



9CFE-1443

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

Organiza





Un primer paso hacia la determinación del espesor del bornizo mediante técnicas no invasivas

GARCÍA-PIRES, S. (1), SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M. (1), EZQUERRA-CANALEJO, A. (2) y GONZÁLEZ-ADRADOS, J. (2).

(1) Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR) – Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria de España (INIA) – Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

(2) Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

• Resumen

La determinación del espesor de corcho, especialmente en alcornoques no descorchados (bornizos), reviste una serie de dificultades, tanto por su magnitud como por su irregularidad. El espesor del floema (capa madre), de dureza muy inferior a la madera, es así mismo una fuente de imprecisión cuando se usan los calibradores de corteza habitualmente utilizados en el resto de especies forestales. El objetivo del trabajo es analizar la posibilidad de inferir dicho espesor a partir de los parámetros externos, que definen la irregularidad de la corteza, medibles en campo con técnicas no destructivas.

En el presente trabajo se utilizan secciones normales de árboles apeados para medir, mediante análisis de imagen, los parámetros externos que definen la irregularidad de la corteza y los parámetros internos que caracterizan la estructura interna del árbol. Los parámetros externos son: circularidad, solidez, índice de aspecto y redondez de la sección, y profundidad de las grietas. Los parámetros internos son el espesor de los distintos tejidos distinguibles macroscópicamente: felema (corcho), floema (capa madre) y xilema (madera). Finalmente, se analiza la correlación entre ambos grupos de parámetros para determinar la posibilidad de estimar los internos a partir de los externos.

Los resultados muestran que la profundidad de las grietas, o amplitud, es un buen estimador del calibre del corcho, con lo que se podría obtener el espesor de bornizo de forma precisa con técnicas no invasivas.

• Palabras clave

Quercus suber, calibre, corcho.

1. Introducción

El corcho es un material biológico que soporta una cadena de valor integrada con un impacto económico, social y ecológico significativo en las regiones corcheras. El uso del corcho contribuye a la conservación de los alcornocales (*Quercus suber* L.) que en la actualidad se ven amenazados por numerosos peligros agravados por el cambio climático. Para hacer frente a esta situación vulnerable, el proyecto ACICORK (Alcornocales Climáticamente Inteligentes: Herramientas para la gestión y monitorización forestal, la caracterización del corcho y la lucha contra la Seca) tiene como principal objetivo el desarrollo y la mejora de herramientas innovadoras para la gestión forestal de los alcornocales. Para conseguirlo uno de los objetivos específicos es estudiar la viabilidad de técnicas no destructivas para



estimar la capacidad productiva de árboles en pie. Entre las variables que definen la capacidad productiva en un árbol concreto se encuentra el espesor o calibre del corcho producido. La determinación de esta variable, especialmente en alcornoques no descorchados (bornizos), reviste una serie de dificultades, tanto por su magnitud como por su irregularidad. Hasta ahora, para medir el calibre del corcho en árboles en pie se ha utilizado el Coveless CQ05™ y el calibrador tradicional, técnicas de escasa precisión cuando deben medir el espesor del corcho bornizo.

Por un lado, el calibrador tradicional es una herramienta forestal diseñada para la medición *in situ*, en milímetros, del espesor de la corteza (PÉREZ-HARGUINDEGUY, N., 2013). Su aplicación en el caso del bornizo presenta problemas de precisión debidos, en primer lugar, a la irregularidad del contorno. Otra fuente de imprecisión viene del espesor del floema (capa madre), que es de dureza muy inferior a la madera, lo que hace difícil precisar el punto donde termina un tejido y comienza el otro. Por otro lado, el Coveless CQ05™ (en adelante, COVELESS) es un instrumento –un micrómetro– que permite medir el espesor del corcho en un árbol basándose en la diferencia de conductividad de la corteza y los tejidos vivos que la generan. Para ello utiliza una sonda (electrodo) que atraviesa la corteza del alcornoque (CHORANA et al. 2019). Sin embargo, este instrumento presenta problemas de fiabilidad cuando se utiliza en días donde los niveles de humedad son significativos.

Por todo ello, debido a la falta de precisión que presentan ambos instrumentos, es necesario buscar nuevos métodos que permitan aumentar tanto la precisión como la fiabilidad de las mediciones en cualquier tipo de condiciones.

