

04-005

RESIN PRODUCTION IN SPAIN: ANALYSIS OF THE EFFICIENCY WITH DIFFERENT PASTES AND METHODS

López Alvarez, Oscar ⁽¹⁾; Franco Vázquez, Luis ⁽¹⁾; Marey Pérez, Manuel Francisco ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Santiago de Compostela

The choice of resin tapping method and stimulant paste in the resin tapping process is crucial. For this reason, other authors carried out studies on the tapping methods with which the best yields are obtained, as well as studied the differences in productions obtained from different types of stimulant pastes. In this study, an appropriate experimental design used on five representative plots of P.pinaster, allowed us to explore the productive differences between two resin tapping methods (traditional and eurogemme) and three stimulant treatments (control, ethephon and ASACIF). The standard yields obtained showed that the traditional method yields 1.43 times more than the eurogemme method. The standard resin production after each groove trend during the season varied between both methods and the stimulant pastes. The tapping method influences the effectiveness of the paste, obtaining greater increases in resin yield after the application of stimulant paste in trees with the eurogemme method. The stimulant paste was the major factor that influence the resin yield, and the response of the tree was not strongly conditioned by dasometric factors, was mainly due to a combination with other factors (bioclimatic, edaphological, genetic. . .)

Keywords: resin yield; pinus pinaster; tapping methods; stimulant paste; differences

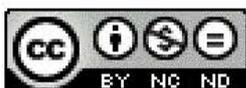
PRODUCCIÓN DE RESINA EN ESPAÑA: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA CON DIFERENTES PASTAS Y MÉTODOS

La elección del método de resinado y de la pasta estimulante en el proceso de resinado es crucial. Por este motivo, otros autores realizaron estudios sobre los métodos de extracción con los que se obtienen los mejores rendimientos, así como estudiaron las diferencias en las producciones obtenidas con distintos tipos de pastas estimulantes. En este estudio, se ha utilizado un diseño experimental adecuado utilizado en cinco parcelas representativas de P.pinaster que permitió explorar las diferencias productivas entre dos métodos de extracción de resina (tradicional y eurogemme) y tres tratamientos estimulantes (control, etefón y ASACIF). Los rendimientos estándar obtenidos mostraron que el método tradicional rinde 1,43 veces más que el método eurogemme. La producción estándar de resina durante la temporada varió entre ambos métodos y las pastas estimulantes. El método de extracción influye en la eficacia de la pasta, obteniéndose mayores incrementos en la producción de resina tras la aplicación de pasta estimulante en árboles con el método eurogemme. La pasta estimulante fue el principal factor que influir en la producción de resina, y la respuesta del árbol no estuvo fuertemente condicionada por factores dasométricos, se debió principalmente a una combinación con otros factores (bioclimáticos, edafológicos, genéticos. . .)

Palabras clave: rendimiento de resina; pinus pinaster; métodos de aprovechamiento; pasta estimulante; diferencias

Agradecimientos: Este trabajo ha contado con el apoyo del Gobierno español ("ACREMA", MAPA/AEI-Agri/FEADER, UE) [O00000226e2000043659].

Agradecimiento especial a la empresa FORESIN



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

En la familia Pinaceae, la resina es la principal defensa del árbol contra los desafíos bióticos (Phillips y Croteau 1999). La resina se produce de forma constitutiva en todos los tejidos del árbol, proporcionando una barrera física y química a los invasores (Luan et al. 2022). Además, la producción de resina es altamente inducible en respuesta a estímulos bióticos, con grandes incrementos en la producción tras lesiones mecánicas o ataques de patógenos e insectos (Lombardero et al. 2000, 2006; Kim et al. 2010). La resina de pino es una sustancia viscosa y pegajosa formada por una mezcla compleja de terpenos volátiles y no volátiles con una amplia variedad de usos potenciales en diferentes sectores industriales (Neis et al. 2019b; Demko y Machava 2022). Durante siglos, el ser humano ha aprovechado las propiedades de la resina recolectando este producto forestal no maderero de pinos vivos (Soliño et al. 2018). Hoy en día, la resina se extrae de los árboles aplicando repetidas heridas mecánicas potenciadas con pastas estimulantes a base de ácidos y recogiendo la resina que fluye de las heridas en recipientes abiertos o cerrados (Sharma et al. 2018).

El pino marítimo (*Pinus pinaster*) es la especie resinosa con mayor presencia en el sur de Europa y norte de África. Se extiende desde el sur de Francia, pasando por toda la Península Ibérica, norte de Italia, Córcega y norte de Túnez, Argelia y Marruecos (Caudullo et al. 2017). España es uno de los países donde el pino marítimo es una de las especies arbóreas forestales más representativas tanto en volumen maderable (153 millones m³, 14% del volumen maderable total) como en superficie (1,1 millones de ha, 5,35%) (MITECO 2019). El pino marítimo ha sido explotado resiníferamente durante mucho tiempo en España, principalmente en Segovia (Sebastián y Uriarte 2003; Pinillos et al. 2009; Rodríguez-García et al. 2014), una provincia situada en la Meseta Central española, que consiste en una meseta arenosa rodeada por varias cadenas montañosas. Tras una pronunciada crisis del sector resinero español a finales del siglo pasado (Pinillos et al. 2009), la creciente demanda por parte de la industria de bioproductos renovables alternativos ha impulsado la reactivación del sector desde el año 2000 (Soliño et al. 2018).

