

Margarita Lema*, Adrián López-Villamor, Rafael Zas

Misión Biológica de Galicia – Consejo Superior de Investigaciones Científicas (MBG-CSIC)

Efectos colaterales del aprovechamiento resinero sobre el crecimiento, la reproducción y la sanidad de las masas

Buscando dar respuesta a la inquietud existente sobre la compatibilidad de la producción de madera y resina en los pinares atlánticos, dentro del proyecto ACREMA hemos analizado el efecto de la resinación durante varios años seguidos sobre la calidad de la madera y sobre el crecimiento, la reproducción y la sanidad de los árboles. Los resultados sugieren un mínimo impacto del aprovechamiento resinero sobre las principales funciones del árbol. En particular, el impacto sobre el crecimiento y sobre la inversión defensiva y reproductiva son pequeños y no siempre en sentido negativo. Con este trabajo aportamos conocimientos sólidos que pueden ser importantes para que el sector resinero resurja con fuerza y contribuya al desarrollo económico y social de zonas rurales en riesgo de despoblamiento.

INTRODUCCIÓN

La resina de los pinos, una sustancia viscosa y pegajosa compuesta por una compleja mezcla de terpenos tóxicos o repelentes para insectos y patógenos, constituye el principal sistema de defensa frente a plagas y enfermedades. Además, la resina es un recurso renovable que puede sustituir a los derivados del petróleo en multitud de aplicaciones industriales, lo que ha generado un creciente interés por este producto forestal, cuya producción en la UE apenas supera el 25 % de lo que esta necesita. Así, la extracción de resina emerge como una actividad económica complementaria a la producción maderera que puede contribuir a evitar el abandono de los ecosistemas forestales, ayudando a preservar los servicios ecosistémicos que estos aportan. Durante los últimos años se observa un importante repunte de la actividad resinera en los pinares ibéricos, incluso en zonas con escasa tradición, como es el caso de los pinares atlánticos de pino marítimo (*Pinus pinaster*) orientados a producir madera.

En estas zonas, sin embargo, existe cierta desconfianza entre los propietarios, técnicos y administradores sobre la compatibilidad del aprovechamiento resinero con el maderero, especialmente en relación al efecto de la resinación sobre dos aspectos clave: la producción (cantidad y calidad) de madera y la sanidad de las masas, aspecto este último especialmente delicado en el actual contexto de cambio global, con graves amenazas de patógenos invasores exóticos como el nematodo del pino (*Bursaphelenchus xylophilus*) o el chancro resinoso (*Fusarium circinatum*).

La información científica contrastada sobre estos aspectos es escasa. Respecto a la producción de madera, teóricamente la extracción de resina supone una importante retirada de recursos ricos en carbono (Rodríguez-Honda *et al.*, 2023), que el árbol deja tener disponibles para su crecimiento. Se espera, por tanto, un efecto negativo en el crecimiento (Du *et al.*, 2022). Las evidencias empíricas son, sin embargo, poco concluyentes y van desde efectos negativos de poco impacto (Chen *et al.*, 2015) a efectos positivos, con mayor crecimiento radial en árboles resinados que en árboles control (van der Maaten *et al.*, 2017). Un trabajo reciente en *P. pinaster* sugiere que el impacto de la resinación sobre el crecimiento depende de la edad del arbolado y tiende a ser menor en árboles más viejos (Moura *et al.*, 2023), un resultado que coincide con el limitado efecto de la resinación en los patrones de crecimiento radial observado en árboles de avanzada edad (Génova *et al.*, 2013).