Analizando visualmente las rodajas, se plantea la hipótesis de que algunas de las medidas del contorno del corcho pueden servir para la determinación del calibre. Esta hipótesis se basa en que el agrietado se produce por la rotura del material al ser sometido a las tensiones tangenciales derivadas del crecimiento: al aumentar la distancia al felógeno, aumenta la tensión en sentido tangencial y disminuye la resistencia (tensión de rotura) del material (ANJOS et al., 2010).

Para facilitar el análisis se hace un primer listado de parámetros, diferenciado los que hacen referencia a la estructura interna del tronco (espesor del corcho y de la capa madre), y los que pueden ser observados desde el exterior, o parámetros externos. Los dos grupos de parámetros son medibles directamente en una sección transversal del tronco (rodaja) utilizando programas informáticos de análisis de imagen. Los parámetros externos pueden ser medidos en campo, sin apeo del árbol, mediante técnicas automáticas como el LIDAR terrestre (TLS). Éste, mediante un escáner láser, calcula la distancia a la superficie reflectada mediante pulsos de luz (DASSOT *et al.*, 2011; CALDERS *et al.* 2020) y permite reconstruir el contorno del árbol.

2. Objetivos



El objetivo del trabajo es analizar la posibilidad de inferir el espesor del corcho bornizo a partir de los parámetros externos, que definen la irregularidad de la corteza, medibles en campo con técnicas no destructivas, como el TLS. Para ello, se diseña una metodología que permita relacionar los parámetros internos del árbol, como es el calibre, con los parámetros externos (forma y propiedades de la superficie del tronco), que son los que se podrían medir con TLS en campo.

3. Metodología

Para poder determinar una relación entre los parámetros internos y externos del corcho bornizo, se llevaron a cabo una serie de mediciones de los dos tipos de parámetros a través del análisis de imágenes de rodajas de alcornoque. Estas rodajas proceden de 59 árboles que fueron apeados en diciembre de 2020 en unas parcelas de experimentación localizadas en los términos municipales de la Calzada de Oropesa (Toledo) y Cáceres. Para este trabajo se utilizaron 44 muestras, descartando aquellas que mostraban anomalías graves (descomposición de la madera por pudrición, secciones con un corte diagonal espacios huecos entre capas). Las rodajas seleccionadas fueron escaneadas en un escáner de mesa que proporcionó imágenes RGB con una resolución de 1082 ppp (imágenes tiff de alta calidad), las cuales fueron analizadas con el software ImageJ (SCHNEIDER, C. et al., 2012). La precisión en la medida de la distancia es $<0.1\text{mm}$. Este programa permite medir los parámetros externos que definen la irregularidad de la corteza y los parámetros internos que caracterizan la estructura interna del árbol por medio de las imágenes escaneadas.

a. Estructura interna

Los parámetros internos caracterizan la estructura interna del árbol, es decir, el espesor de los tejidos observables en la sección transversal: el felema, que es el corcho (en este caso bornizo, ya que nunca se ha extraído); el floema, llamado también liber o capa madre, que presenta una dureza bastante inferior a la del xilema; y el xilema, que es el leño o madera.

Con el software ImageJ, se tomó una primera medida del diámetro mayor de la rodaja, de cresta a cresta, como se haría con una forcípula en campo. El diámetro se traza de forma segmentada, diferenciando las siguientes capas: el calibre del corcho, el espesor de la capa madre y el diámetro del leño. Por lo que, cada diámetro, queda compuesto por cinco medidas: una corresponde con el diámetro de la madera, dos medidas corresponden al espesor de corcho y otras dos medidas al espesor de capa madre o liber. Para determinar el calibre medio de corcho y liber que hay, solo es necesario promediar las dos mediciones obtenidas en el mismo diámetro. Por otro lado, la suma de las tres capas es la que dará lugar al diámetro total de la muestra, DSC (diámetro sobre corcho, equiparable al obtenido en campo con forcípula). El proceso se repitió para la misma muestra, tomando así los dos diámetros mayores (Figura 1). Los valores medios de estas mediciones de todas las muestras se recogieron en las variables “calibre corcho”, “espesor liber”, “diámetro leño” y “DSC”, todas ellas expresadas en cm.



b. Parámetros externos

Los parámetros externos definen la irregularidad de la corteza que, generalmente, en el corcho bornizo suele ser muy elevada. Para este trabajo se determinaron, mediante análisis de imagen, los siguientes: la circularidad, la solidez, el índice de aspecto, la redondez y la profundidad de las grietas (“amplitud”).