Además de las actividades de extracción de resina ya existentes en la Meseta Central española, actualmente se están llevando a cabo nuevas iniciativas para promover esta actividad en todo el país, incluso en zonas donde la producción de resina no se había ensayado previamente (Martínez, 2016). En concreto, la producción de resina se vislumbra como una atractiva actividad complementaria en el pinar marítimo maderable del noroeste de España (Gómez-García et al. 2017; Touza et al. 2021), no solo por la potencial contribución a la rentabilidad (Martínez et al. 2019), sino también por los múltiples y valiosos servicios ecosistémicos que proporciona la extracción de resina (Demko y Machava 2022; Soliño et al. 2018). Con grandes extensiones de pino marítimo (>400.000 ha) (MAGRAMA 2012) y una elevada producción primaria neta (Martins et al., 2009), los pinares atlánticos pueden tener un gran potencial de producción de resina. Sin embargo, los pinares de pino marítimo de estas zonas son marcadamente diferentes (por ejemplo, mayor potencial de crecimiento, menor oscilación térmica, mayores precipitaciones, menor sequía estival) de los de la Meseta Central donde se ha producido el conocimiento sobre el rendimiento de resina (Benito-Garzón et al. 2011). Queda por comprobar adecuadamente si los avances tecnológicos logrados en las zonas tradicionales son transferibles a las zonas atlánticas.

En la Península Ibérica, la extracción de resina se ha realizado tradicionalmente siguiendo el método presentado en Rodríguez-García et al. (2016), que consiste en la realización periódica de heridas horizontales rayadas ("picas") en el tronco principal en sentido ascendente, y la aplicación de una tira de pasta estimulante (que suele incluir ácido sulfúrico) en el borde superior-inferior de cada pica. Aunque la información todavía es limitada, este método implica grandes traumatismos en los árboles y es probable que afecte

a la producción y la calidad de la madera (Génova et al. 2014; Rodríguez-García et al. 2016). En los bosques con vocación maderera, como los de las regiones atlánticas, es necesario encontrar métodos alternativos para hacer compatible la extracción de resina con la obtención de madera de calidad. Este es un tema poco frecuente en la bibliografía, ya que normalmente en los países más productivos no se busca compatibilizar estas dos actividades, sino maximizar una u otra. Además, en la explotación tradicional, la resina se recoge en vasijas abiertas que pueden llenarse fácilmente de agua cuando llueve. Además de las complicaciones operativas para separar la resina del agua, el agua de lluvia disminuye la capacidad de volumen de las vasijas y favorece las fugas de resina. Por tanto, se requieren metodologías alternativas que eviten la contaminación del agua en regiones atlánticas donde las precipitaciones anuales pueden más que triplicar las del centro de España.

Una de las metodologías alternativas y más prometedoras de embotellado cerrado es el método de extracción por entallado circular mecanizado (Pinillos et al. 2009). Este método consiste en realizar orificios circulares mediante un destornillador a batería en el tronco, evitando así el proceso de descortezado y reduciendo la carga de trabajo del operario. Un dispositivo cilíndrico de plástico, introducido en el orificio, conecta con una bolsa de plástico donde se almacena la resina (Martínez et al. 2021). Otra ventaja de este método es que no permite la entrada de agua en los contenedores de resina. Por último, el almacenamiento en bolsas facilita el transporte de la resina recolectada a través del pinar, una ventaja especialmente relevante en pinares como los atlánticos, que suelen tener fuertes pendientes. Estos métodos aún están en fase de desarrollo, y su eficacia aún no se ha comparado formalmente con la de otros métodos.

Desde tiempos remotos, se han utilizado diferentes productos químicos estimulantes para aumentar la producción de resina (Parham 1976). Estos estimulantes permiten i) aumentar y extender los efectos de las heridas (Neis et al. 2018), ii) inducir la maquinaria defensiva del árbol para estimular la producción de resina (Neis et al. 2018, 2019a) y iii) evitar la cristalización de la resina alargando el periodo durante el cual el flujo de resina permanece activo (de Oliveira Junkes et al. 2019; Michavila et al. 2021). Muchos de los estimulantes más utilizados incluyen ácidos corrosivos como el ácido sulfúrico como principal principio activo (da Silva Rodrigues et al. 2011; Michavila et al. 2021). Con el tiempo, la forma de aplicación de los estimulantes ha cambiado (antes se pulverizaban en aerosol y actualmente en forma de pasta) (Zamorano y Solís 1974) y se intenta reducir la proporción de ácidos, ya que son altamente corrosivos e imponen peligros a los trabajadores del campo. Otros tipos de estimulantes con componentes activos alternativos (por ejemplo, etileno, paraquat, auxina, tratamientos fúngicos, cofactores metálicos de terpeno sintetas) están apareciendo continuamente (Rodrigues-Corrêa, 2012). Varios estudios han explorado la eficacia de diferentes pastas aplicadas en la resinación (de Oliveira Junkes et al. 2019; Neis et al. 2018; da Silva Rodrigues et al. 2011; Rodrigues y Fett-Neto 2009), pero se han dedicado pocos esfuerzos a explorar la idoneidad de una pasta específica en función de la zona geográfica donde se aplica. Queda por comprobar si la eficacia de los diferentes estimulantes depende del contexto antes de generalizar su uso a una región biogeográfica específica.

