

**9CFE-1287**



## Uso de imágenes térmicas para evaluar la variabilidad intraespecífica en la transpiración de la copa en *Pinus halepensis*

ERICA LOMBARDI (1,2,3), AITOR SAEZ DE ZERAIN (2,3), JOAN ABEL (4), RUTH SÁNCHEZ-BRAGADO (5), LUIS SERRANO (2,3), ESTER SIN (2), ANNA TEIXIDÓ (5), JORDI VOLTAS (2,3)

(1) Misión Biológica de Galicia, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (MBG-CSIC), Apdo 28 Pontevedra, 36080, Spain

(2) Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, Universitat de Lleida, Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 - Lleida

(3) Unidad Conjunta de Investigación CTFC – AGROTECNIO – CERCA, Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 – Lleida

(4) Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA), 08140 - Caldes de Montbui, Barcelona

(5) Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Catalunya (CTFC), Crta. Sant Llorenç de Morunys km 2, 25280 - Solsona, Lleida

### Resumen

La transpiración de la copa es un proceso fisiológico crítico directamente relacionado con la eficiencia en el uso del agua y la adaptación al estrés hídrico del árbol. La presente investigación evalúa la variación intraespecífica en la transpiración de copa en una especie de pino mediterráneo, *Pinus halepensis* Mill., utilizando imágenes térmicas obtenidas a partir de un vehículo aéreo no tripulado (UAV). Se utilizó un ensayo genético situado en el este de la península ibérica, en la provincia de Castellón, y se emplearon imágenes térmicas para estimar la temperatura de la copa de los árboles como indicador del consumo de agua por transpiración. Se realizaron diversos vuelos espaciados unos 90 minutos a lo largo de un día de verano con el objetivo de caracterizar posibles diferencias intraespecíficas adaptativas relacionadas con el ahorro de agua en dicha especie de pino. A partir de los resultados obtenidos se desprende que las dinámicas diarias de transpiración inferidas mediante imágenes térmicas presentan un elevado potencial para informar sobre las estrategias de uso del agua y su variabilidad dentro de las especies forestales. Se espera que dichos resultados contribuyan a una mejor comprensión de las respuestas adaptativas de *P. halepensis* a sus entornos y, especialmente, al estrés hídrico.

### Palabras clave

Coníferas, estrés hídrico, ensayo genético, uso del agua, vehículos aéreos no tripulados

### 1. Introducción

La transpiración es un proceso fisiológico esencial en las plantas (BHATLA & LAL 2023), ya que no solo está involucrada en el transporte de agua desde las raíces hasta las hojas, sino que también juega un papel clave en la regulación de la temperatura de la cubierta y el intercambio gaseoso (CERNUSAK, 2020). A través de la transpiración, las plantas contribuyen al ciclo hidrológico y, al mismo tiempo, regulan su balance hídrico, lo cual es crucial para su crecimiento y supervivencia, especialmente en entornos donde los recursos hídricos son limitados como en la región mediterránea (MITCHELL et al. 2014, UNGAR et al. 2013). En este contexto,



la presente investigación se centra en evaluar la variación intraespecífica de la transpiración de la copa en *Pinus halepensis* Mill., una especie de pino que se encuentra ampliamente distribuida en la cuenca mediterránea. Esta especie es conocida por su alta variabilidad genética, que le permite adaptarse a condiciones diferentes de sequía y temperatura, lo que la convierte en un modelo ideal para estudiar las estrategias de uso del agua en especies forestales (LOMBARDI et al. 2021, SANTINI et al. 2019a, VENNETIER et al. 2018, VOLTAS et al. 2015). La variación intraespecífica en la transpiración puede proporcionar información crítica sobre cómo las poblaciones de una especie se han adaptado a sus respectivos entornos, particularmente en relación con el uso del agua (JUAN-OVEJERO et al. 2022).