Por un lado, en cada imagen se delimitó el ROI (*Region Of Interest*), es decir, toma una región de interés que, en este caso, se considera el contorno de la rodaja (Figura 2) utilizando la herramienta “wand (tracing) tool”. El programa automáticamente proporciona una serie de parámetros que caracterizan dicho ROI: la relación del aspecto de la elipse (*Aspect ratio*, AR, relación entre el eje mayor y el menor de la elipse circunscrita); la redondez (*Round*); y la solidez (*Solidity*).

Para el cálculo de *Round*, utiliza el área y el eje mayor, de forma que

$$\text{Round} = 4 \times (\text{Área} / (\pi \times \text{eje mayor}))$$

Por último, *Solidity*, que se calcula con área y el área convexa,

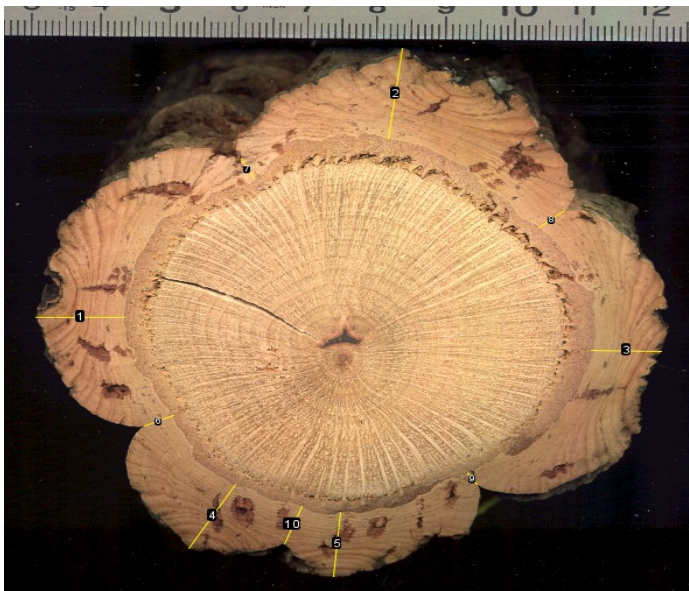
$$\text{Solidity} = (\text{Área} / \text{Área convexa})$$

El programa también proporciona el diámetro rectángulo (Drect, media de las dimensiones del menor rectángulo circunscrito); el diámetro de la elipse (Delip, media de los ejes de la menor elipse circunscrita); y el diámetro feret (Dferet, máxima distancia entre dos puntos del contorno).



Se tomó como resultado de este análisis el promedio de cinco mediciones realizadas sobre cada una de las muestras.

De forma independiente se midió el parámetro “amplitud” o profundidad media de las grietas, midiendo la distancia desde la capa madre hasta el extremo del tejido en todas las crestas y en el punto más próximo a la capa madre de cada una de las grietas de la muestra. El promedio de las distancias de las crestas dará como resultado el calibre máximo de la sección (calibre máximo medio) y, el promedio de las distancias de las grietas, el mínimo. La diferencia de ambas medidas se determinó como la amplitud de la muestra (Figura 3).



c. Análisis estadístico

Los parámetros externos e internos obtenidos fueron analizados utilizando el software *Statgraphics* (STATGRAPHICS TECHNOLOGIES, 2023). Se hizo un análisis descriptivo, cuyo propósito es resumir y organizar los datos para facilitar su comprensión e interpretación. También, se llevó a cabo un análisis de

correlaciones, que aporta información sobre las relaciones entre las variables estudiadas.