Sobre el impacto del aprovechamiento resinero sobre las interacciones entre los pinos y sus enemigos naturales la información es todavía más limitada (Zevgolis *et al.*, 2022; Zaluma *et al.*, 2022). A nivel teórico, es bien conocido que los pinos son capaces de responder a agresiones externas desencadenando un amplio abanico de respuestas defensivas que protegen al árbol y evitan que el ataque prospere. El aprovechamiento resinero supone realizar importantes y continuadas heridas a



Figura 1. Esquema conceptual del trabajo mostrando los tres aspectos estudiados (crecimiento, defensas y reproducción) en árboles resinados y no resinados.

las que es esperable que los árboles respondan aumentando tanto la diferenciación de estructuras defensivas (*e. g.* canales resiníferos) como la producción de compuestos químicos defensivos (*e. g.* resina, fenoles, taninos) (Rodríguez-García *et al.*, 2014). Ello explicaría el aumento de la producción de resina en sucesivas campañas de resinación que se observa habitualmente (Touza *et al.*, 2021). Sin embargo, el aprovechamiento resinero también supone una importantísima retirada de recursos carbonados (Rodríguez-Honda *et al.*, 2023), recursos que son limitados y pueden agotarse, lo que podría limitar a medio plazo la producción de defensas químicas ricas en carbono (Du *et al.*, 2022). A su vez, la cantidad de resina retirada puede ser tan grande que el árbol no sea capaz de reponerla a tiempo y necesite reubicar resina de otras zonas hacia la zona de producción. Estos posibles efectos sistémicos podrían suponer un problema sanitario, al debilitar otras partes o tejidos del árbol.

Un aspecto que también podría verse afectado por la resinación, pero que aún no se ha explorado, es la función reproductiva. Los pinos son especies que producen estructuras reproductivas masculinas y femeninas todos los años, lo que supone importantes costes en términos de recursos (Santos-Del-Blanco y Climent, 2014). Si el aprovechamiento resinero no solo implica un sumidero de recursos carbonados sino también induce la producción de compuestos defensivos, la mayoría de ellos ricos en carbono, es esperable que los árboles resinados dispongan de menos recursos para invertir en estructuras reproductivas, lo que podría comprometer la regeneración natural de las masas resinadas (Bravo *et al.*, 2017).

Este trabajo surge con el objetivo de determinar hasta qué punto el aprovechamiento resinero afecta 1) al crecimiento y, por lo tanto, a la producción de madera, 2) a la inversión defensiva en distintos tejidos y partes del árbol, y por tanto a la susceptibilidad a plagas y enfermedades, y 3) a la inversión reproductiva y por tanto a la regeneración de los pinares (Figura 1).

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

El estudio se centró en dos pinares atlánticos maduros de aproximadamente 45 años de edad (Caldas de Reis, en Pontevedra y Pantón, en Lugo) orientados principalmente a la producción de madera y situados en ambientes favorables con alto índice de sitio. En ambos montes se seleccionaron 6 árboles resinados mediante el sistema tradicional de pica de corteza ascendente durante al menos 3 campañas consecutivas y 6 árboles control sin resinar en la misma zona, buscando homogenizar al máximo las características dendrométricas de ambos grupos. En Caldas los árboles fueron resinados durante 5 años a una cara, mientras que en Pantón fueron resinados durante 3 años a dos caras paralelas y separadas por un espacio de corteza sin resinar. En estos árboles se analizaron los siguientes caracteres: a) flujo de resina en distintas posiciones del tronco respecto a la zona resinada empleando para ello la técnica de micro-resinación (Zas *et al.*, 2020) (Figura 2), b) defensas químicas (resina no volátil, polifenoles totales, taninos, lignina, flavonoides y terpenos) en tallo, ramas y acículas) el crecimiento radial mediante análisis dendrométricos (Figura 3), y d) la inversión reproductiva mediante conteo de

piñas y semillas (Figura 4). Para el muestreo y evaluaciones los árboles se derribaron en primavera de 2022.

RESULTADOS

Efectos sobre el crecimiento

Los resultados revelan que la resinación tuvo un ligero efecto negativo sobre el crecimiento radial de los árboles, si bien este solo se muestra en los últimos anillos, tras varios años de resinación (Figura 5a). Promediando el crecimiento radial durante todo el período de resinación no se aprecian diferencias en crecimiento entre árboles resinados y no resinados.

