables descritas afectadas por la localización de la muestra, dos de ellas; la frecuencia de canales axiales (CAf) y la superficie ocupada por la sección de los canales por mm² (CAs), mostraron distintas respuestas en función de los tratamientos en los tejidos próximos a la herida de resinación. Sin embargo, la variación en la formación de madera no mostró diferencias entre árboles sometidos a quemas y/o resinación y árboles control (Tabla 2). En relación al año de estudio, las tres variables mostraron una marcada influencia del mismo y en el caso de las variables de canales también se observó una interacción entre el año y el tratamiento (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de F para el análisis de varianza de medidas repetidas en el intervalo 2013-2016 para las variables anatómicas; crecimiento del xilema (Long_x), frecuencia de canales axiales por mm² (CAf) y superficie media por mm² ocupada por los canales axiales en el xilema (CAs), medidas en tejidos obtenidos en la cara resinada y en tejidos de individuos no resinados de *Pinus pinaster* (N= 24). Negrita y asteriscos indican $p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ (**), $p < 0.001$ (***)

	Long X (μ)	CAf (Nº CA/mm ²)	CAs (μ^2 /mm ²)
<i>Efecto inter-sujetos</i>			
Tratamiento	1.43	7.45**	10.88***
<i>Efecto intra-sujetos</i>			
Año	14.7***	11.38***	15.82***
Año * Tratamiento	0.92	6.65***	9.53***

Estos resultados sugirieron hacer ANOVAs de una vía para cada año estudiado. La frecuencia y superficie de canales axiales presentaron comportamientos similares sin diferencias entre tratamientos para los 2 primeros años (2013 y 2014, años previos a la quema y resinación) pero con diferencias significativas en los dos siguientes (Figura 2).