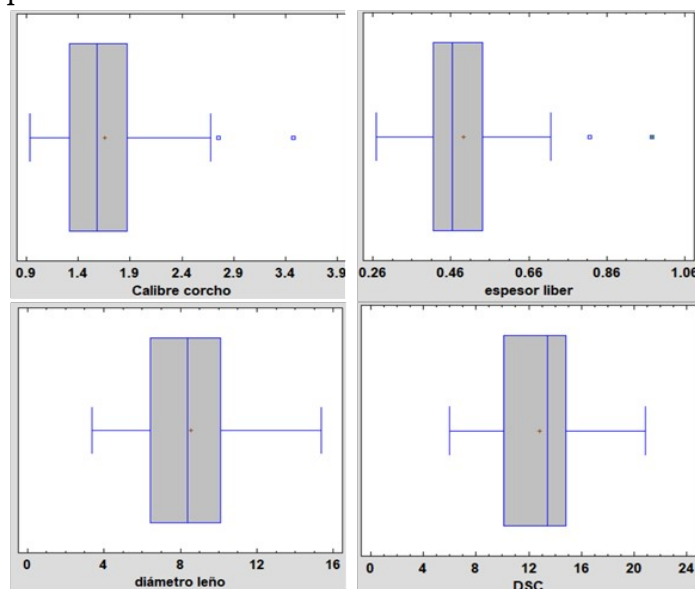
4. Resultados

a. Análisis descriptivo

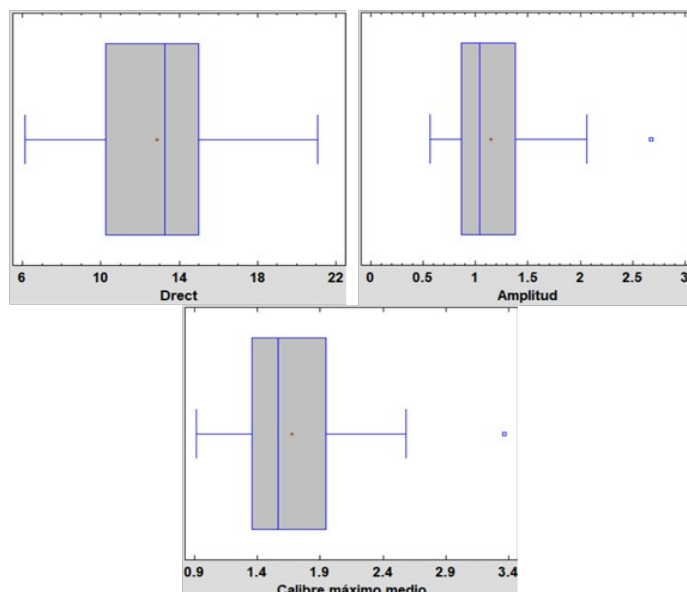
Los resultados obtenidos se presentan en cuatro gráficos de cajas y bigotes (Figura 4). En éstos se puede apreciar la distribución de los datos en cuartiles (cajas), cuyas líneas horizontales (bigotes) expresan la variabilidad fuera de los cuartiles. Además, los puntos que quedan fuera de estas líneas son valores atípicos. También, se resalta con una línea vertical, dentro de la caja, los valores medios de cada conjunto de datos.

El calibre del corcho y el espesor del liber presentaron dos valores anómalos. En el caso de la primera gráfica, la muestra 357 presentó un calibre del corcho de 2,8 cm y en la muestra 369, un calibre de 3,5 cm, los cuales distan del resto de valores. Sin embargo, al comprobar si existían errores o anomalías, no se encontraron para ninguna de las muestras. En el caso de la muestra 357, presentó un espesor de corcho elevado, que se puede apreciar en la imagen y, cuyas mediciones coinciden con sus crestas máximas. Por otro lado, estudiando los valores atípicos de la segunda gráfica, se identificaron las muestras 670, con 0,82 cm de media de capa madre y la 849 que presenta un 0,98 cm. Se comprobaron que las mediciones están bien en ambas muestras y que los resultados obtenidos son los que aparecen.

Con respecto a los gráficos del diámetro del leño y el DSC, los datos no presentaron valores anómalos.



En las gráficas representadas a continuación (Figura 5) se representan los valores de las variables de los parámetros externos que se han utilizado en este estudio. Las gráficas muestran que apenas hay valores atípicos y que la variabilidad relativa que presentan se debe a la diversidad de tamaño de las muestras.