Efectos sobre las defensas

Respecto a la función defensiva, el análisis de los anillos de crecimiento revela que los árboles resinados responden a las heridas causadas por la resinación con un aumento en la diferenciación de canales resiníferos en la madera tardía, especialmente en los primeros años tras el inicio de la actividad resinera (Figura 5b). Este incremento en el número de canales se tradujo en un aumento del flujo de resina, especialmente en la parte superior y media de la cara resinada, así como en un incremento en la concentración de fenoles totales, flavonoides y taninos condensados (Figura 5c), compuestos químicos con un importante papel en la defensa contra plagas y enfermedades. Para el resto de variables defensivas no se observaron diferencias significativas entre árboles resinados y no resinados. No obstante, en general, todas las variables defensivas: resina no volátil, lignina, flavonoides, polifenoles totales, taninos condensados, tendieron a mostrar niveles inferiores en la copa de árboles resinados (acículas y/o ramas) respecto a aquella de árboles no resinados, pero estas diferencias solo fueron significativas para los taninos en acículas (Figura 5d). Estos resultados sugieren que la resinación tiene efectos en zonas alejadas de las heridas asociados

bien al alto coste energético y de recursos que supone la inducción de defensas en las proximidades de las heridas de resinación o bien la movilización de defensas químicas ya sintetizadas desde zonas alejadas hacia las proximidades de estas heridas. La ligera merma del flujo de resina observada en la cara opuesta a la resinada sugiere procesos de translocación de recursos (Figura 5e) mientras que la reducción en el contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo) observado en las acículas de la copa de árboles resinados es consistente con los costes de las respuestas defensivas inducidas.

Efectos sobre la reproducción

En cuanto a la inversión reproductiva, no observamos efectos de la resinación sobre la diferenciación de conos femeninos ni sobre la producción de piñas maduras (Figura 5f). Tampoco se observaron efectos sobre la cosecha de semillas tanto en número (número total de piñones) como en tamaño (peso total de piñones), ni sobre la calidad o tamaño promedio de las semillas o el porcentaje de viabilidad de estas. Sin embargo, sí se observaron diferencias significativas en la germinación de las semillas de árboles resinados que germinaron ligeramente antes que la de árboles no resinados (Figura 5g). Estos resultados sugieren que los efectos locales de la resinación (fundamentalmente una respuesta defensiva positiva alrededor de la zona de intervención) no solo pueden tener consecuencias en zonas alejadas como la copa de estos árboles (de más de 20 m de altura), sino que también pueden afectar a algunas propiedades de la semilla que, a su vez, influyen en el proceso de germinación de las mismas y podrían, por tanto, afectar a la siguiente generación. En cualquier caso, es importante señalar que los efectos observados son en sentido positivo con un adelanto de la germinación en árboles resinados, de manera equivalente a lo que se suele observar en frutales, donde se aplican anillamientos del tronco como tratamientos estimuladores de la producción de fruto.



Figura 2. Estimación del flujo de resina mediante micro-resinación en distintas posiciones en relación a las picas realizadas durante las campañas previas de resinación. (A) Árbol control en Caldas (Pontevedra) y (B) árbol resinado en Pantón (Lugo).



Figura 3. Extracción de testigos de madera mediante barrena de Pressler para llevar a cabo los estudios dendrométricos.



Figura 4. Muestreo de (A) rodajas basales de madera para análisis de efectos sobre crecimiento mediante procedimientos dendrocronológicos, y (B) piñas maduras e inmaduras muestreadas en uno de los árboles experimentales para análisis de efectos sobre la inversión reproductiva.