Actualmente, en *P. pinaster*, los estimulantes más utilizados están basados en ácido sulfúrico (Vázquez-González et al. 2021). Otros estimulantes basados en diferentes fitohormonas (e.g. Ethephon, ácido salicílico, jasmonato de metilo) también han demostrado aumentar la producción de resina en esta especie (Michavila et al. 2021; Vázquez-González et al. 2022) pero todavía faltan comparaciones formales de la efectividad en el aumento de la producción de resina de diferentes estimulantes bajo diferentes condiciones ambientales. Además, la eficacia de los estimulantes químicos puede diferir en gran medida dependiendo de si el procedimiento de extracción utiliza recipientes cerrados o abiertos para recoger la resina, algo que ha permanecido esquivo en investigaciones previas.

Tras el resurgimiento del interés por la corta resinera en los bosques españoles de *P. pinaster* en los últimos años, es muy conveniente avanzar hacia la tecnificación y profesionalización del sector. En particular, la optimización de la metodología de aprovechamiento (procedimiento de extracción y pastas estimulantes) surge como uno de los principales temas pendientes de afinar en función de las particularidades ambientales y selvícolas de las masas aprovechadas.

2. Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo comparar la eficacia de los diferentes métodos de extracción de resina que se utilizan en el Centro y Noroeste de España junto con las pastas estimulantes utilizadas en ambos métodos.

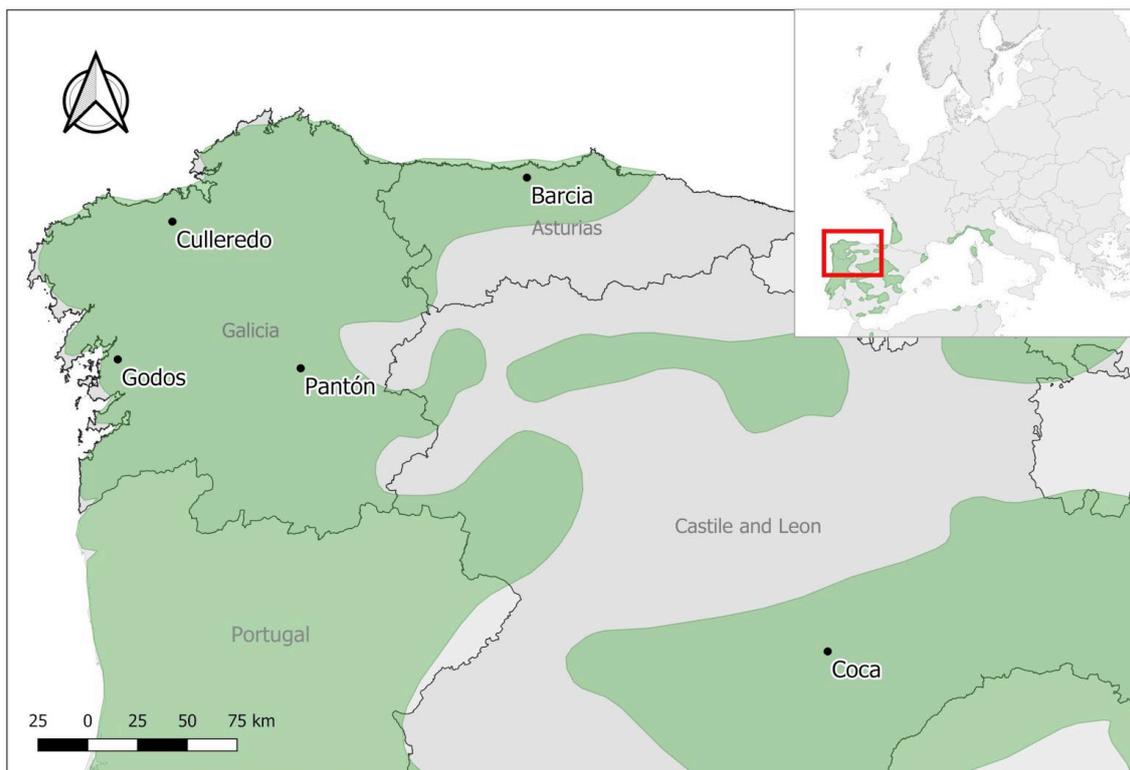
3. Material y métodos

3.1. Área de estudio

Por ello, el presente estudio se llevó a cabo en cinco masas de pino marítimo (*Pinus pinaster*) localizadas en Galicia, Asturias y Castilla y León: Culleredo, Pantón, Godos, Barcia y Coca (Figura 1). Los lugares de ensayo fueron rodales representativos de dos de las zonas más potencialmente resiníferas de España: el Noroeste y la Meseta Central. El área de estudio seguía un marcado gradiente climático desde los climas atlánticos húmedos y térmicos de las zonas costeras del noroeste hasta las zonas más secas y continentales del centro de España (Tabla S1). Los cinco emplazamientos ($n_{\text{total}} = 433$ árboles) eran pinares puros adultos regulares, en los que no se había realizado antes la corta de resina. El diámetro medio normal a la altura del pecho en los cinco rodales era superior a 25 cm, el umbral a partir del cual se permite la extracción de resina en la zona.