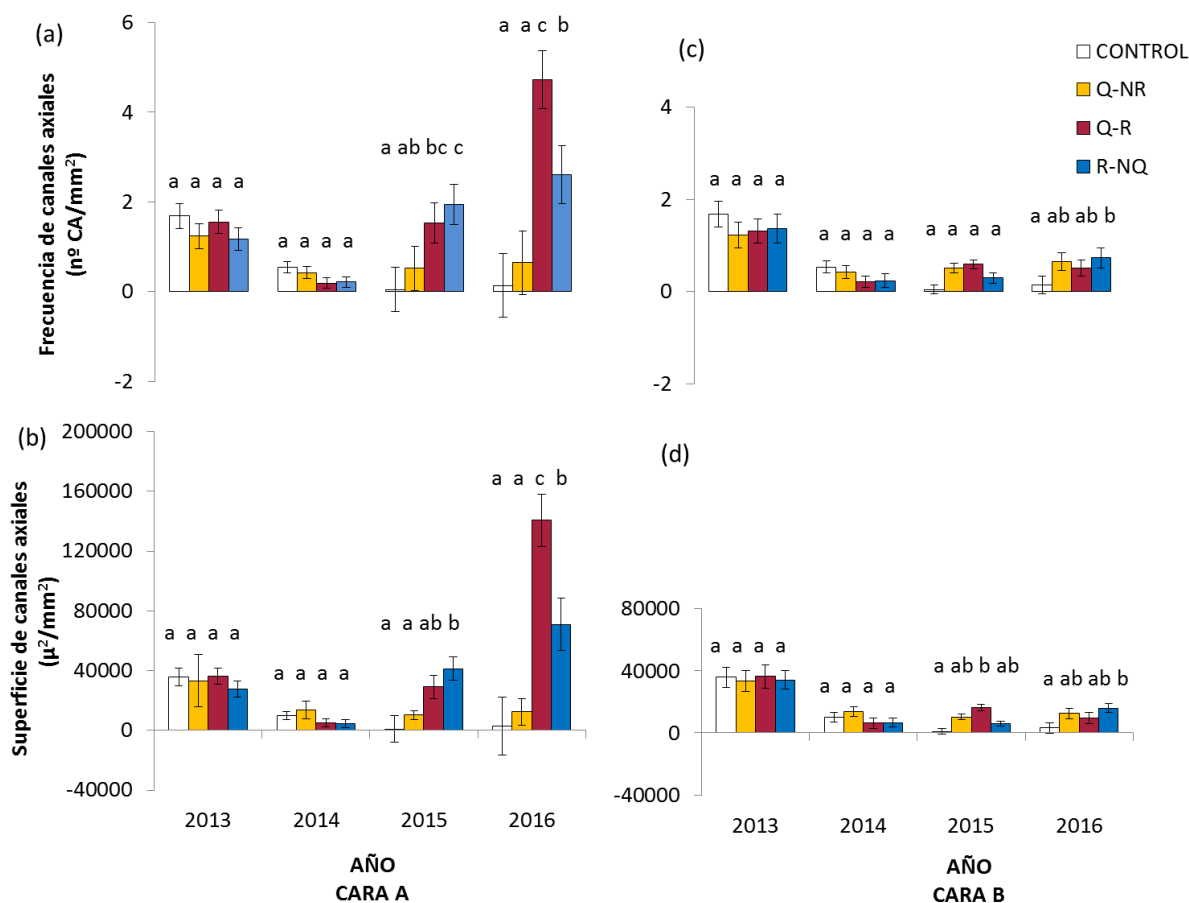


Figura 2. Valores medios de las variables anatómicas frecuencia (a y c) y superficie de canales axiales (b y d) (CAf y CAs) medidas en los cuatro años de estudio (2013-2016) en la cara resinada (a y b) (cara A, efecto local) y la cara opuesta (b y c) a la resinación (cara B, efecto sistémico) para individuos de *Pinus pinaster* sometidos a tres tratamientos distintos: quemados-no resinados (Q-NR, barras amarillas), quemados-resinados (Q-R, barras rojas) y no quemados-resinados (R-NQ, barras azules) y árboles control (barras blancas) (N=24). Las letras distintas identifican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada año estudiado (ANOVA de una vía, test LSD $p < 0,05$).

El año 2015, primer año de resinación y año de las quemas, las frecuencias y superficies de canales en árboles control y árboles únicamente quemados (no resinados) fueron similares. Sin embargo los pies resinados, quemados o no, fueron significativamente mayores que los control y sin diferencias entre ellos (Fig. 2a y 2b). El año siguiente, 2016, en los que se resinó de nuevo pero ya no fueron realizadas quemas, de nuevo no se observaron diferencias entre los árboles control y los solo quemados. Sin embargo, en este segundo año se apreciaron diferencias significativas entre los árboles resinados y además quemados y los solo resinados con valores que casi duplican la frecuencia y superficie de canales en los primeros frente a los segundos, mostrando la influencia del tratamiento de quema en la anatomía (figuras 2a y 2b).

b. Efecto sistémico; respuesta en los tejidos en la orientación opuesta a la herida de resinación

Los análisis realizados sobre los tejidos recogidos en la cara opuesta a la herida y en árboles no resinados mostraron que ninguna de las variables anatómicas estudiadas se veía influida por el tratamiento, aunque las tres presentaban el factor intrasujeto "año de estudio" con efecto significativo (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de F para el análisis de varianza de medidas repetidas en el intervalo 2013-2016 para las variables anatómicas; variación del crecimiento del xilema (Long_x), frecuencia de canales axiales por mm² (CAf) y superficie media por mm² ocupada por los canales axiales en el xilema (CAs), medidas en los tejidos en la cara opuesta a la herida de

resinación (cara B) de pies de *Pinus pinaster* y pies no resinados (N= 24). Negrita y asteriscos indican $p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ (**), $p < 0.001$ (***)

	Long_X (μ)	CAf (N° CA/mm ²)	CAs (μ^2 /mm ²)
<i>Efecto inter-sujetos</i>			
Tratamiento	0.21	0.19	1.79
<i>Efecto intra-sujetos</i>			
Año	16.86***	27.07***	34.84***
Año * Tratamiento	0.42	1.7	1.15

Estos resultados sugirieron hacer ANOVAs de una vía para cada año estudiado. Las variables frecuencia y superficie de canales presentaron valores medios significativamente mayores (LSD $p < 0.05$) en los resinados-quemados que los controles en el 2016 (Figura 2 c y d).