Para evaluar estas variaciones, se utilizaron imágenes térmicas obtenidas a través de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) de bajo coste, lo que permitió una monitorización precisa y detallada de las temperaturas de la copa de los árboles. Este enfoque representa una herramienta innovadora y eficiente para estudiar la fisiología de las plantas, ya que las diferencias en la temperatura superficial de la copa están directamente relacionadas con el consumo de agua por transpiración (NEINAVAZ et al. 2021, SANTINI et al. 2019b). Los vuelos programados a intervalos de 90 minutos a lo largo de un día de verano permitieron capturar las fluctuaciones térmicas diarias, proporcionando una visión dinámica de las tasas de transpiración a lo largo del día y permitiendo la comparación entre diferentes poblaciones y ecotipos de la especie.

El estudio se llevó a cabo en un ensayo genético ubicado en la provincia de Castellón, donde se caracterizaron 56 poblaciones de *P. halepensis* de edad adulta para evaluar sus respuestas adaptativas al estrés hídrico. La variabilidad observada en las dinámicas diarias de transpiración sugiere que existen diferencias significativas en la capacidad de los árboles de regular sus estomas a lo largo del día, lo que podría estar relacionado con la diferenciación genética en el uso del agua entre poblaciones o ecotipos. Estas diferencias en las respuestas adaptativas de *P. halepensis* al estrés hídrico son relevantes para la selección de árboles más resilientes en programas de reforestación y para la gestión forestal sostenible.

## 2. Objetivos

Los objetivos de este estudio fueron: i) Evaluar el uso de imágenes térmicas derivadas de vehículos aéreos no tripulados como herramienta de fenotipado de alto rendimiento con objeto de detectar diferencias genéticas en la temperatura de copa en *P. halepensis*; ii) Caracterizar la diversidad de fluctuaciones térmicas diarias de temperatura de copa como indicador de la capacidad de los individuos de regular su transpiración a lo largo del día; iii) Determinar las posibles diferencias ecotípicas existentes en tasas de transpiración, que potencialmente son indicativas de estrategias de uso del agua genéticamente contrastadas.

## 3. Metodología

En este estudio se utilizó un ensayo de procedencias situado en Altura, provincia de Castellón (39°49'29"N, 00°34'22"W, a una altitud de 640 metros sobre el nivel del mar), que actualmente alberga 346 individuos de *P. halepensis*. En este ensayo se emplearon 56 poblaciones de pino carrasco procedentes de diversas áreas de la



cuenca mediterránea representativas de la distribución actual de la especie (Figura 1). En el año 1995, se recolectaron de 20 a 30 semillas por población procedentes de individuos adultos distanciados al menos 100 metros, y se sembraron en un vivero en condiciones habituales de cultivo. Posteriormente, 896 plántulas de un año (16 por población) se plantaron en 1997 en el ensayo objeto de estudio. El diseño experimental consistió en un diseño latinizado de filas y columnas con cuatro bloques completos (JOHN & WILLIAMS, 1998).

Las poblaciones de pino carrasco se agruparon en cinco ecotipos según PATSIOU et al. (2020), que aplicaron un análisis de agrupamiento jerárquico para identificar ecotipos en función de información climática. Los ecotipos, cuya definición está basada en el clima de origen de las poblaciones, fueron: verano seco/semiárido/templado (DST), verano seco/semiárido/frío (DSC), verano seco/subhúmedo/templado (DHT), verano húmedo/semiárido/templado (WST), y verano húmedo/subhúmedo/frío (WHC) (Figura 1).

Para la captura de las imágenes térmicas se utilizó un dron comercial DJI Mavic 3T equipado con una cámara térmica de resolución 640×512 conjuntamente con una cámara RGB de 48 MP. Se realizaron un total de ocho vuelos a lo largo de un día de verano (finales de julio de 2024), con una diferencia de 90 minutos entre cada uno de ellos, para así poder caracterizar la fluctuación de las temperaturas de las copas en condiciones de pleno verano (es decir, de mayor demanda hídrica). La temperatura máxima registrada durante los vuelos fue de 31.5 °C (17:00 h) y la temperatura mínima fue de 24.9 °C (11:00 h).