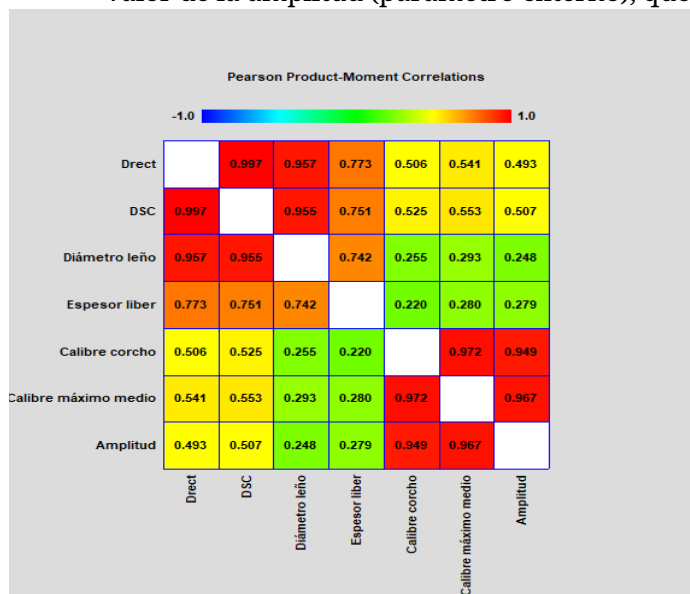
En la siguiente tabla (Tabla 1) se muestran los estadísticos descriptivos más significativos para cada variable. Se puede observar la similitud entre variables que miden el mismo parámetro de dos formas distintas, como son “Calibre corcho” (medido como parámetro interno) y “Calibre máximo medio” (obtenido con el análisis de imagen midiendo la amplitud como parámetro externo) o, por otro lado, DSC (medido como parámetro interno) y Drect (obtenido con las mediciones proporcionadas con el ROI, como parámetro externo). Esto corrobora la precisión de las medidas ya que los resultados son prácticamente iguales (la correlación entre DSC y Drect es de 0,9974) a pesar de haber utilizado distintos métodos para su obtención.

ESTADÍSTICO	Calibre corcho (cm)	Espesor liber (cm)	Diámetro leño (cm)	DSC (cm)	Drect (cm)	Amplitud (cm)	Calibre máximo medio (cm)
Recuento	44	44	44	44	44	44	44
Promedio	1,66	0,49	8,54	12,86	12,87	1,14	1,67
Desviación Estándar	0,51	0,13	2,76	3,38	3,39	0,41	0,47
Coefficiente de Variación	30,54%	27,33%	32,31%	26,30%	26,38%	35,92%	28,40%
Mínimo	0,94	0,27	3,37	5,97	6,13	0,56	0,91
Máximo	3,48	0,98	15,37	20,90	21,06	2,67	3,36
Rango	2,54	0,71	12,01	14,94	14,93	2,11	2,45
Sesgo Estandarizado	3,843	3,754	1,671	0,767	0,802	3,987	3,265
Curtosis Estandarizada	3,994	4,172	0,296	-0,423	-0,406	4,487	3,367

b. Análisis de correlaciones

La siguiente figura muestra el resultado del análisis de correlaciones entre el resto de variables, tanto parámetros internos como externos (Figura 6). Se presentan únicamente aquéllas que han resultado más significativas para el estudio. Sobre estos resultados se pueden hacer los siguientes comentarios:

- La alta correlación entre los diámetros medidos con las distintas metodologías (DSC -parámetro interno- y Direct -parámetro externo-) sirve de validación de las mediciones realizadas, y da robustez al conjunto de datos obtenido. Estos parámetros son medidas realizadas con diferentes métodos que proporcionan resultados similares. Lo mismo se puede afirmar respecto a las medidas del espesor del corcho (calibre corcho y calibre máximo medio).
- La elevada correlación entre la amplitud y calibre del corcho, y entre amplitud y calibre máximo medio (0,949 y 0,967 respectivamente), indica la posibilidad de inferir el calibre del corcho (parámetro interno) a partir del valor de la amplitud (parámetro externo), que es el objetivo de este trabajo.