CONCLUSIONES

En definitiva, se puede concluir que la resinación sí tuvo efectos sobre la fisiología y el comportamiento de los árboles tanto a nivel local como sistémico. En particular se observaron efectos claros en variables defensivas, con la resinación provocando respuestas locales que mejoran la capacidad defensiva en las zonas del tronco más próximas a las zonas de intervención. Estas respuestas defensivas locales sugieren una mayor protección de los árboles frente a plagas (e. g. escolítidos) y

enfermedades (e. g. chancro resinoso) que afectan al tronco principal. Sin embargo, las respuestas defensivas locales no parecen resultarle gratis al árbol. Asociada al incremento defensivo en la zona de los traumatismos, también se observó una tendencia a una menor concentración de defensas en zonas alejadas de la copa (sólo significativa para taninos condensados en los tallos de las ramas) que apuntan hacia una ligera debilitación en ciertas partes del árbol desde el punto de vista sanitario, que podría traducirse en una mayor propensión al ataque

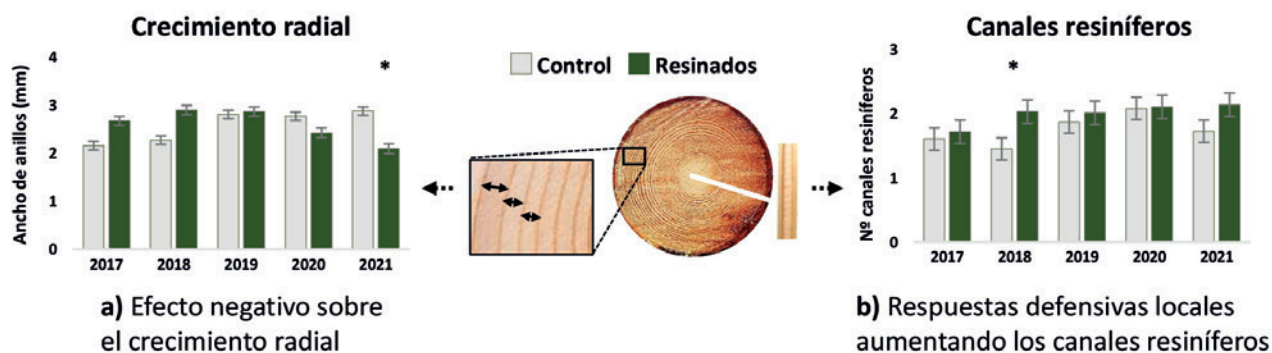
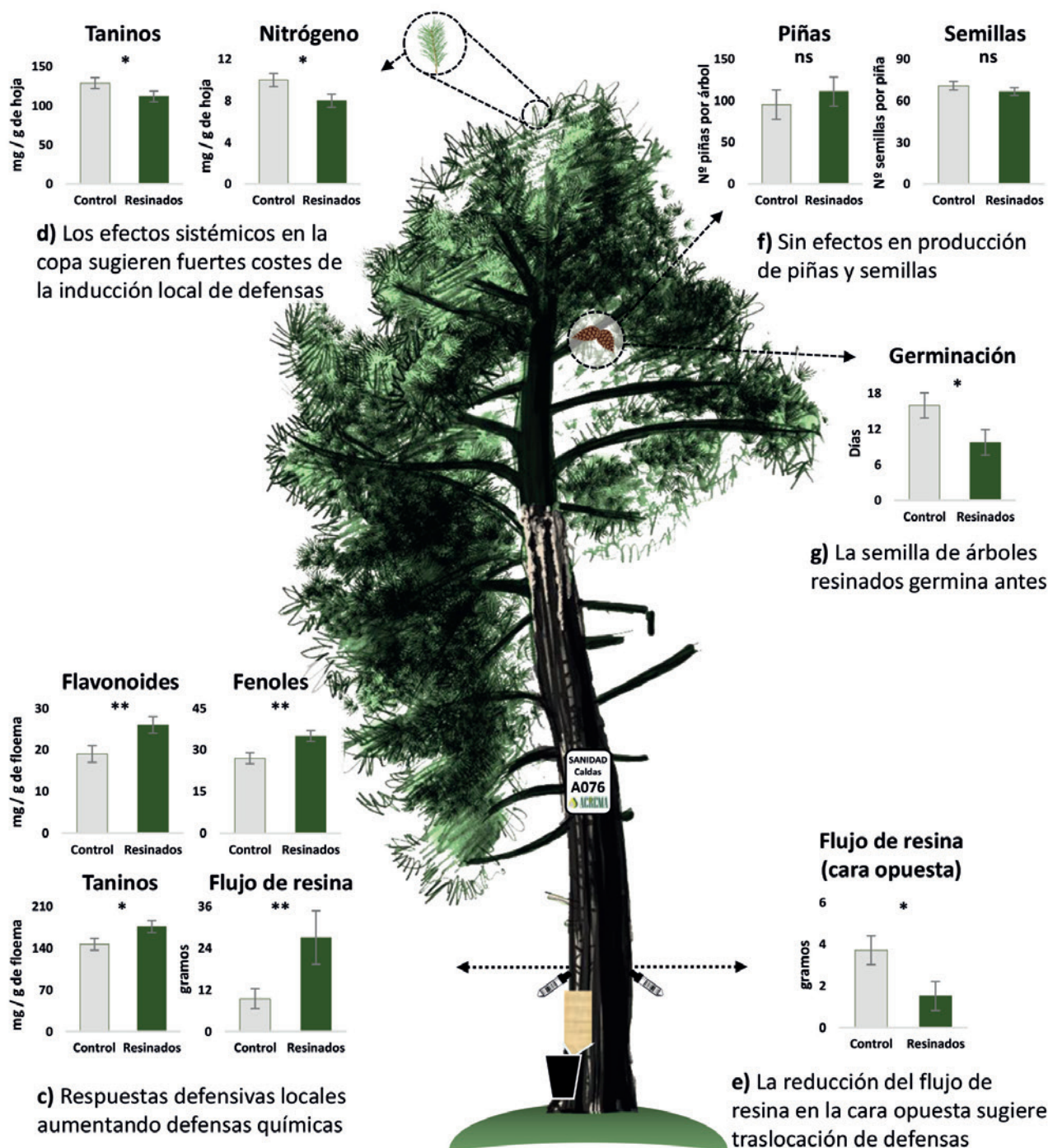


