



9CFE-1382

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1

Organiza





Efectos del cambio climático en la fisiología de los pinos del área mediterránea y su utilidad para la prevención de incendios forestales

RIESCO AMURRIO M., DÍAZ MONTERO A., DE LAS HERAS IBAÑEZ J., FAJARDO CANTOS Á., PEÑA MOLINA E., MOYA NAVARRO D.

Grupo de Ecología Forestal, ETSIAMB, Universidad de Castilla la Mancha

Resumen

El cambio climático está alterando el hábitat de la mayoría de los organismos provocando que las plantas modifiquen su fisiología y morfología, siendo difícil predecir estos cambios. A ello se une que desde finales del siglo XX se observa en el área mediterránea la aparición de los incendios llamados de 6ª generación, que tanto impacto causan a nivel social, económico y ambiental. Para analizar las variaciones fisiológicas y relacionarlas con la incidencia de incendios se desarrolla este estudio, en el cual se medirán variables como la conductancia y el estrés hídrico en 9 parcelas de *Pinus halepensis* en Almansa (Albacete): 3 parcelas en zona de control, 3 en zonas incendiadas en el año 2000 y 3 tratadas con una saca de madera en 2014. Las mediciones se realizarán al amanecer y a lo largo de la mañana, con frecuencia semanal de mayo a septiembre y mensual el resto del año, buscando un mayor conocimiento del comportamiento del árbol y replicar el estudio en diferentes zonas. El objetivo es dar continuidad a la información ecofisiológica, obteniendo un patrón de comportamiento del pino ante los episodios de sequía que tan vulnerables al fuego hacen nuestros montes.

Palabras clave

riesgo de incendio, variables ecofisiológicas, inflamabilidad de combustibles vivos

1. Introducción

El cambio climático está originando alteraciones en los patrones de precipitaciones y temperatura (Choat et al, 2012), lo que plantea dudas sobre la sostenibilidad de los bosques de cara a un futuro más cálido y con menos agua. Si además se añade a esta circunstancia la ocurrencia de los incendios bautizados "de sexta generación", entonces la urgencia de comprender el comportamiento y las respuestas de los ecosistemas ante estos impactos toman mayor fuerza, y surge la necesidad de buscar en la prevención las claves para un manejo forestal adecuado al contexto climático.

La cuenca mediterránea es una de las áreas señaladas porque será, y es ya, una de las zonas más vulnerables a los efectos del cambio climático, con temperaturas extremas y sequías que azotan y azotarán la zona de forma recurrente. Así, personas y ecosistemas se ven gravemente expuestos a los peligros derivados de esta situación como la falta de agua, incendios descontrolados, etc.

Pese a la evidencia de que los ecosistemas de la zona mediterránea están



especialmente preparados para sobrevivir a estos períodos habiendo desarrollado adaptaciones propias, como el movimiento de nutrientes y reserva de éstos (de las Heras et al, 2016), resulta de interés conocer las estrategias que tienen las plantas para la supervivencia. En este estudio se abarca el estudio de la interfaz suelo-planta-atmósfera con el fin de conseguir una visión global de la respuesta fisiológica del árbol como combustible vivo.

De forma general la sequía provocará una disminución del secuestro de carbono por parte de los bosques, al ralentizar su actividad fotosintética, lo que conducirá a mayor cantidad de biomasa que puede ser susceptible de incendio. Esta falta de fijación también afecta al crecimiento de los árboles y por lo tanto a su papel principal de amortiguadores del cambio climático.

Los árboles están siempre en un riesgo muy alto de muerte, para lo que movilizan reservas en detrimento de otras funciones (Bigler et al, 2004). Sin embargo, se tiene un conocimiento limitado, pero en rápida evolución, sobre los mecanismos ecofisiológicos que provocan la mortalidad regresiva y decadencia en los bosques, teniendo por otra parte la certeza de la relación entre el metabolismo del carbono y la hidráulica de los bosques (Camarero et al, 2015)

Además, se sabe que la decadencia progresiva de los bosques está ligada a su crecimiento (Kozlowski et al, 1991), y este solo puede darse mediante un intercambio gaseoso correcto que a la vez se ve determinado por innumerables factores externos, como la sequía, frecuencia de incendios, etc. En este caso se estudiará como especie principal el pino carrasco.