Para alinear las imágenes térmicas o RGB y producir nubes de puntos densas e imágenes de ortomosaico, se utilizó el programa informático Agisoft Metashape Professional (Agisoft LLC, San Petersburgo, Rusia, versión 1.6.3.10732). Se pre-procesaron las nubes de puntos, eliminando los puntos de ruido, mediante el uso de la herramienta *lasnoise*. A continuación, los puntos del suelo se calcularon con *lasground* y, por último, los puntos se clasificaron como suelo y no suelo (vegetación) mediante *lasclassify*. Una vez filtrados y clasificados los datos, se construyó un modelo digital del terreno (MDT) y un modelo de altura de las copas (CHM) con una resolución de 10 cm, utilizando los procedimientos *GridSurfaceCreate* y *CanopyModel*, respectivamente, del software FUSION/LDV (USDA Forest Service) (LOMBARDI et al. 2022).

La detección de árboles individuales y la segmentación de cada copa se realizaron utilizando las funciones *vwf* y *mcws*, respectivamente, implementadas en el paquete ForestTools en R (LOMBARDI et al. 2022). Una vez reconocidos los árboles individuales, se estimó la temperatura de la copa de cada individuo. Y tras obtener la temperatura de la copa, se calculó la temperatura normalizada para cada individuo ( $\Delta T$ ), donde  $\Delta T = T_{\text{copa}} - T_{\text{aire}}$ .

Para comprobar la diferenciación poblacional o ecotípica, se utilizaron modelos lineales de efectos mixtos, primero de forma independiente para cada vuelo y, posteriormente, en forma de modelo único para todos los vuelos, lo que permitió estimar y comparar las variaciones temporales en la temperatura normalizada de las copas tanto a nivel poblacional como ecotípico.

#### 4. Resultados

El análisis de las variaciones térmicas de la copa de *Pinus halepensis* reveló diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la temperatura de los árboles a lo largo de



un día de verano. Asimismo, existieron diferencias significativas entre ecotipos en tres de los vuelos efectuados a lo largo del día (12.30 h, 14 h y 18.30 h), y marginalmente significativas ( $P < 0.10$ ) en otros tres vuelos (11 h, 15.30 h y 20 h) (Tabla 1). Únicamente dos de los vuelos no presentaron diferencias estadísticas entre ecotipos (Tabla 1). Estos resultados sugieren que los ecotipos responden de manera distinta a las condiciones ambientales presentes durante el periodo del año más desfavorable para el desarrollo vegetativo debido a factores adaptativos relacionados con la tolerancia al estrés hídrico y térmico, y que estas diferencias resultan más evidentes en momentos del día con mayor insolación y/o temperatura (12.30, 14, 15.30 horas).

Cuando se evaluaron los vuelos simultáneamente, los resultados confirmaron la significación del efecto tiempo, que subraya la dinámica térmica de las copas a lo largo de un día de verano (Tabla 2) (Figura 2). Sin embargo, la interacción entre los efectos de ecotipo y tiempo no resultó significativa, sugiriendo que el patrón temporal en términos de tasa de transpiración es similar entre ecotipos (Tabla 2). En realidad, únicamente uno de los ecotipos (DHT) presentó un descenso evidente de  $\Delta T$ , que se mantuvo a lo largo del ciclo diario completo de fluctuación térmica, y que por otra parte presentó una dinámica común para todos los ecotipos (Figura 3).

## 5. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio destacan la existencia de variabilidad intraespecífica en la transpiración de la copa en *P. halepensis*, especialmente durante las horas más cálidas del día, lo que sugiere adaptaciones diferenciales a las condiciones de estrés hídrico típicas del verano mediterráneo. Estas diferencias pueden estar relacionadas con las estrategias de uso del agua de las distintas poblaciones de *P. halepensis* (LOMBARDI et al. 2021, VOLTAS et al. 2015), una especie que presenta una notable variabilidad genética que le permite adaptarse a una amplia gama de condiciones ambientales (SANTINI et al. 2019, KLEIN et al. 2013).