En cada uno de los rodales se seleccionaron 90 árboles con características dendrométricas similares entre sí y se separaron en tres bloques de 30 árboles según la topografía y las particularidades ambientales. Dentro de cada bloque, se hicieron seis grupos de cinco árboles contiguos, y los tratamientos se asignaron aleatoriamente a cada grupo, siguiendo un muestreo de bloques al azar. Entre junio y noviembre de 2021 se ensayaron un total de seis tratamientos, correspondientes a la combinación de tres pastas estimulantes (Control, Ethephon y ASACIF), y dos métodos de extracción diferentes (tradicional y circular). Algunos de los árboles muestreados se dieron por perdidos porque murieron durante el periodo de extracción.

Figura 1- . Área de estudio y parcelas de muestreo de distribución espacial.



Nota: El área verde es la zona de distribución delimitada por Caudullo et al. (2017)

El primer método de repicado fue el tradicional utilizado en la Península Ibérica (Rodríguez-García et al. 2016). En este método, tras retirar la mayor parte de la corteza de la zona a resinar durante toda la campaña, se retiró manualmente una tira de floema de 2-3 cm de ancho y, 16 cm de largo cada dos semanas en sentido ascendente. La resina que manaba de las heridas practicadas se recogió en botes abiertos de plástico de 2 L (Figura 2 a). Comenzando a una altura de aproximadamente 20 cm del suelo, se realizaron un total de 8 picas en cada árbol. El segundo método fue la pica circular (Pinillos et al. 2009), que es un método mecanizado en el que se realizaron heridas circulares de 5 cm de diámetro (15,7 cm de perímetro) cada dos semanas con la ayuda de un destornillador a batería. Las heridas sucesivas se espaciaban 2-3 cm hacia arriba o lateralmente respecto a las anteriores. Se introdujeron dispositivos de plástico específicamente diseñados dentro de los orificios practicados y se recogió la resina en bolsas de plástico cerradas (Figura 2 b). El número total de picas fue el mismo que en el otro método. Las picas de los dos métodos se realizaron simultáneamente dentro de cada sitio.

Para cada uno de los dos métodos de extracción, se aplicaron diferentes pastas estimulantes en el borde interior-superior de las picas horizontales o en el contorno interior de los orificios circulares. Se consideraron tres tratamientos diferentes, un control sin pasta estimulante y dos pastas comerciales que han mostrado resultados prometedores en experimentos anteriores (Michavila et al. 2021; Gómez-García et al. 2022), el Ethepon (8% Ethepon (60% v/v), 14% ácido sulfúrico (50% v/v), 55% agua destilada, 1.7% polisorbato, 1% alcohol cetílico, 4% vaselina, 5,5% sílice, 10,8 serrín) (Gómez-García et al. 2022) y la pasta salicílica ASACIF (1% ácido salicílico,

25% ácido sulfúrico (96% v/v), 5% propilenglicol, 19% paja de trigo, 50% agua destilada) (Michavila et al. 2021). La producción por árbol se pesó cada vez que se realizaba una nueva pica con una balanza científica calibrada en decigramos. Debido a inconvenientes durante el pesaje de las picas intermedias, especialmente en el sitio Coca, hubo valores de estas pesadas que no se registraron al momento de hacer la nueva pica y se sumaron a las pesadas posteriores. Los rendimientos periódicos se sumaron para obtener el rendimiento de resina por árbol a lo largo de la campaña experimental.

Figura 2- . Métodos de extracción de resina utilizados en el estudio, a) método de extracción tradicional y b) método de extracción por ranura circular.



Fuente: FORESIN

Antes de la resinación, se midieron el diámetro a 1,30 m del suelo (diámetro a la altura del pecho, dbh), la altura hasta el ápice del árbol (altura total, h_t) y la altura hasta la inserción de la primera rama viva en el tronco (h_{flb}) de todos los árboles experimentales. También se calcularon la esbeltez y el volumen de cada árbol. La esbeltez se calculó como la relación entre la altura total y el diámetro a la altura del pecho. Para estimar los volúmenes se utilizaron las fórmulas regionales del IV Inventario Forestal Nacional de España (MAGRAMA 2012).

3.2. Rendimiento estándar de la resina

Para garantizar la reproducibilidad y homogeneidad en las comparaciones entre métodos de extracción de resina (que difieren ligeramente en la longitud de las tiras practicadas), el rendimiento de resina se ajustó en función de la longitud de las tiras de cada método. El rendimiento de resina estándar (SRY, es decir, el rendimiento de resina por unidad de longitud de tira) se estimó como:

$$SRY = P_t / \sum_{i=1}^n L_i \quad (g \text{ cm}^{-1}) \quad (1)$$

$$L_{\text{traditional}} = 2 \cdot dbh/2 \cdot \arcsen\left(\frac{p/2}{dbh/2}\right) = dbh \cdot \arcsen(p/dbh) \quad (2)$$

$$L_{\text{circular}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L_{\text{traditional}}^2 \cdot p^2}{2}} \quad (3)$$

donde P_t es la producción total de resina del árbol (g), L_i es la longitud de cada tira en función del diámetro del árbol (cm), n el número de tiras dentro de la estación, dbh es el diámetro a la altura del pecho y p es la longitud teórica de la ranura (en el caso de la ranura circular era el diámetro).