Uno de las razones de la pérdida de productividad y mortalidad durante la sequía viene derivada de los problemas hidráulicos de la planta. El estrés por falta de agua facilita que los gases se queden en los vasos xilemáticos, lo cual limita la capacidad de abastecimiento de agua de las plantas hacia las hojas donde se produce el intercambio de gases, y como consecuencia se produce la muerte. Esta situación puede originar una inflamabilidad mayor del combustible vivo, ya que las hojas son un importante conductor de la inflamabilidad en el ecosistema debido a su capacidad de secarse rápidamente (Guerrero et al, 2024), entendiendo la inflamabilidad como la capacidad de dicho combustible a la ignición y a la propagación de un fuego (Pausas et al, 2017).

Si se sitúa el origen de la falta de agua en el suelo, se debe tener en cuenta que de forma habitual el pino de Alepo tiene un sistema radicular superficial, con pocas raíces que penetren en profundidad, así que su actividad fisiológica depende mayoritariamente del contenido de humedad de las capas superficiales del suelo (Ungar et al, 2013), lo que hace que esté expuesto a grandes cambios y a la falta de lluvias de forma más intensa. Así mismo, se ha estudiado que durante la época más seca el pino de Alepo desarrolla una lámina de corcho sobre las puntas de las raíces para prevenir la sequedad (Ungar et al, 2013). Se conoce también que el Pino carrasco por sus xeromorfismo, con unas acículas cubiertas por una fina cutícula y profundos estomas (Ungar et al, 2013) con los que tiene la capacidad de reducir la



transpiración a valores muy bajos en la estación seca, es una de las especies forestales más adaptadas a la sequía.

En general las especies forestales desarrollan diferentes estrategias ante la sequía, siendo desde el suelo con las raíces que detectan la falta de agua o potencial elevado. Partiendo de esta información, se dividen en especies evitativas, o especies tolerantes (Lebourgeois, 2008), estando el pino de Alepo entre estas últimas, que se caracteriza por una disminución precoz de la transpiración y una parada a presiones de potencial de -3 MPa (Lebourgeois, 2008).

Además, en cuanto al potencial de hoja, se sabe que la medida del potencial de hoja al amanecer con la cámara de Scholander está relacionado con procesos morfológicos y ecofisiológicos que son directamente influidos por la falta de agua y su contenido en el suelo. Por lo tanto, la atenuación del estrés en las plantas mediante el conocimiento de la humedad del suelo es de gran relevancia en la cuenca mediterránea ya que en estas condiciones ambientales puede limitar la supervivencia, crecimiento y comportamiento ecofisiológico dependiendo de la edad y especie. Teniendo en cuenta como ya se dijo que las raíces del pino de Alepo son muy superficiales y dependen de la cantidad de agua en la capa superficial del suelo.

En cuanto a la inflamabilidad de las hojas, Guerrero et al., (2024) evidenció que las hojas ricas en los compuestos llamados cetonas y aldehídos arden con mayor frecuencia. Por otra parte, encontraron que las especies con hojas menos inflamables son aquellas con alto contenido en hidrocarburos alifáticos. Esto ocurre incluso a temperaturas relativamente bajas y las llamas que producen liberan mayor energía durante más tiempo.

Con estas premisas y debido a la falta de fotoasimilados con la que sobrevive el árbol tras la sequía, se plantean diferentes hipótesis de estudio:

- La inflamabilidad del combustible vivo está relacionada con el potencial hídrico al que están sometidas las diferentes partes del árbol.
- La mayor inflamabilidad del árbol como respuesta a una supuesta acumulación de metabolitos potencialmente inflamables en las acículas/hojas, o que el árbol no ha podido transformar debido a la fotosíntesis interrumpida por la sequía.
- La mayor inflamabilidad del árbol como respuesta a una sequedad completa de las capas superficiales del suelo, que aparentemente el árbol va superando hasta que sus reservas son inexistentes.
- La mayor inflamabilidad del árbol como respuesta a un fallo metabólico que derive en una embolia xilemática y su posterior muerte.
- La mayor inflamabilidad del árbol como respuesta a una tensión mayor de la habitual en las partes superiores del árbol, debido a la falta de agua y a la amortiguación que en una situación normal de sequía los árboles con



reservas pueden paliar.

Con estas hipótesis presentes se realiza este estudio instalando sensores que abarquen todo el continuo suelo-planta-atmósfera que serán descritos en metodología.

Ante la limitante existente de un fallo hidráulica y la posterior embolia xilemática resulta de interés conocer los límites que soportan los pinos de Aleppo sin dejar de fotosintetizar.

1. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es el estudio de la ecofisiología y dinámicas temporales de desarrollo de diversas especies forestales con las que apoyar y mejorar el desarrollo de modelos de prevención de incendios forestales basados en el conocimiento del continuo suelo-planta-atmósfera. De forma más específica se intentará dar respuesta a todas las hipótesis planteadas en el anterior apartado.

Para alcanzar todo ello se realizarán muestreos, medidas y seguimiento de sensores en diferentes zonas afectadas por incendios en la provincia de Albacete debido al fuerte impacto que el cambio climático pueda tener sobre esta zona y la alta propensión a los incendios.

Se estudiará el comportamiento de los individuos que crecen en entornos donde sucedieron incendios y zonas control.

1. Metodología

3.1 Descripción de la zona de estudio

Las parcelas a monitorizar se encuentran en el término municipal de Almansa, al este de la provincia de Albacete a 760 m s.n.m, en el Monte de Utilidad Pública 70 "Pinar de Almansa". Tiene un clima mediterráneo, tipo semiárido, con precipitaciones de 400 mm al año y temperaturas medias de 14,1°C (MAPAMA, 2024) aunque en los últimos años estos parámetros se vieron alterados.

La estructura de la formación vegetal es un monte bravo con aproximadamente 2.000 pies ha de regeneración y que sufrió un incendio en el año 2000, observándose en la actualidad una alta regeneración post-incendio. Además, algunas zonas han sido sometidas a tratamientos de disminución de densidad del 80% con clareo intenso de la masa arbórea y desbroce del sotobosque.



El tamaño de las parcelas es circular de diámetro 30 m con 3 repeticiones por experimento. Tres parcelas son control, tres son en incendio del 2000 y tres en zonas de incendio con tratamiento de disminución de densidad . Están ubicadas en solana dirección este.

3.2 Muestreos

En las parcelas de estudio se dispondrán sensores de medida en continuo. Estos sensores serán los siguientes:

- Florapulse
- Medidos de Flujo de savia
- Dendrómetro
- Estación ATMOS 41

Por otra parte, se realizarán medidas de potencial de tallo y conductancia estomática de forma quincenal. Para estas medidas se utilizarán un porómetro de la casa Hanna y una cámara de Scholander. Tanto la medida con el porómetro como con la cámara se realizarán el mismo día y a mediodía ya que el potencial de tallo a medio día es el que más información aporta según diversas fuentes.

Además, para conocer el papel de los metabolitos en la capacidad de inflamabilidad de las hojas o acículas se realizarán análisis foliares con cuyos resultados se buscará una correlación con los diferentes patrones de estrés hídrico y flujo de savia medidos en el árbol.

3.1 Análisis estadísticos

Con toda la información que se obtenga se espera poder obtener modelos de predicción de incendios forestales basados en las variables ecofisiológicas y climáticas disponibles.

3.4 Calendario de trabajo

Se establece un calendario de trabajo que comienza la primera semana de mayo y acaba a finales de octubre. Se realizarán mediciones cada 15 días de los diferentes parámetros de estudio.

El resto del año se harán medidas mensuales y se tendrá control de todos los



sensores en campo. Los individuos de cada una de las especies seleccionados en cada parcela serán de diferentes tamaños, incluyendo 3 clases diamétricas y 3 réplicas por clase diamétrica por parcela de 30 x 30 m. Estos mismos individuos serán monitorizados siempre en todas las medidas. La especie para controlar fisiológicamente será *Pinus halepensis*

1. Resultados

Los resultados que se esperan conseguir serán un modelo a largo plazo de la evolución ecofisiológica de las especies de estudio y su relación con la humedad de los combustibles vivos de gran relevancia ante la prevención de incendios forestales.

Además, se espera poder avanzar en la comprensión del comportamiento ecofisiológico de los pinos y su respuesta como combustible vivo y grado de inflamabilidad ante la sequía.

1. Discusión

Siendo el pino de Alepo una de las especies que son capaces de mantener el Ψ del mediodía relativamente estable a medida que cambian las condiciones ambientales, resulta muy importante conocer su comportamiento límite ante la inflamabilidad que puedan presentar sus hojas debido al papel de los estomas en la regulación de la conductancia al vapor de agua, lo que afecta a la transpiración y al estado hídrico general de la planta.