5. Discusión

No se han observado incrementos en la producción de resina en los pies sometidos al tratamiento de quema preventiva aunque si se encuentran diferencias significativas en algunas de las variables anatómicas relacionadas con la secreción de la misma. La frecuencia y superficie de canales axiales en árboles resinados fue mayor que en los no resinados (quemados o no) en 2015 y 2016, pero estas mismas variables mostraron mayores valores en pies resinados-quemados que en pies únicamente resinados en el año siguiente al tratamiento de quemas (2016) (Figura 2a y 2b). No se encontraron diferencias anatómicas entre los pies solo quemados y los control.

Estudio de la producción

El efecto observado de incremento en estas variables de canales en pies quemados-resinados frente a los solo resinados (Fig 2a y 2b) no se ve acompañado de un incremento en la producción. La falta de correspondencia entre la presencia de canales y el flujo de resina ha sido discutida en trabajos previos basándose principalmente en las características del sistema de defensa en pinos. Este sistema se fundamenta en procesos de síntesis de resina y su translocación de manera que la relación entre las estructuras productoras y la resina pueda verse limitada (Lewinsohn et al., 1991; Nagy et al., 2006; Rodríguez-García et al., 2014; Rodríguez-García et al. 2016). Por otro lado, el importante incremento de canales observado en el 2016 se ha detectado en tejidos 15 cm por encima del límite de la herida y la formación de los canales se produce en términos generales en los mismos meses de resinación (Rodríguez-García et al. 2016) de manera que esos nuevos canales podrían no estar aportando directamente a la producción de ese año. El aporte de los canales traumáticos, que suponen un importante incremento de la producción medida (Ruel et al., 1998; Lombardero et al., 2000) sería esperable en el año siguiente a su formación. De este modo, la entalladura que sería realizada en 2017 se practicaría sobre los tejidos analizados en 2016 pudiendo en ese momento estimar el aporte de los canales traumáticos en la producción. Hay que tener en cuenta finalmente que el flujo de resina se encuentra relacionado con otras variables no vinculadas a la anatomía como la viscosidad, la tasa de cristalización o la presión de exudación (Pardos et al., 1976; Hodges et al., 1981) y que tan solo se realizó una pica en el caso del 2015 y 2 en el 2016 pudiendo restar fiabilidad a los resultados finales.

Estudio anatómico: efecto local y sistémico

El estudio de los tejidos en las dos orientaciones de los pies resinados permite establecer las características del efecto de la herida. Se observaron frecuencias de canales de más del doble en la cara resinada que en la opuesta en el 2015 y casi diez veces mayores para el 2016 (Figura 2a y 2c). Estos resultados se apoyan en distintos trabajos que analizan la influencia de la herida en los tejidos que la rodean destacando que el género *Pinus* presenta respuestas traumáticas más locales que otras pináceas y que, además, parecen atenuarse rápidamente según se toma distancia de la zona afectada (Nagy et al., 2006; Rodríguez-García et al., 2016). El metil jasmonato que se expresa en coníferas como respuesta a una herida presenta un movimiento a través del parénquima que rodea los canales resiníferos, tanto del xilema como del floema (Franceschi et al., 2000; Hudgins & Franceschi, 2004). La dirección y el gradiente de la intensidad de la señal diferenciadora de estas estructuras explicarían las mayores reacciones encontradas en la dirección axial y en la zona más próxima. También se encontró una influencia más débil pero significativa a nivel sistémico que ya ha sido observada en trabajos con mayor tamaño muestral sobre árboles resinados (Rodríguez-García et al., 2014; Rodríguez-García et al., 2016). Este efecto, que se presenta en todo el fuste y a más largo plazo, forma parte de las estrategias de las pináceas asociadas a su resistencia a plagas (Kane and Kolb, 2010; Ferrenberg et al., 2014; Hood et al., 2015) y plantea interesantes líneas de investigación en este campo.