3.3. Análisis estadístico

Antes de elegir las pruebas que se utilizarían para analizar las diferencias entre métodos, pastas y sitios y las correlaciones entre el SRY y las variables dasométricas y estimadas, se comprobó que se cumplían en cualquier caso los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza de las versiones paramétricas de las pruebas. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad y la prueba de Levene (datos normales) o la prueba de Fligner Killeen (datos no normales) para la homogeneidad de la varianza todo ello a un 95% de confianza.

Para comprobar las diferencias estadísticas de tendencia central entre los SRY de los dos métodos de extracción se realizó una prueba U de Mann-Whitney, que es una versión no paramétrica de la prueba t de 2 muestras para comparar dos grupos independientes. Las comparaciones del SRY acumulado hasta el octava pica entre los métodos y las pastas estimulantes se realizaron mediante el ANOVA unidireccional de Welch, que evalúa las diferencias entre tres o más grupos muestreados de forma independiente, con una ligera desviación de la normalidad y varianzas desiguales. Para comprobar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los SRY de las distintas parcelas, se utilizaron dos pruebas, el ANOVA unidireccional de Fisher, cuando los datos tenían una distribución normal, y el ANOVA unidireccional de Kruskal-Wallis, cuando los datos no tenían una distribución normal, cumpliéndose en todos los casos el supuesto de homocedasticidad. Se utilizó la prueba de correlación de Spearman para calcular las correlaciones entre las variables SRY y dasométricas y las estimadas a partir de ellas; esta prueba es una medida estadística no paramétrica de la fuerza de la asociación entre dos variables. La prueba no paramétrica de suma de rangos de Friedman, que es la alternativa al ANOVA de medidas repetidas cuando no se cumplen los supuestos, se empleó para determinar si había diferencias estadísticamente significativas dentro de los SRY periódicos de cada uno de los métodos y pastas (la parcela de Coca no se incluyó en este análisis porque los dos primeros rendimientos periódicos se acumularon en el tercero).

Las pruebas post-hoc empleadas fueron la prueba de Games-Howell para el ANOVA unidireccional de Welch, la prueba t de Student para el ANOVA unidireccional de Fisher, la prueba de Dunn para la prueba de Kruskal-Wallis y la prueba de Durbin-Conover para la prueba de suma de rangos de Friedman.

El nivel de significación utilizado en todos los casos fue del 95%. Todos los análisis estadísticos se realizaron con la versión 4.2.2 del software estadístico R (R Core Team 2022) y se utilizó el paquete "ggstatsplot" (Patil 2021) para realizar las comparaciones entre grupos y dentro de cada grupo.

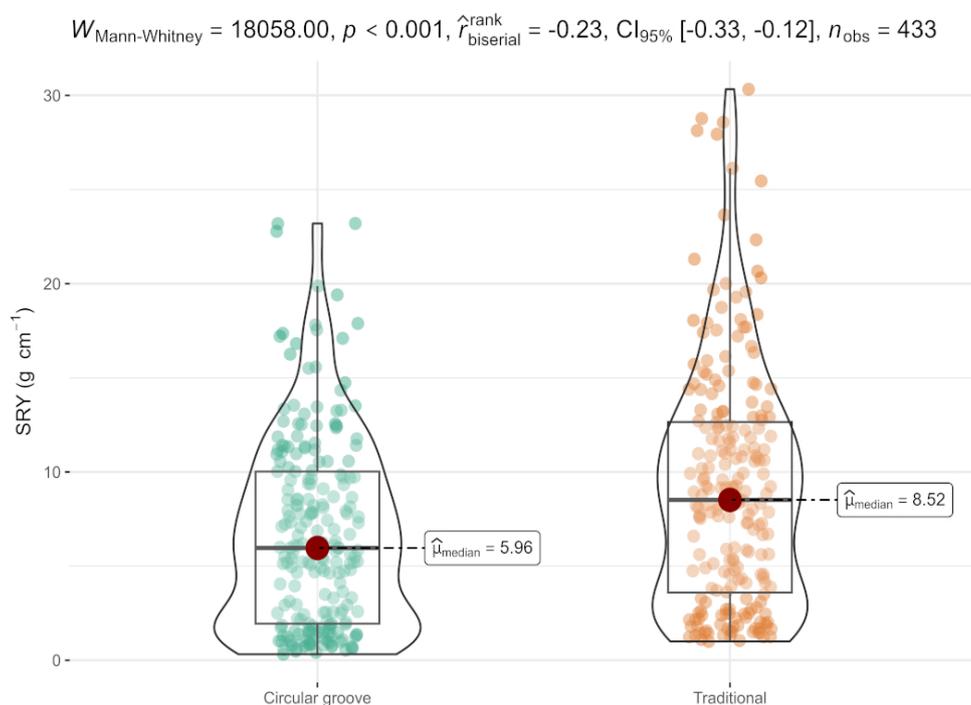
4. Resultados

4.1. Comparación entre métodos de extracción de resina

La prueba de Mann-Whitney mostró que existían diferencias estadísticamente significativas entre el SRY obtenido por el método tradicional y el método de pica circular (Figura 3). La mediana del SRY fue 1,43 veces superior en el método tradicional que en el método de pica circular. Además, el tamaño del efecto observado (coeficiente biserial de Glass rank) de -0,35 fue medio según Vargha y Delaney (2000).

Como había diferencias entre los rendimientos medios de los dos métodos, se analizó el rendimiento de las pastas para cada uno de los métodos de extracción por separado.