Figura 5. Resumen de los principales resultados mostrando los efectos promedios en las dos parcelas del aprovechamiento resinero sobre a) el crecimiento, b) los canales resiníferos en el tronco, c) las defensas químicas las proximidades de la herida, d) las defensas químicas en la copa, e) las defensas en la cara opuesta a la resinada, f) la inversión reproductiva y g) la germinación de las semillas. Diferencias no significativas (ns) o significativas con una probabilidad de $P < 0,05$ (*) o $P < 0,01$ (**).

de defoliables (*e. g.* procesionaria). Sin embargo, es conveniente confirmar estos resultados con experimentos con mayor número de muestra y bioensayos. La menor concentración de nitrógeno y fósforo en las acículas de los árboles resinados también indica que las respuestas a los traumatismos generados por las sucesivas campañas de resinación tienen un alto coste en términos fisiológicos. Por su parte, una menor concentración de nutrientes en las acículas suele ir asociada a una menor preferencia de herbívoros defoliables, lo que podría compensar los efectos negativos sobre las defensas en la copa de los árboles.

En resumen, la resinación de los árboles durante 3-5 campañas consecutivas sí modifica los patrones de crecimiento secundario de los árboles, incrementó la producción de compuestos defensivos y afectó ligeramente al comportamiento germinativo de las semillas producidas por los árboles. En todos los casos, los efectos fueron pequeños y con pocas repercusiones prácticas. En base a estos resultados, se puede afirmar que no hay evidencias claras de que los pinos resinados sean más susceptibles a plagas y enfermedades.