El estudio reveló que las temperaturas de las copas difieren significativamente a lo largo del día, mostrando en general una respuesta parabólica en todos los ecotipos y poblaciones (Figura 2), con una temperatura de copa menor por la mañana y una temperatura de copa mayor al mediodía y durante las primeras horas de la tarde, que vuelve a descender a última hora de la tarde. Las fluctuaciones térmicas de las copas revelaron que, aunque las diferencias entre ecotipos no siempre fueron coherentes en todos los vuelos, las variaciones más evidentes se produjeron en los momentos del día con mayor temperatura y demanda hídrica (12.30 h, 14.00 h y 15.30 h). Este resultado es relevante, ya que indica que los ecotipos podrían estar respondiendo de manera distinta al estrés hídrico, probablemente en base a diferentes estrategias en el uso del agua ya subrayadas en estudios precedentes para la misma especie (LOMBARDI et al. 2021, SANTINI et al. 2019, VOLTAS et al. 2015). Aunque los resultados sugieren que los ecotipos siguen un patrón de transpiración similar a lo largo del día, se observó que el único ecotipo que difiere claramente de los demás es el ecotipo DHT (Fig 3). En concreto, se observó que DHT presenta consistentemente una mayor tasa de transpiración (menor  $\Delta T$ ) en cada uno de los vuelos (excepto a las 9:30 h y las 20 h, donde la  $\Delta T$  es similar en todos los ecotipos). Esto indica que DHT tiene una menor regulación de sus estomas respecto al resto de ecotipos, y que probablemente se traslada a una mayor fijación de



carbono, pero una menor eficiencia en el uso del agua (DIXIT et al, 2022, GENTILESCA et al. 2021). Este resultado coincide con estudios precedentes que describen DHT como un ecotipo de muy rápido crecimiento, y que destina sus recursos principalmente al crecimiento aéreo (LOMBARDI et al. 2022, PATSIU et al. 2020, SANTINI et al. 2019a).

El uso de imágenes térmicas obtenidas por UAV permitió una monitorización precisa y eficiente de las fluctuaciones térmicas a lo largo del día, lo que supone una ventaja respecto a los métodos tradicionales basados en la medición directa de la tasa de transpiración. Este enfoque no invasivo, de bajo coste y de alta resolución espacial ofrece una visión dinámica y detallada de las diferencias intraespecíficas en la regulación de la transpiración en *P. halepensis*, lo que facilita la identificación de características fisiológicas claves relacionadas con la adaptación al estrés hídrico.

## 6. Conclusiones

En conclusión, los resultados de este estudio aportan información valiosa sobre la variabilidad intraespecífica en la transpiración de copa en *Pinus halepensis*, y abren nuevas vías de investigación en relación a la caracterización de patrones adaptativos de las especies forestales al estrés hídrico. El uso de tecnologías como los UAV para obtener imágenes térmicas representa una herramienta prometedora para el monitoreo de la fisiología de las plantas en el contexto de la gestión forestal sostenible y la selección de especies, poblaciones u otros materiales genéticos más tolerantes al cambio climático.

## 7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Gobierno de España, proyecto PID2022-140521OB-C33 (MCIU/AEI/ FEDER, UE). Aitor Saez de Zerain ha sido receptor de un contrato pre-doctoral de la Universidad de Lleida.