Los resultados que se esperan conseguir permitirán relacionar la inflamabilidad y humedad del combustible vivo con variables ecofisiológicas medidas en campo y con sensores en continuo. Además, los análisis foliares permitirán conocer el contenido y movimiento de los metabolitos dentro de las hojas a lo largo del año y establecer las relaciones que surjan con parámetros fisiológicos de gran relevancia a la hora de estimar el estado inflamabilidad de la vegetación. Por ejemplo una muerte rápida debido al fallo hidráulico podría estar asociada con una falta del contenido adecuado de carbohidratos necesarios para la osmorregulación debido a los cambios en la translocación de carbono o incidente en el floema (Sevanto et al. 2014)

1. Conclusiones

Pese a la existencia de evidencias sobre la capacidad del pino de Alepo para



protegerse de la desecación y adaptación a la sequía se deben seguir estudiando y buscando soluciones ante los escenarios climáticos que amenazan la integridad de los bosques, no solo de la cuenca mediterránea a corto plazo sino de todo el territorio nacional.

La inflamabilidad debido al comportamiento ecofisiológico de las especies se podía entender como un proceso natural, pero en el contexto actual merece especial atención por los desequilibrios en el ecosistema que ocasiona de forma general el cambio climático.

1. Agradecimientos

Se agradece al grupo ECOFOR por su colaboración y apoyo económico. Especialmente a todas las personas que acuden siempre a las salidas de campo y permiten que estos estudios sean realidad. Y pese a que sea poco usual quisiera agradecer a la Biblioteca de Albacete de la Universidad de Castilla la Mancha por el maravilloso servicio que gestiona a la hora de proveer de material de gran valor a las personas que intentamos investigar.

1. Bibliografía

Bigler, C., & Bugmann, H. (2004). Predicting the Time of Tree Death Using Dendrochronological Data. *Ecological Applications*, 14(3), 902–914. <http://www.jstor.org/stable/4493589>

Camarero, J. J., Gazol, A., Sangüesa-Barreda, G., Oliva, J., & Vicente-Serrano, S. M. (2015). To die or not to die: early warnings of tree dieback in response to a severe drought. *Journal of Ecology*, 103(1), 44–57. <http://www.jstor.org/stable/24542183>

Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T.J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R., Bucci, S.J., Feild, T.S., Gleason, S.M., Hacke, U.G., Jacobsen, A.L., Lens, F., Maherali, H., Martínez-Vilalta, J., Mayr, S., Mencuccini, M., Mitchell, P.J., Nardini, A.G., Pittermann, J., Pratt, R.B., Sperry, J.S., Westoby, M., Wright, I.J., & Zanne, A.E. (2012). Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 491, 752–755.

de las Heras, J., Hernández-Tecles, E.J., & Moya, D. (2017). Seasonal nutrient retranslocation in reforested *Pinus halepensis* Mill. stands in Southeast Spain. *New Forests*, 48, 397–413.



Guerrero, F., Espinoza, L., Carmona, C., Blackhall, M., Quintero, C., Ocampo-Zuleta, K., Paula, S., Madrigal, J., Guijarro, M., Carrasco, Y., Bustamante-Sánchez, M.A., Miranda, A., Yáñez, K., Bergmann, J., Tabora, L., & Toledo, M. (2024). Unraveling the chemistry of plant flammability: Exploring the role of volatile secondary metabolites beyond terpenes. *Forest Ecology and Management*.

Jones H.G. (1980) Interaction and integration of adaptive responses to water stress: the implications of an unpredictable environment. In *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress* (eds Turner N.C. & Kramer P. J.), pp. 353–365. Wiley, New York, USA.

Kozłowski, T. T., P. J. Kramer, and S. G. Pallardy. 1991. *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press, San Diego, California, USA.

Lebourgeois, F. (2008) *Fonctionnement hydrique et hydraulique des arbres des arbres.. Cours formation de AgroParisTech*. INRA. Nancy, France.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Ministerio de Transición Ecológica y reto demográfico (MAPAMA). <https://sig.mapama.gob.es/geoportal/> Accessed 28 febrero 2024.

Pausas, J.G., Keeley, J.E., Schwilk, D.W., 2017. Flammability as an ecological and evolutionary driver. *J. Ecol.* 105, 289–297.

Sevanto, S., McDowell, N.G., Dickman, L.T., Pangle, R. & Pockman, W.T. (2014) How do trees die? A test of the hydraulic failure and carbon starvation hypotheses. *Plant, Cell and Environment*, 37, 153–161.

Ungar, E.D., Rotenberg, E., Raz-Yaseef, N., Cohen, S., Yakir, D., & Schiller, G. (2013). Transpiration and annual water balance of Aleppo pine in a semiarid region: Implications for forest management. *Forest Ecology and Management*, 298, 39-51.