

Las heridas de endoterapia: influencia del tamaño y el sellado del orificio en diferentes especies leñosas

El desconocimiento de una parte de los técnicos responsables del arbolado urbano acerca de lo ocurrido con las heridas realizadas tras una aplicación con endoterapia hace que ésta suponga en ocasiones una preocupación infundada, en detrimento de la implantación de esta técnica. Con objeto de aportar información sobre este tema, en diferentes especies se investigó la velocidad de compartimentación de orificios de inyección con variables como el tamaño del orificio o el sellado con un tapón, tras comparar diámetros de 4, 5 y 6 mm, con este último sellando o sin sellar, con un tapón biodegradable. El estudio revela que los orificios de 4 mm responden más eficientemente, mientras que el tapón genera daños en un 67% de los orificios. Además, el tamaño del orificio no afectó la velocidad de absorción.

Introducción

La endoterapia es una técnica con eficacia ampliamente demostrada frente a gran variedad de plagas y enfermedades en arbolado agrícola y ornamental, como la grafiosis del olmo (Haugen y Stennes, 1999), la *phytophthora* en quercúneas (Romero y col, 2019), la processionaria del pino (Sousa y col., 2013), o incluso bacterias como el *greening* de los cítricos o Huanglongbing, (HLB, Archer y col., 2022, 2023). Esta técnica se ha ido popularizando debido a su alta eficacia y beneficios ambientales, ya que el tratamiento se aplica de manera individualizada directamente al xilema del árbol, evitando cualquier deriva. Sin embargo, la falta de información sobre los factores que afectan al proceso respuesta a las heridas es aún limitada.

Al contrario que otros seres vivos, que responden a las heridas con mecanismos de cicatrización, la respuesta en árboles se denomina "compartimentación", proceso que está modelizado a través del concepto de CODIT (compartimentación del daño/decaimiento en árboles), desarrollado por Shigo y Marx (1977) y ampliado por Morris y col. (2020). CODIT describe cómo los árboles, al ser organismos altamente compartimentados, tienen la capacidad de limitar y aislar las heridas para mitigar la propagación de los daños, cuya eficacia depende de la especie, o incluso la propia genética y el estado de salud del árbol.

El uso de tapones para sellar los orificios de endoterapia es objeto de controversia, ya que, con el objeto de impedir el acceso a insectos u otros patógenos, se restringe el acceso al oxígeno para así ralentizar los mecanismos de oxidación naturales inherentes a la compartimentación. Recientes estudios apuntan a una influencia negativa de la presencia de un tapón como método de sellado para una respuesta eficiente a la herida (Archer y col., 2023; Hauer y col., 2022; Áćimović y col., 2016).

En este contexto, el objetivo principal del presente estudio es evaluar cómo influyen en la velocidad de cierre de la herida y la compartimentación los siguientes factores: 1) el tamaño de la herida (2) el uso de un tapón sellante y (3) la especie tratada. Un objetivo secundario sería el conocer la influencia del tamaño del conector en la velocidad de absorción.

Materiales y métodos

En julio de 2023, cuando los árboles ya habían desarrollado completamente sus hojas, se realizó una única aplicación. Sobre árboles situados en el Parque Científico y Tecnológico de Rabanales, ubicado en las afueras de Córdoba, se estudiaron cuatro especies comunes en el entorno urbano: olmo (*Ulmus pumila*), chopo (*Populus nigra*), plátano de sombra (*Platanus x hispanica*) y naranjo amargo (*Citrus aurantium*), de las que se seleccionaron 10 ejemplares (10 repeticiones), todos ellos con períme-



Figura 1. Escala de cierre de herida 0: cierre 0%. 1: cierre 25%. 2: cierre 50%. 3: cierre 75%. 4: cierre 100%. 5: orificio de 6mm sellado con tapón en plátano de sombra.

Resultados y discusión

Los resultados, mostrados en la Figura 2, demostraron que existe una diferencia significativa en el grado de cierre, dependiente del tratamiento aplicado. En general, el orificio de 4 mm es el que mejor comportamiento muestra en todas las especies, con diferencias significativas respecto a los de 5 y 6 mm, que no presentan diferencias significativas entre sí. Este análisis permite probar que el diámetro de los orificios afectó significativamente al grado de cierre, siendo aquellos de mayor diámetro los que menor tasa mostraban. Estos resultados concuerdan con varios resultados descritos por otros autores en otras especies (Docco-la y col., 2011, 2012; Docco-la y Wild, 2012).

Por otro lado, los orificios con tapón presentaron una tasa cercana a nula para todas las especies, excepto para el olmo, que si consiguió cierto grado de cierre, incluso con los tapones. Como consecuencia asociada se observaron daños en un 67% de los orificios para los que se usó tapón, frente a un porcentaje despreciable en los que no tenían tapón. Estos resultados están en consonancia con los resultados obtenidos en trabajos de otros investigadores, como los de Hauer y col. (2022) en fresno, Archer y col. (2023) en cítricos o Ácimović y col. (2016) en manzano.