## 8. Bibliografía

- BHATLA, S. C. & LAL, M. A.; 2023 Plant physiology, development and metabolism. Springer Nature. 14-20. Singapore Pte Ltd.
- CERNUSAK, L. A.: 2020. Gas exchange and water-use efficiency in plant canopies. *Plant Biol.* 22 52-67.
- DIXIT, A., KOLB, T., & BURNEY, O.; 2022. Trade-off between growth rate and water use efficiency in southwestern ponderosa pine provenances. *For. Ecol. and Manag.* 515 120239.
- GENTILESCA, T., BATTIPAGLIA, G., BORGHETTI, M., COLANGELO, M., ALTIERI, S., FERRARA, A. M., LAPOLLA, A., RITA, A., RIPULLONE, F.; 2021. Evaluating growth and intrinsic water-use efficiency in hardwood and conifer mixed plantations. *Trees* 35 1329-1340.
- JOHN, J.A., WILLIAMS, E.R.; 1998. t-Latinized designs. *Satist NZJ* 40 111–118.
- JUAN-OVEJERO, R., CASTRO, J., & QUEREJETA, J. I.; 2022. Low acclimation potential compromises the performance of water-stressed pine saplings under Mediterranean xeric conditions. *Sci. Total Environ.* 831 154797.





KLEIN, T., DI MATTEO, G., ROTENBERG, E., COHEN, S., YAKIR, D.; 2013. Differential ecophysiological response of a major Mediterranean pine species across a climatic gradient. *Tree Physiol.* 33 26–36.

LOMBARDI, E., FERRIO, J. P., RODRÍGUEZ-ROBLES, U., RESCO DE DIOS, V., & VOLTAS, J.; 2021. Ground-penetrating radar as phenotyping tool for characterizing intraspecific variability in root traits of a widespread conifer. *Plant Soil* 468 319-336.

LOMBARDI, E., RODRÍGUEZ-PUERTA, F., SANTINI, F., CHAMBEL, M. R., CLIMENT, J., RESCO DE DIOS, V., & VOLTAS, J.; 2022. UAV-LiDAR and RGB imagery reveal large intraspecific variation in tree-level morphometric traits across different pine species evaluated in common gardens. *Remote Sens.* 14 5904.

MITCHELL, P. J., O'GRADY, A. P., TISSUE, D. T., WORLEDGE, D., & PINKARD, E. A.; 2014. Co-ordination of growth, gas exchange and hydraulics define the carbon safety margin in tree species with contrasting drought strategies. *Tree Physiol.* 34 443-458.

NEINAVAZ, E., SCHLERF, M., DARVISHZADEH, R., GERHARDS, M., & SKIDMORE, A. K.; 2021. Thermal infrared remote sensing of vegetation: Current status and perspectives. *Int. J. App. Earth Obs. Geoinf.* 102 102415.

PATSIU, T. S., SHESTAKOVA, T. A., KLEIN, T., DI MATTEO, G., SBAY, H., CHAMBEL, M. R., ZAS, R., VOLTAS, J.; 2020. Intraspecific responses to climate reveal nonintuitive warming impacts on a widespread thermophilic conifer. *New Phytol.* 228 525-540.

SANTINI, F., CLIMENT, J. M., & VOLTAS, J.; 2019a. Phenotypic integration and life history strategies among populations of *Pinus halepensis*: an insight through structural equation modelling. *Ann. Bot.* 124 1161-1171.

SANTINI, F., KEFAUVER, S. C., RESCO DE DIOS, V., ARAUS, J. L., & VOLTAS, J.; 2019b. Using unmanned aerial vehicle-based multispectral, RGB and thermal imagery for phenotyping of forest genetic trials: A case study in *Pinus halepensis*. *Ann. Appl. Biol.* 174 262-276.

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. *For. Eco. Manag.* 298 39-51.

VENNETIER, M., RIPERT, C., & RATHGEBER, C.; 2018. Autecology and growth of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.): A comprehensive study in France. *For. Eco. Manag.* 413 32-47.

VOLTAS, J., LUCABAUGH, D., CHAMBEL, M. R., & FERRIO, J. P.; 2015. Intraspecific variation in the use of water sources by the circum-Mediterranean conifer *Pinus halepensis*. *New Phytol.* 208 1031-1041.