Para conocer más sobre este trabajo, se puede visitar el canal de YouTube @genecolpines8980 y consulta el video: ¿Cómo responden los pinos cuando los resinamos? <https://youtu.be/AEf3OH4o-KY>

BIBLIOGRAFÍA

- Bravo, F., Maguire, D.A., González-Martínez, S.C., 2017. Factors affecting cone production in *Pinus pinaster* Ait.: lack of growth-reproduction trade-offs but significant effects of climate and tree and stand characteristics. *For. Syst.* 26, e075.
- Chen, F., Yuan, Y.J., Yu, S.L., Zhang, T.W., 2015. Influence of climate warming and resin collection on the growth of Masson pine (*Pinus massoniana*) in a subtropical forest, southern China. *Trees* 29, 1423-1430.
- Du, B., Luan, Q., Ni, Z., Sun, H., Jiang, J., 2022. Radial growth and non-structural carbohydrate partitioning response to resin tapping of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*). *J. For. Res.* 33, 423-433.
- Génova, M., Caminero, L., Dochao, J., 2013. Resin tapping in *Pinus pinaster*: effects on growth and response function to climate. *Eu. J. For. Res.* 133, 323-333.
- Moura, M., Campelo, F., Nabais, C., Garcia-Fornier, N., 2023. Resin tapping influence on maritime pine growth depends on tree age and stand characteristics. *Eu. J. For. Res.* <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01568-7>
- Rodrigues-Honda, K., Junkes, C.F.O., Lima, J.C., Waldow, V.A., Rocha, F.S., Sausen, T.L., Bayer, C., Talamini, E., Fett-Neto, A.G., 2023. Carbon sequestration in resin-tapped slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) subtropical plantations. *Biology* 12, 324.
- Rodríguez-García, A., López, R., Martín, J.A., Pinillos, F., Gil, L., 2014. Resin yield in *Pinus pinaster* is related to tree dendrometry, stand density and tapping-induced systemic changes in xylem anatomy. *For. Ecol. Manage.* 313, 47-54.
- Santos-Del-Blanco, L., Climent, J., 2014. Costs of female reproduction in a conifer tree: a whole-tree level assessment. *J. Ecol.* 102, 1310-1317.
- Touza, R., Lema, M., Zas, R., 2021. Timing of resin-tapping operations in maritime pine forests in Northern Spain. *For. Syst.* 30, eSC05-eSC05.
- van der Maaten, E., Mehl, A., Wilmking, M., van der Maaten-Theunissen, M., 2017. Tapping the tree-ring archive for studying effects of resin extraction on the growth and climate sensitivity of Scots pine. *For. Ecosyst.* 4, 7.
- Zaluma, A., Strike, Z., Rieksts-Riekstīņš, R., Gaitnieks, T., Vasaitis, R., 2022. Long-term pathological consequences of resin tapping wounds on stems of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees* 36, 1507-1514.
- Zas, R., Quiroga, R., Touza, R., Vázquez-González, C., Sampedro, L., Lema, M., 2020. Predicting resin tapping potential from intrinsic, silvicultural and ecological factors in Atlantic Maritime pine forests. *Ind. Crops Prod.* 157, 112940.
- Zevgolis, Y.G., Sazeides, C.I., Zannetos, S.P., Grammenou, V., Fyllas, N.M., Akriotis, T., Dimitrakopoulos, P.G., Troumbis, A.Y., 2022. Investigating the effect of resin collection and detecting fungal infection in resin-tapped and non-tapped pine trees, using minimally invasive and non-invasive diagnostics. *For. Ecol. Manage.* 524, 120498.



QUINTIAL
OBRAS Y SERVICIOS, S.L.

MÁS DE 30 AÑOS AL SERVICIO DE LOS MONTES DE CANTABRIA

B° La Rañada, 14.
Urb. Montesol

39716 El Bosque
Entrambasaguas
(Cantabria)

Tlf. 942 52 00 16
quintial.es