Figura 3- . Resultados de la prueba no paramétrica de Mann-Whitney.



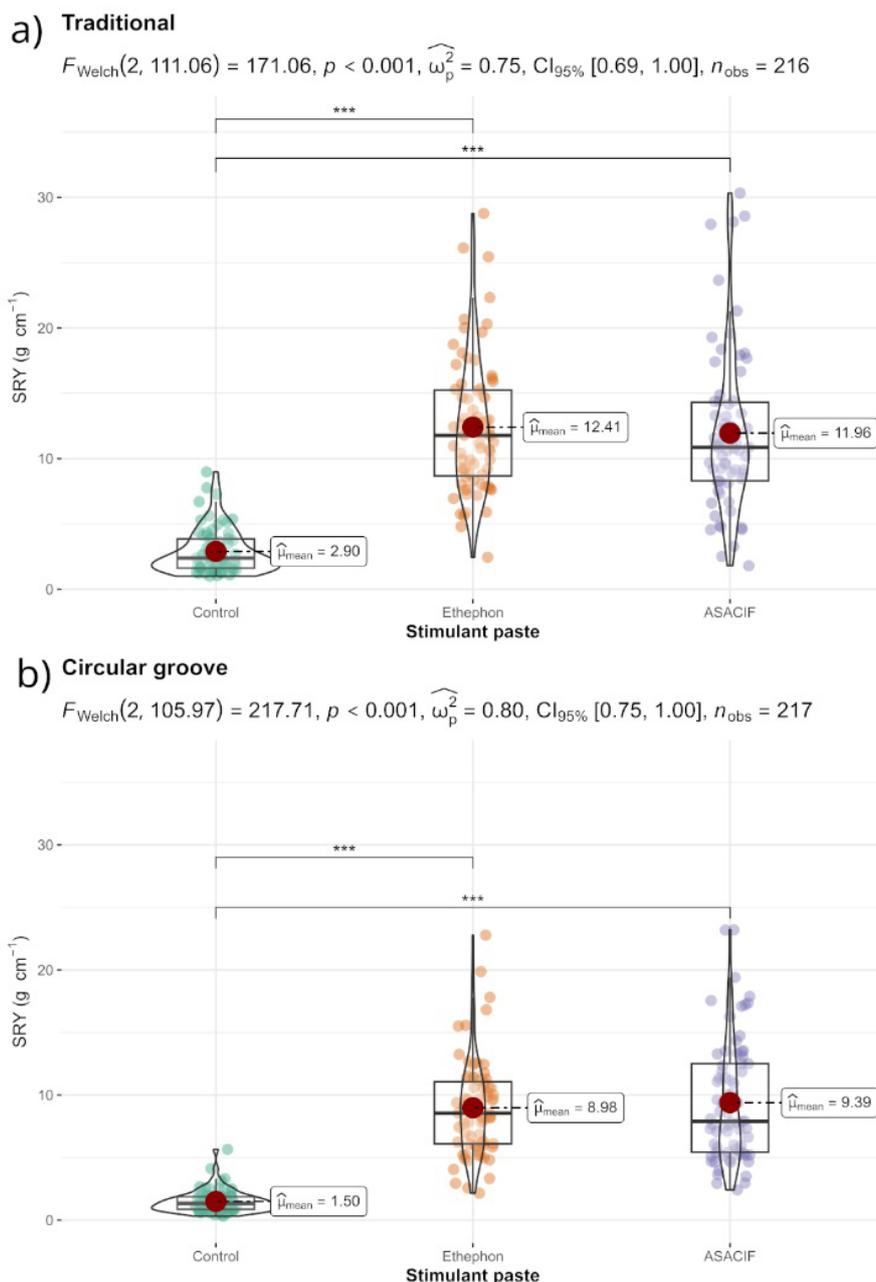
4.2. Comparación entre pastas estimulantes

Para ambos métodos de repicado, la prueba de Welch reveló diferencias significativas entre el SRY de los árboles testigo y los que tenían aplicada pasta estimulante (Figura 4). No hubo diferencias significativas entre las pastas en ambos

casos. El tamaño del efecto de la prueba (rango épsilon al cuadrado) fue similar en ambos casos (0,63 y 0,60) y puede calificarse como grande según Field (2013).

Comparando las medianas mostradas en la Figura 4 b, en la pica circular la pasta Ethepon produce 5,98 veces más SRY que el control, mientras que el RSY con la pasta ASACIF fue 6,26 veces mayor. En el método tradicional, la eficacia de las pastas Ethepon y ASACIF fue relativamente inferior (4,27 y 4,12 veces superior al control, respectivamente) (Figura 4 a).

Figura 4- . Resultados de las pruebas no paramétricas de Welch realizadas sobre los datos SRY de los valores acumulados de producción con las pastas y control.



4.3. Efectos de la dendrometría en SRY según los métodos de extracción y las pastas

Las correlaciones entre el SRY y las variables dendrométricas no fueron en su mayoría estadísticamente significativas, sólo entre el método de repicado tradicional y los árboles testigo la altura total y la esbeltez tuvieron valores de correlación significativos negativos bajos (Tabla 1).

Figura 5- . Tabla 1. Valores de las correlaciones de Spearman entre la producción de resina y las variables dendrométricas.