Tabla 1. Análisis de la varianza (modelo de efectos mixtos) para la temperatura de copa de 56 poblaciones de pino carrasco categorizadas en cinco ecotipos y plantadas en un ensayo genético de edad 27 años situado en Altura (provincia de Castellón, este de España). El análisis de varianza se ajustó independientemente para cada vuelo (o 'tiempo'). Tiempo 1 = 9.30 horas; tiempo 2 = 11.00 horas; tiempo 3 = 12.30 horas; tiempo 4 = 14.00 horas; tiempo 5 = 15.30 horas; tiempo 6 = 17.00 horas; tiempo 7 = 18.30 horas; tiempo 8 = 20.00 horas. En la tabla se presentan los efectos fijos del modelo.

| Tiempo       |        |        |         |        |        |         |        |        |         |        |        |         |       |
|--------------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-------|
|              | 1      | 2      |         |        | 3      |         |        | 4      |         |        |        |         |       |
| Efecto       | Num DF | Den DF | Valor F | P > F  | Den DF | Valor F | P > F  | Den DF | Valor F | P > F  | Den DF | Valor F | P > F |
| COL          | 6      | 19     | 19.01   | <0.001 | 19     | 11.04   | <0.001 | 18     | 8.55    | <0.001 | 19     | 0.79    | 0.586 |
| BLOQUE       | 3      | 16     | 3.47    | 0.041  | 17     | 0.81    | 0.508  | 16     | 6.58    | 0.004  | 19     | 4.13    | 0.021 |
| ECOTIPO [E]  | 4      | 227    | 0.48    | 0.750  | 233    | 2.19    | 0.070  | 123    | 2.89    | 0.025  | 117    | 3.71    | 0.007 |
| POBLACIÓN(E) | 47     | 170    | 1.27    | 0.138  | 184    | 1.35    | 0.083  | 97     | 1.54    | 0.038  | 90     | 1.98    | 0.003 |
| Tiempo       |        |        |         |        |        |         |        |        |         |        |        |         |       |
|              |        | 5      | 6       |        |        | 7       |        |        | 8       |        |        |         |       |
| Efecto       | Num DF | Den DF | Valor F | P > F  | Den DF | Valor F | P > F  | Den DF | Valor F | P > F  | Den DF | Valor F | P > F |
| COL          | 6      | 19     | 15.36   | <0.001 | 19     | 7.08    | 0.001  | 17     | 26      | <0.001 | 18     | 6.92    | 0.001 |
| BLOQUE       | 3      | 18     | 6.45    | 0.004  | 10     | 6.59    | 0.010  | 13     | 5.48    | 0.012  | 20     | 3.45    | 0.036 |
| ECOTIPO [E]  | 4      | 122    | 2.31    | 0.062  | 130    | 1.9     | 0.115  | 254    | 4.96    | 0.001  | 100    | 2.11    | 0.085 |
| POBLACIÓN(E) | 47     | 96     | 0.92    | 0.619  | 105    | 1.11    | 0.322  | 222    | 1.59    | 0.015  | 79     | 0.83    | 0.752 |

Tabla 2. Análisis de la varianza (modelo de efectos mixtos) para la temperatura de la copa de 56 poblaciones de pino carrasco categorizadas en cinco ecotipos plantadas en un ensayo genético de edad 27 años situado en Altura (provincia de Castellón, este de España). El análisis de varianza se realizó para una serie temporal de ocho vuelos consecutivos en un día de verano (9.30 horas; 11.00 horas; 12.30 horas; 14.00 horas; 15.30 horas; 17.00 horas; 18.30 horas; 20.00 horas). La serie temporal se ha considerado tanto como efecto categórico (Tiempo), como efecto continuo lineal (Tiempo\_l) y cuadrático (Tiempo\_c). En la tabla se presentan los efectos fijos del modelo.