Los resultados que nos señalan la acentuación de esta respuesta en árboles quemados-resinados frente a los solo resinados (Figura 2a y 2b) es de especial interés a la hora de tener en cuenta el tratamiento con quemas como recomendable en pinares que vayan a ser resinados. El incremento de estructuras secretoras como respuesta a distintos estreses ha sido ampliamente descrito como se vio en la introducción y en concreto como respuesta a heridas mecánicas (Ruel et al., 1998; Luchi et al., 2005). Sin embargo, trabajos que analizaron el efecto en la producción de resina como respuesta a tratamientos combinados de fuego y herida o inoculación y herida no observaron diferencias con el tratamiento de solo herida (Knebel et al., 2008; Lombardero et al., 2006). Estos trabajos sin embargo no estudiaron las variaciones en la anatomía y justifican el resultado por la limitada capacidad de almacenamiento y síntesis de los canales. Recientes estudios sobre el efecto de las quemas de baja intensidad en la anatomía (Hood et al., 2015) sí que observaron incrementos en la superficie de canales en árboles quemados frente a control. En nuestro caso ese resultado solo se observa en los quemados-resinados frente a los solo resinados señalando que es necesaria la estimulación de la herida de resinación para que se observe el efecto de la quema. El importante incremento de canales encontrado, sobre todo el año siguiente a la quema, justifica la hipótesis de que la suma de los efectos de la herida más el fuego estimulen de manera más intensa y desde un momento más temprano la formación de canales. Hood et al., (2015) explica la respuesta observada como un caso de resistencia sistémica inducida (Bonello et al., 2006; Eyles et al., 2010) que podría también dar respuesta a nuestras observaciones que muestran también un incremento en la cara opuesta a la herida el año siguiente a las quemas (Figura 2c y 2d).

La ausencia de diferencias en las variables de canales entre los pies control y los quemados, tanto el año de la quema como el siguiente, indica que este tratamiento por sí mismo no parece tener la suficiente incidencia sobre la planta como para generar una respuesta defensiva. Sin embargo, encontramos distintos estudios que sí han encontrado una relación directa entre quemas e incremento de flujo de resina en *Pinus* spp (Lombardero et al., 2006; Knebel y Wentworth 2007, Cannac et al., 2009). Estos estudios realizaban mediciones de mayor precisión y con mucha mayor frecuencia que las realizadas en este trabajo al ser nuestro objetivo estimar estos incrementos en términos de producción resinera. En este sentido es posible plantear que un estudio de más individuos o con mediciones de mayor precisión y/o mayor frecuencia aportaría distintos resultados en relación a la producción. Por otro lado, la intensidad de las quemas así como la época de realización podría dar otros resultados que permitirían definir con más precisión el uso de las quemas como estrategia de mejora en el rendimiento del aprovechamiento resinero

Formación de madera

El incremento observado en la frecuencia y superficie por mm² de los canales axiales tras la resinación (Figura 2a y 2b) está asociado con un alto coste energético asociado a los procesos de diferenciación (Bonello et al., 2006), que podría suponer menores inversiones en procesos de crecimiento en el año correspondiente. Sorprendentemente este efecto no se ha observado tras las heridas realizadas en la campaña de 2015 o 2016. Estos resultados no coinciden con observaciones de estudios anteriores sobre heridas mecánicas (Fahn & Zamsky, 1970; Ballesteros et al., 2010) y, específicamente, con que la resinación parece reducir el crecimiento radial (Génova et al., 2014; Rodríguez-García et al., 2016). El tamaño de la muestra puede estar ocultando parcialmente este resultado ya que si se observa una diferencia entre las dos orientaciones que sin embargo no es asignable al efecto de la resinación en nuestro estudio.