Método de extracción de resina	Pasta	<i>dbh</i>	<i>h_t</i>	Esbeltez	V
Traditional	Control	0.11	-0.3	-0.34	0.14
	Ethephon	0.07	-0.18	-0.2	0.07
	ASACIF	0.19	0.04	-0.19	0.23
Circular	Control	-0.03	-0.08	-0.11	-0.04
	Ethephon	0.07	-0.18	-0.2	0.07
	ASACIF	0.13	0.14	-0.05	0.16

dbh: diámetro a la altura del pecho; *ht*: altura total; V: volumen del árbol; Los valores en negrita tienen un valor $p < 0,05$.

5. Discusión y conclusiones

En este estudio, encontramos que el método de extracción fue un factor importante que influyó en la cantidad de resina producida, siendo el método tradicional más productivo que el acanalado circular. Los resultados obtenidos en nuestro trabajo en cuanto al método de extracción concuerdan con los de Pinillos et al. (2009) quienes encontraron, en promedio, 1 kg más de resina por árbol utilizando el método tradicional que el método de pica circular. También como indica Rodríguez-García et al (2016) la parte inferior de la muesca circular podría producir menos resina que la parte superior de la muesca.

Los resultados también demuestran claramente un enorme efecto de las dos pastas estimulantes en el aumento de la producción de resina, variando la eficacia de los distintos tratamientos en función del método de repicado utilizado y de la parcela. Estos resultados están en línea con otros trabajos que informan del efecto positivo de la aplicación de estimulantes químicos sobre la producción de resina (Neis et al. 2018) y con la esperada influencia de las condiciones ambientales en los recursos asignados a la defensa (Zas et al. 2020; Vázquez-González et al. 2019).

Es importante señalar que el uso de una medida estandarizada de rendimiento de resina ajustada a la longitud de la pica realizada permitió comparar adecuadamente los distintos métodos de extracción. La aplicación de pastas

estimulantes fue otro factor que aumentó drásticamente a producción de resina en todos los sitios y métodos de repicado. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en la eficacia para aumentar la producción de resina de las dos pastas probadas (ASACIF y Ethephon). No hemos encontrado pruebas claras de que las variables dasométricas por sí solas fueran capaces de explicar la producción de resina. Por último, se observaron diferencias importantes en la producción de resina entre sitios cuando no se utilizaron estimulantes, pero estas diferencias tienden a desaparecer cuando los árboles fueron intervenidos con pastas estimulantes.

Este estudio representa un paso más en la normalización, comprensión y comparación de los factores que influyen en la producción de resina en los pinares del Noroeste y Centro de España.

6. Referencias

- Benito-Garzón M, Alía R, Robson TM, Zavala MA (2011) Intra-Specific Variability and Plasticity Influence Potential Tree Species Distributions Under Climate Change. *Global Ecology and Biogeography* 20: 766–78. <https://doi.org/10.1111/J.1466-8238.2010.00646>.
- Caudullo G, Welk E, San-Miguel-Ayanz J (2017) Chorological Maps for the Main European Woody Species. *Data in Brief* 12: 662–66. <https://doi.org/10.1016/J.DIB.2017.05.007>
- Demko J, Machava J (2022) Tree Resin, a Macroenergetic Source of Energy, a Possible Tool to Lower the Rise in Atmospheric CO₂ Levels. *Sustainability* 14: 3506. <https://doi.org/10.3390/SU14063506>
- Génova M, Caminero L, Dochao J (2014) Resin Tapping in *Pinus pinaster*: Effects on Growth and Response Function to Climate. *European Journal of Forest Research* 133: 323–33. <https://doi.org/10.1007/S10342-013-0764-4>
- Gómez-García E, Rozados MJ, Quinteiros A, Martínez E (2017) Instalación de Ensayos Para Determinar Las Posibilidades Del Aprovechamiento Resinero En Galicia. 7º Congreso Forestal Español. Plasencia, España
- Gómez-García E, Martínez E, García-Méijome A, Rozados MJ (2022) Modelling Resin Production Distributions for *Pinus pinaster* Ait. Stands in NW Spain. *Industrial Crops and Products* 176: 114316. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114316>
- Kim KW, Lee IJ, Kim CS, Eom IY, Choi JW, Lee DK, Park EW (2010) Resin Flow, Symptom Development, and Lignin Biosynthesis of Two Pine Species in Response to Wounding and Inoculation with *Fusarium circinatum*. *The Plant Pathology Journal* 26: 394–401. <https://doi.org/10.5423/PPJ.2010.26.4.394>.
- Lombardero MJ, Ayres MP, Lorio PL Jr, Ruel JJ (2000) Environmental Effects on Constitutive and Inducible Resin Defences of *Pinus taeda*. *Ecology Letters* 3: 329–39. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00163.x>
- Lombardero MJ, Ayres MP, Ayres BD (2006) Effects of Fire and Mechanical Wounding on *Pinus resinosa* Resin Defenses, Beetle Attacks, and Pathogens. *Forest Ecology and Management* 225: 349–58. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.010>
- Luan Q, Diao S, Sun H, Ding X, Jiang J (2022) Prediction and Comparisons of Turpentine Content in Slash Pine at Different Slope Positions Using Near-Infrared Spectroscopy. *Plants* 11: 914. <https://doi.org/10.3390/plants11070914>
- MAGRAMA (2012) Cuarto Inventario Forestal Nacional de España.
- Martínez E, Riesco G, García-Méijome A, et al (2019) Propuesta de modelo selvícola combinando producción de madera y resina para pinares atlánticos de *Pinus pinaster*. XII Congreso de Economía Agraria, Lugo, España 709–712
- Martínez E, García-Méijome A, Gómez-García E, Fernández E (2021) Los Sistemas de Mecanización de Resinación Para Pinos | CIF Lourizan. <https://lourizan.xunta.gal/en/transfers/los-sistemas-de-mecanizacion-de-resinacion-para-pinos>
- Martins P, Sampedro L, Moreira X, Zas R (2009) Nutritional status and genetic variation in the response to nutrient availability in *Pinus pinaster*. A multisite field study in Northwest Spain. *Forest Ecology and Management* 258:1429–1436. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2009.06.041>