Respecto a la influencia de la especie (Figura 1), se usó el orificio de 4 mm para comparar la tasa de compartimentación, encontrándose que el olmo y el plátano de sombra tienen un mayor grado de cierre, logrando cerrar completamente el 70% de los orificios ocho meses después de la aplicación. Les sigue el naranjo, que cierra completamente el 50% de los orificios a los 12 meses y, por último, el chopo no logra cerrar completamente los orificios al cabo de 12 meses, con el 100% de los orificios en grado 3 (75% de cierre). Sin embargo, 16 meses después de la aplicación, el chopo ya mostró que un 60% de los orificios de 4mm estaban completamente cerrados (resultados no mostrados).

Finalmente, para todas las especies el análisis estadístico indicó que el tamaño de los orificios no provoca diferencias significativas en la velocidad de absorción, de acuerdo con Sánchez Zamora y Fernández Escobar (2000).

Conclusiones

Con el objetivo de conocer qué prácticas dentro de la endoterapia la conducen a ser una práctica más sostenible y responsable, se ha demostrado que las heridas asociadas, al menos para la técnica empleada en este estudio (presión $\leq 2,5$ bar), y la inyección de agua, no tienen incidencia negativa en la salud de la planta. Sin embargo, de los resultados también se desprende la importancia de considerar el tamaño del orificio al planificar las aplicaciones de inyección en el tronco, con el fin de maximizar la eficacia del tratamiento y minimizar el daño al árbol.

Sin embargo, siempre es deseable facilitar que la respuesta a ésta por parte de la planta sea lo más rápida y eficaz posible, para lo que fundamental el uso de líquidos de inyección compatibles con la fisiología de la planta. En primer lugar, el presente estudio demuestra una influencia significativa del tamaño del orificio; al no observarse ralentización en

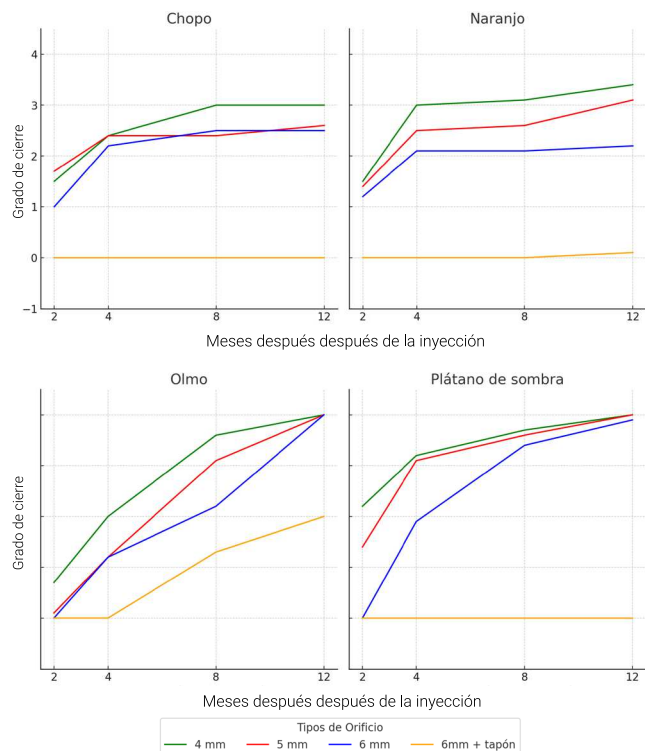


Figura 2: Medias de la tasa de compartimentación por especie y tipo de orificio obtenidas por el test no paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

tro de tronco superior a 70 cm, lo que permitió realizar cuatros tratamientos en el mismo tronco, tres con tamaños de orificios de 4, 5 y 6 mm y el restante consistente en la introducción en otro de 6 mm de un tapón de plástico biodegradable (ácido poli-láctico, PLA) dentro del orificio. El diseño experimental fue aleatorio completamente al azar compuesto de cuatros especies, cuatros tratamientos y diez repeticiones. Los análisis estadísticos se basaron principalmente en análisis no paramétricos de Kruskal-Wallis para estudiar el efecto del tamaño del orificio y su sellado sobre la compartimentación. Además, se empleó un análisis estadístico descriptivo para cuantificar el daño producido por el uso de tapones selladores.

El sistema de inyección empleado fue Ynject, patentado de Fertinyect, que trabaja a baja presión (2,5 bar), y alto volumen (50 mL) de líquido (agua en este ensayo). Para cada tamaño del orificio se utilizaron conectores (cánulas) de diferentes grosores, que se ajustaran adecuadamente para una completa estanqueidad en el orificio. Una vez absorbida el agua, se retiraron los dispositivos y se introdujeron tapones en los orificios correspondientes, a suficiente profundidad para no interferir en la posterior acción del cambium.