| Efecto           | Num DF | Den DF | F Value | P > F  |
|------------------|--------|--------|---------|--------|
| COL              | 6      | 18     | 11.00   | <0.001 |
| BLOQUE           | 3      | 20     | 7.02    | 0.002  |
| ECOTIPO          | 4      | 42.5   | 5.50    | 0.001  |
| TIEMPO           | 7      | 1379   | 2262.00 | <0.001 |
| ECOTIPO×TIEMPO   | 28     | 1369   | 1.00    | 0.464  |
| TIEMPO_1         | 1      | 5      | 1.24    | 0.315  |
| TIEMPO_c         | 1      | 5      | 8.12    | 0.036  |
| ECOTIPO×TIEMPO_1 | 4      | 1388   | 1.26    | 0.283  |
| ECOTIPO×TIEMPO_c | 4      | 1388   | 2.13    | 0.075  |

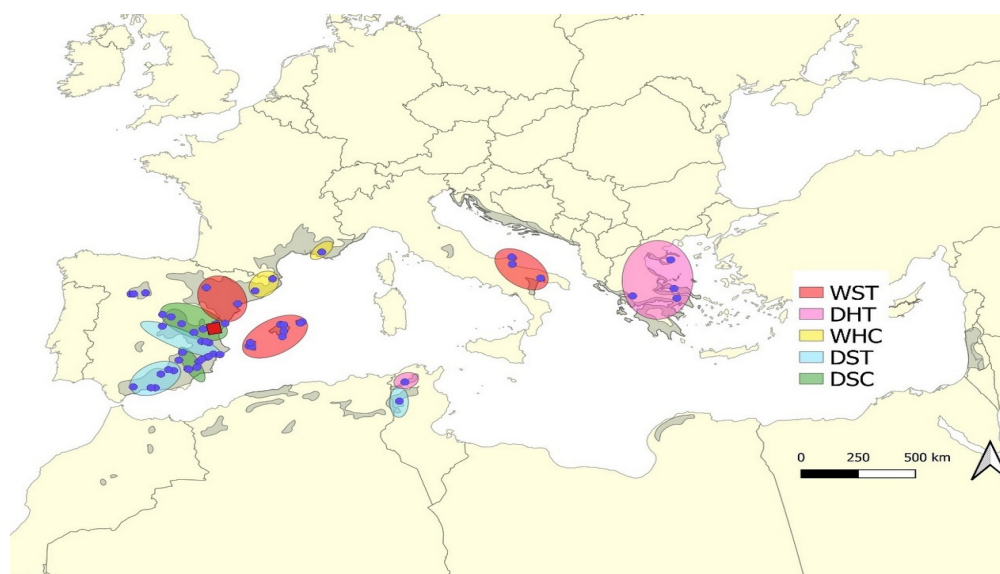


Figura 1. Origen geográfico de las 56 poblaciones de *P. halepensis* (puntos azules), agrupadas en 5 ecotipos (elipses de colores): verano seco/semiárido/templado (DST), verano seco/semiárido/frío (DSC), verano seco/subhúmedo/templado (DHT), verano húmedo/semiárido/templado (WST), y verano húmedo/subhúmedo/frío (WHC). Las poblaciones se han evaluado en un ensayo genético situado en Castellón (cuadrado rojo). El área gris representa la distribución actual de la especie de acuerdo a EUFORGEN (<http://www.euforgen.org/species/pinus-halepensis/>).