6. Conclusiones

Los resultados de este trabajo sugieren que las quemas prescritas bajo arbolado no han supuesto una disminución de los crecimientos en diámetro de los pies de *Pinus pinaster* estudiados, ratificando la resistencia de esta procedencia a los fuegos de baja intensidad. El estudio anatómico realizado indica que el efecto de la resinación es significativamente más importante que el de la quema en la generación de estructuras defensivas inducidas. Se han observado algunos efectos agregados en los árboles quemados-resinados en la generación de mayor frecuencia y superficie de canales en la cara de resinación, que sin embargo no se han traducido en un aumento de la producción de resina. Aunque es necesario realizar un seguimiento a medio y largo plazo de estas parcelas para ratificar esta experiencia, los resultados mostrarían que la quema prescrita bajo arbolado, si no la favorece, al menos no perjudica la producción de resina y por tanto podría ser aplicada como un primer tratamiento previo a la apertura de las caras de resinación para disminuir la carga de combustible bajo arbolado que permita el acceso al resinero y disminuya el peligro de incendios futuros en masas en producción que son mucho más susceptibles y menos resilientes a los incendios forestales. A la vista de los resultados serían necesarias más experiencias en la que se puedan probar diferentes prescripciones de quema (mayor severidad, estación del año, técnica de encendido) que, sin perjudicar al arbolado, puedan favorecer la producción en los primeros años de resinación.

7. Agradecimientos

La planificación y toma de datos de las parcelas fueron coordinadas por David González Sancho (TRAGSA) dentro de la encomienda de gestión del MAPAMA a TRAGSA “Propuesta para la prestación del servicio de funcionamiento del dispositivo de extinción y prevención de incendios forestales del MAGRAMA” y bajo el asesoramiento científico del CIF-Lourizán (Xunta de Galicia) y el Laboratorio de Incendios Forestales del INIA (Centro de Investigación Forestal). La ejecución de las quemas fue realizada por personal del BLP de Lubia (Soria) en el seno de la citada encomienda. Los trabajos de resinación y recogida de muestras se realizaron con la ayuda y el apoyo del personal de los Servicios Forestales de Soria (Junta de Castilla y León). La colaboración INIA-UPM se ha desarrollado en el contexto de los proyectos MedWildFireLab (PCIN-2013-141-C04-04) y GEPRIF (RTA2014-00011-C06-01).

8. Bibliografía

Actas del II Simposio Internacional de Resinas Naturales. 2013. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Secretaría General Técnica. Madrid

ARBELLAY, E.; STOFFEL, M.; SUTHERLAND, E.K.; SMITH, K.T.; FALK, D.A. 2014. Resin duct size and density as ecophysiological traits in fire scars of *Pseudotsuga menziesii* and *Larix occidentalis*. Ann Bot. 114(5), 973-980.

BONELLO, P.; GORDON, T.R.; HERMS, D.A.; WOOD, D.L.; ERBILGIN, N. 2006. Nature and ecological implications of pathogen-induced systemic resistance in conifers: a novel hypothesis. *Physiol Mol Plant Pathol.* 68(4), 95-104.

CANNAC M. ; BARBONI T. ; FERRAT L. ; BIGHELLI A. ; CASTOLA V. ; COSTA J. ; TRECUL D. ; MORANDINI F. ; PASQUALINI V. 2009 Oleoresin flow and chemical composition of Corsican pine (*Pinus nigra* subsp. *Laricio*) in response to prescribed burnings. *For Ecol Manag* 257:1247–1254.