A lo largo del ensayo, se realizaron revisiones periódicas mensuales para evaluar el estado de los orificios, clasificándolos con una escala del 0 al 4 en función del porcentaje de cierre (escala descrita en el pie de la Figura 1). Además, se registraron posibles daños asociados con posterioridad en el tronco, como grietas, chancros o exudaciones.

Como dato adicional, se midió la velocidad de absorción en todos los dispositivos, con objeto de establecer una posible relación entre la disminución del diámetro del orificio y la velocidad de absorción.



Figura 3. Daños en los puntos de inyección sellados con tapón biodegradable.

la absorción asociada a la disminución de los orificios, al menos hasta 4 mm, es recomendable que, en la medida de lo posible, las técnicas de endoterapia tiendan a disminuir este tamaño, ya que, sin afectar a la operatividad de la técnica, se fomentaría una más rápida compartimentación.

Por otro lado, el uso de tapones tuvo una clara incidencia negativa, retardando o incluso impidiendo el cierre y generando en ocasiones daños en el tronco. En este sentido, si el objeto del taponamiento es impedir el acceso de patóge-

nos, se recomendaría en su lugar otro tipo de medio menos invasivo, que cumpla con los requisitos de 1) no interferir con la actividad cambial y 2) permitir la entrada de oxígeno.

Entre las especies evaluadas, el olmo y el plátano de sombra demostraron una notable capacidad de compartimentación en comparación con otras especies, aunque las otras especies estudiadas no presentan evidencias de ninguna incidencia negativa por el uso de endoterapia.

Bibliografía



- Aćimović, S. G., Cregg, B. M., Sundin, G. W., & Wise, J. C. (2016). Comparison of drill-and needle-based tree injection technologies in healing of trunk injection ports on apple trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 19, 151-157.
- Archer, L., Kunwar, S., Alferez, F., Batuman, O., & Albrecht, U. (2023). Trunk injection of oxytetracycline for huanglongbing management in mature grapefruit and sweet orange trees. *Phytopathology*, 113(6), 1010-1021.
- Archer, L., Qureshi, J., & Albrecht, U. (2022). Efficacy of trunk injected imidacloprid and oxytetracycline in managing huanglongbing and Asian citrus psyllid in infected sweet orange (*Citrus sinensis*) trees. *Agriculture*, 12(10), 1592.
- Doccola, J. J., & Wild, P. M. (2012). Tree injection as an alternative method of insecticide application. *Insecticides—basic and other applications*, 61-78.
- Doccola, J. J., Hascher, W., Joseph Aiken, J., & Wild, P. M. (2012). Treatment strategies using imidacloprid in Hemlock Woolly Adelgid (*Adelges tsugae* Annand) infested eastern Hemlock (*Tsuga canadensis* Carrière) trees. *Arboriculture and Urban Forestry*, 38(2), 41.
- Doccola, J. J., Smitley, D. R., Davis, T. W., Aiken, J. J., & Wild, P. M. (2011). Tree wound responses following systemic insecticide trunk injection treatments in green ash (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.) as determined by destructive autopsy. *Arboriculture and Urban Forestry*, 37(1), 6.
- Hauer, R. J., Ball, J. J., & North, E. (2022). Observation of external wounding on green ash (*fraxinus pennsylvanica* Marshall) trees associated with tree injection systems. *Forests*, 13(11), 1802.
- Haugen, L., & Stennes, M. (1999). Fungicide injection to control Dutch elm disease: Understanding the options. *Plant Diagnosticians Quarterly*, 20(2), 29-38.
- Sánchez Zamora, M. A., & Fernández Escobar, R. (2000). Injector-size and the time of application affects uptake of tree trunk-injected solutions.
- Morris, H., Hietala, A. M., Jansen, S., Ribera, J., Rosner, S., Salmeia, K. A., & Schwarze, F. W. (2020). Using the CODIT model to explain secondary metabolites of xylem in defence systems of temperate trees against decay fungi. *Annals of Botany*, 125(5), 701-720.
- Romero, M. A., González, M., Serrano, M. S., & Sánchez, M. E. (2019). Trunk injection of fosetyl-aluminium controls the root disease caused by *Phytophthora cinnamomi* on *Quercus ilex* woodlands. *Annals of Applied Biology*, 174(3), 313-318.
- Shigo, A. L., & Marx, H. G. (1977). *Compartmentalization of decay in trees* (No. 405). Department of Agriculture, Forest Service.
- Sousa, E., Naves, P., & Vieira, M. (2013). Prevention of pine wilt disease induced by *Bursaphelenchus xylophilus* and *Monochamus galloprovincialis* by trunk injection of emamectin benzoate. *Phytoparasitica*, 41, 143-148.