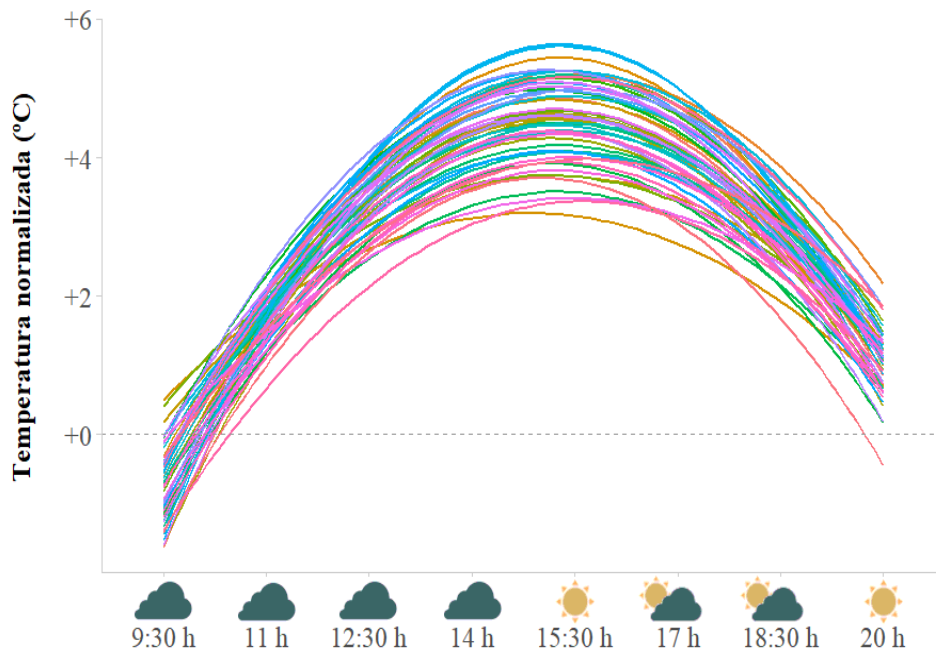


Figura 2. Fluctuación diaria (ajuste cuadrático) de la temperatura de copa normalizada de las 56 poblaciones de pino carrasco plantadas en un ensayo genético de edad 27 años situado en Altura (provincia de Castellón, este de España).

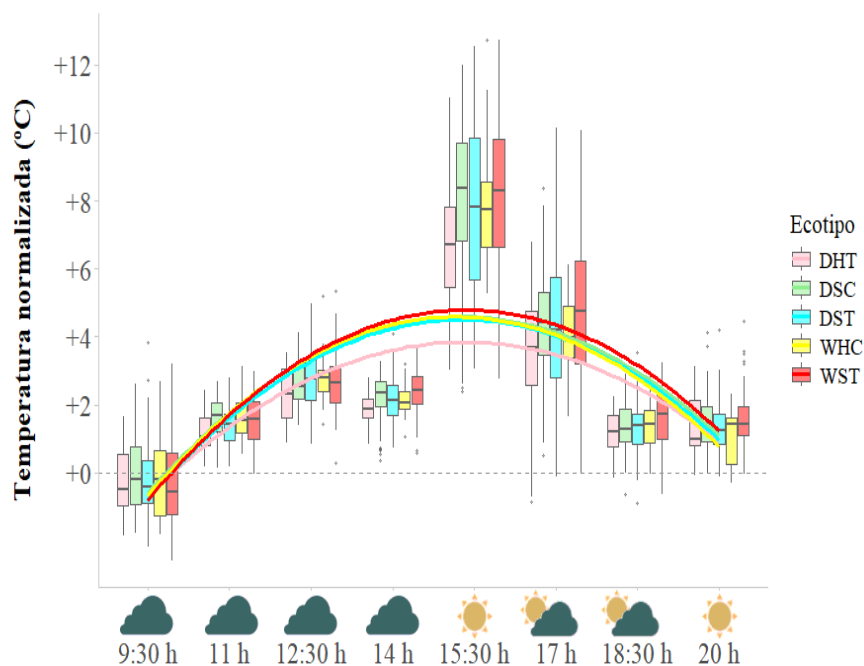


Figura 3. Fluctuación diaria (ajuste cuadrático) de la temperatura de copa normalizada de los 5 ecotipos en los cuales se agrupan las 56 poblaciones de pino carrasco plantadas en un ensayo genético de edad 27 años situado en Altura (provincia de Castellón, este de España): verano seco/semiárido/templado (DST), verano seco/semiárido/frío (DSC), verano seco/subhúmedo/templado (DHT), verano húmedo/semiárido/templado (WST), y verano húmedo/subhúmedo/frío (WHC). Los diagramas de cajas y bigotes (boxplots) ilustran la distribución de las temperaturas



de las copas por cada ecotipo en cada hora de vuelo.