- Michavila S, Rodríguez-García A, Rubio F, et al (2021) Salicylic and citric acid as promising new stimulants for resin tapping in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Forest Systems* 29:eSC07. <https://doi.org/10.5424/fs/2020293-16737>
- MITECO. 2019. "Anuario de Estadística Forestal 2019." www.miteco.es.
- Neis FA, Costa F de, Almeida MR de, et al (2019a) Resin exudation profile, chemical composition, and secretory canal characterization in contrasting yield phenotypes of *Pinus elliottii* Engelm. *Industrial Crops and Products* 132:76–83. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.013>
- Neis FA, Costa F de, Araújo AT de, et al (2019b) Multiple Industrial Uses of Non-Wood Pine Products. *Industrial Crops and Products*.130: 248-258 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.088>.
- Neis FA, Costa F de, Füller TN, et al (2018) Biomass yield of resin in adult *Pinus elliottii* Engelm. Trees is differentially regulated by environmental factors and biochemical effectors. *Industrial Crops and Products* 118:20–25. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.027>
- de Oliveira Junkes CF, Duz JVV, Kerber MR, et al (2019) Resinosis of young slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) as a tool for resin stimulant paste development and high yield individual selection. *Industrial Crops and Products* 135:179–187. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.048>
- Parham MR (1976) Stimulation of oleoresin yield in conifers. *Outlook on Agriculture* 9:76–81. <https://doi.org/10.1177/003072707600900207>
- Patil I (2021) Visualizations with statistical details: The 'ggstatsplot' approach. *Journal of Open Source Software* 6:3167. <https://doi.org/10.21105/joss.03167>
- Phillips MA, Croteau RB (1999) Resin-based defenses in conifers. *Trends in Plant Science* 4:184–190. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(99\)01401-6](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(99)01401-6)
- Pinillos FM, Picardo A, Allué-Andrade M, et al (2009) La resina: Herramienta de conservación de nuestros pinares. Junta de Castilla y León, Valladolid, España
- R Core Team. (2022) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Rodrigues-Corrêa KCS, Fett-Neto AG (2012) 3. Physiological Control of Pine Resin Production. *Pine Resin: Biology, Chemistry and Applications*, 25–48. <https://www.researchgate.net/publication/285432495>.
- Rodríguez-García A, López R, Martín JA, et al (2014) Resin yield in *Pinus pinaster* is related to tree dendrometry, stand density and tapping-induced systemic changes in xylem anatomy. *Forest Ecology and Management* 313:47–54. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.038>
- Rodríguez-García A, Martín JA, López R, et al (2016) Effect of four tapping methods on anatomical traits and resin yield in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Industrial Crops and Products* 86:143–154. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.033>
- Sebastián JA, Uriarte R (2003) Historia y economía del bosque en la Europa del Sur (Siglos XVIII-XX). <https://doi.org/10.26754/uz.84-7733-649-0>
- Sharma SC, Prasad N, Pandey SK, Giri SK (2018) Status of resin tapping and scope of improvement: A review. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 49:16–26

- da Silva Rodrigues KC, Apel MA, Henriques AT, Fett-Neto AG (2011) Efficient oleoresin biomass production in pines using low cost metal containing stimulant paste. *Biomass and Bioenergy* 35:4442–4448. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.08.021>
- Soliño M, Yu T, Alía R, et al (2018) Resin-tapped pine forests in Spain: Ecological diversity and economic valuation. *Science of the Total Environment* 625:1146–1155. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.027>
- Touza R, Lema M, Zas R (2021) Timing of resin-tapping operations in maritime pine forests in northern Spain. *Forest Systems* 30: <https://doi.org/10.5424/fs/2021303-18414>.
- Vázquez-González C, López-Goldar X, Zas R, Sampedro L (2019) Neutral and climate-driven adaptive processes contribute to explain population variation in resin duct traits in a mediterranean pine species. *Frontiers in Plant Science* 10:1613 <https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.01613>
- Vázquez-González C, López-Goldar X, Alía R, et al (2021) Genetic variation in resin yield and covariation with tree growth in maritime pine. *Forest Ecology and Management* 482: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118843>
- Zamorano JL, Solís W (1974) Características y Utilización de La "Pasta IFIE" Como Estimulante de Resinación. Inst For Investig y Exp Madrid, Spain. http://libros.inia.es/libros/product_info.php?cPath=32&products_id=698.
- Zas R, Touza R, Sampedro L, et al (2020b) Variation in resin flow among maritime pine populations: Relationship with growth potential and climatic responses. *Forest Ecology and Management* 474: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118351>