EYLES, A.; BONELLO, P.; GANLEY, R.; MOHAMMED, C. 2010. Induced resistance to pests and pathogens in trees. *New Phytol*, 185, 893–908.

FAHN, A.; ZAMSKI, E. 1970. Influence of pressure, wind, wounding and growth substances on rate of resin duct formation in *Pinus halepensis* wood. *Isr J Bot.* 19 (2-3):429-46.

FERNANDES, P. M.; RIGOLOT, E. 2007. The fire ecology and management of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *For Ecol Manag.* 241(1), 1-13.

FERRENBURG, S.; KANE, J. M.; MITTON, J.B. 2014. Resin duct characteristics associated with tree resistance to bark beetles across lodgepole and limber pines. *Oecologia*, 174(4), 1283-1292.

FRANCESCHI, V.R.; KROKENE, P.; KREKLING, T.; CHRISTIANSEN, E. 2000. Phloem parenchyma cells are involved in local and distant defense responses to fungal inoculation or bark-beetle attack in Norway spruce (*Pinaceae*). *Am. J. Bot.* 87, 314–326.

FRANCESCHI, V.R.; KROKENE, P.; CHRISTIANSEN, E.; KREKLING, T. 2005. Anatomical and chemical defenses of conifer bark against bark beetles and other pests. *New Phytol.* 167(2):353-375.

GÉNOVA, M.; CAMINERO, L.; DOCHAO, J. 2014. Resin tapping in *Pinus pinaster*: effects on growth and response function to climate. *Eu J For Res.* 1-11.

GIL, L. 1991. Consideraciones históricas sobre *Pinus pinaster* Aiton en el paisaje vegetal de la Península Ibérica. *Estudios geográficos*, LII, nº 202: 5-27.

HAINES, T. K. ; BUSBY, R. L. ; CLEAVES, D. A. 2001. Prescribed burning in the South: trends, purpose, and barriers. *Southern J App Forestry*, 25(4), 149-153.

HERNÁNDEZ, L. 2009. La profesión de resinero; el ocaso de un oficio centenario. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid.

HODGES, J.D. ; ELAM W.W. ; BLUHM D.R. 1981. Influence of resin duct size and number of oleoresin flow in the southern pines. *USDA Forest Service*, Note SO-226, 3.

HOOD, S. ; SALA, A. ; HEYERDAHL, E. K. ; BOUTIN, M. 2015. Low severity fire increases tree defense against bark beetle attacks. *Ecology.* 96(7), 1846-1855.

HUDGINS, J.W.; FRANCESCHI, V.R. 2004. Methyl jasmonate-induced ethylene production is responsible for conifer phloem defense responses and reprogramming of stem cambial zone for traumatic resin duct formation. *Plant Physiol* 135(4): 2134-2149.

KANE, J.M. ; KOLB, T.E. 2010. Importance of resin ducts in reducing ponderosa pine mortality from bark beetle attack. *Oecologia*. 164(3): 601-609.

KARBAN, R.; BALDWIN, I.T., 1997. Book Review in Ecology: Induced responses to herbivory. Interspecific interactions. University of Chicago Press, Illinois.

KNEBEL, L.; ROBISON, D.J.; WENTWORTH, T.R.; KLEPZIG, K.D. 2008. Resin flow responses to fertilization, wounding and fungal inoculation in loblolly pine (*Pinus taeda*) in North Carolina. *Tree Physiol*. 28, 847-53.

KNEBEL, L.; WENTWORTH, T. R. 200). Influence of fire and southern pine beetle on pine-dominated forests in the Linville Gorge Wilderness, North Carolina. *Castanea*, 72(4), 214-225.

LEWINSOHN, E.; GIJZEN, M.; CROTEAU, R. 1991. Defense-mechanisms of conifers - differences in constitutive and wound-induced monoterpene biosynthesis among species. *Plant Physiol*. 96 (1):44-49.

LOMBARDERO, M.J.; AYRES, M.P.; LORIO, P.L.; RUEL, J.J. 2000. Environmental effects on constitutive and inducible resin defences of *Pinus taeda*. *Ecol Letters*, 3 (4):329-339.

LOMBARDERO, M.J.; AYRES, M.P.; AYRES, B.D. 2006. Effects of fire and mechanical wounding on *Pinus resinosa* resin defenses, beetle attacks, and pathogens. *For Ecol Manag.* 225, 349-358.

LUCHI, N.; MA, R.; CAPRETTI, P.; BONELLO, P. 2005. Systemic induction of traumatic resin ducts and resin flow in Austrian pine by wounding and inoculation with *Sphaeropsis sapinea* and *Diplodia scrobiculata*. *Planta* 221, 75-84.

NAGY, N.E.; FRANCESCHI, V.R.; SOLHEIM, H.; KREKLING, T.; CHRISTIANSEN, E. 2000. Wound-induced traumatic resin duct development in stems of Norway spruce (*Pinaceae*): anatomy and cytochemical traits. *Am J Bot.* 87: 302-313.

NAGY, N.E.; KROKENE, P.; SOLHEIM, H. 2006. Anatomical-based defense responses of Scots pine (*Pinus sylvestris*) stems to two fungal pathogens. *Tree Physiol*. 26, 159-167.

PARDOS, J.A.; SOLIS W.; MORO, J. 1976. Estudio de las variaciones estacionales de la presión de exudación de la resina en árboles, grandes productores y de producción media. Comunicaciones INIA, Serie Recursos Naturales, n° 4, 29

PERRAKIS, D. D.; AGEE, J. K. ; EGLITIS, A. 2011. Effects of prescribed burning on mortality and resin defenses in old growth ponderosa pine (Crater Lake, Oregon): Four years of post-fire monitoring. *Nat Area J.* 31(1), 14-25.

PINILLOS, F. 2014. La resina: una nueva oportunidad. *Foresta*. N°62. 24-26

PYNE, S. J.; ANDREWS, P. L.; LAVEN, R. D. 1996. Introduction to wildland fire. No. Ed. 2. John Wiley and Sons.

RODRÍGUEZ-GARCÍA, A., MARTÍN, J. A., LÓPEZ, R., SANZ, A., & GIL, L. 2016. Effect of four tapping methods on anatomical traits and resin yield in Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). Ind Crop Prod. 86, 143-154.

RODRÍGUEZ-GARCÍA, A.; MARTÍN, JA.; LÓPEZ, R.; MUTKE, S.; PINILLOS, F.; GIL, L. 2015. Influence of climate variables on resin yield and secretory structures in tapped *Pinus pinaster* Ait. in central Spain. Agr Forest Meteorol 202: 83-93.

RODRÍGUEZ-GARCÍA, A.; LÓPEZ, R. ; MARTÍN, JA. ; PINILLOS, F.; LUIS GIL. 2014. Resin yield in *Pinus pinaster* is related to tree dendrometry, stand density and tapping-induced systemic changes in xylem anatomy. For Ecol Manag 313: 47-54.

RUEL, J.J.; AYRES, M.P.; LORIO, JR.; P.L. 1998. Loblolly pine responds to mechanical wounding with increased resin flow. Can J For Res. 28(4), 596-602.

RYAN, K. 2000. Técnicas para establecer prescripciones que minimizen o reduzcan la mortalidad del arbolado. Cuadernos de la SECF, N°9, pp 59-77

TRAPP, S.; CROTEAU, R. 2001. Defensive resin biosynthesis in conifers. Annual Review of Plant Physiol Plant Mol Biol. 52, 689.

WIMMER, R.; GRABNER, M. 1997. Effects of climate on vertical resin duct density and radial growth of Norway spruce *Picea abies* (L) karst. Trees 11(5): 271-276. doi:10.1007/pl00009673