5. Discusión

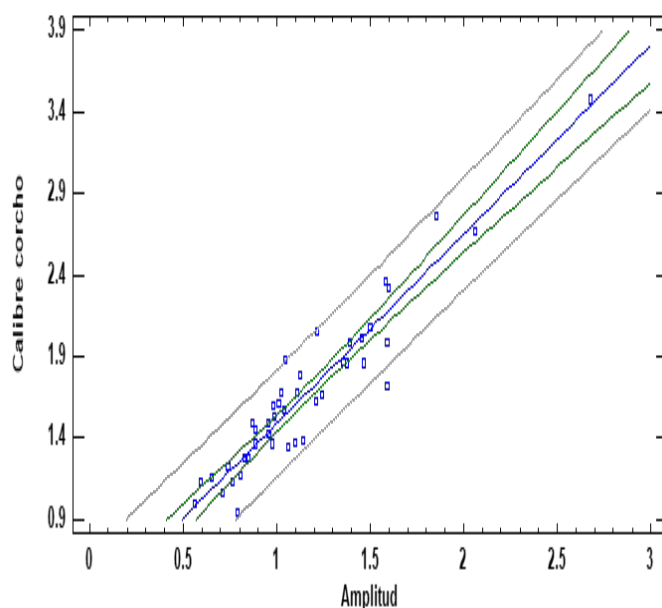
Los resultados obtenidos muestran que, si se mide en campo con TLS el contorno del tronco de los alcornoques, existe la posibilidad de caracterizar el tronco del árbol de forma muy completa a partir de esta información. En concreto, sería posible determinar los dos principales parámetros desde el punto de vista productivo: diámetro normal y espesor del bornizo.

La buena correlación entre el calibre del corcho y la amplitud, calculada a partir de la diferencia de las medidas de las crestas y las grietas de cada muestra (Figura 6) permite estimar el calibre del corcho de forma indirecta sin necesidad de utilizar los procedimientos tradicionales. Para ello, se hizo una regresión lineal simple (Figura 7), cuya ecuación es

$$\text{Calibre del corcho} = 0.320506 + 1.16469 \times \text{Amplitud}$$

El estadístico R^2 indica si el modelo de regresión se ajusta a los datos reales. El coeficiente de determinación (R^2) es de 0.948709, lo que supone un buen ajuste y que el modelo describe los datos suficientemente bien. El error estándar de la estimación es 0.161792,

Por todo ello, la ecuación y estadísticos describe una relación lineal donde la amplitud es un buen predictor del calibre del corcho.



El error de estimación de la regresión que relaciona el calibre del corcho y la amplitud (0.1617) es menor que las medidas calculadas de espesor del liber (0.49 cm, representados en la Figura 4 y Tabla 1), por lo que se puede afirmar que la estimación es más precisa que la medición con calibre tradicional.

6. Conclusiones

La amplitud, o profundidad media de las grietas, es un buen estimador del calibre medio del corcho en bornizos. Podría obtenerse a partir de la sección del tronco medido con TLS, por lo que sería posible estimar, de forma precisa, el calibre del corcho a partir de estos datos.

7. Agradecimientos

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i ACICORK (PID2022-141973OR-C31), financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ “FEDER Una manera de hacer Europa”.

8. Bibliografía

CALDER, K.; ADAMS, J.; ARMSTON, J.; BARTHOLOMEUS, H.; BAUWENS, S.; BENTLEY, L.P.; CHAVE, J.; DANSON, F.M.; DEMOL, M.; DISNEY, M.; GAULTON, R.; MOORTHY, S.M.K.; LEVICK, S.R.; SAARINEN, N.; SCHAAF, C.; STOVALL, A.; TERRY, L.; WILKES, T. & VERBEECK, H.; 2020. Terrestrial laser scanning in forest ecology: Expanding the horizon. *Remote Sensing of Environment*. Volume 251.

CHORANA A., DEHANE B. & SANTIAGO BELTRÁN S.; 2019. Characterisation of the cork growth and quality of cork oak woodlands, North-West Algeria. *International*



Journal of Environmental Studies. 76:3, 507-522

DASSOT, M., CONSTANT, T. & FOURNIER, M.; 2011. The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of Forest Science*. 68, 959–974.

PÉREZ-HARGUINDEGUY N.; DÍAZ S.; GARNIER E.; LAVOREL S.; POORTER H.; JAUREGUIBERRY P.; BRET-HARTE M. S.; CORNWELL W. K.; CRAINE J. M.; GURVICH D. E.; URCELAY C.; VENEKLAAS E. J.; REICH P. B.; POORTER L.; WRIGHT I. J.; RAY P.; ENRICO L.; PAUSAS J. G.; DE VOS A. C.; BUCHMANN N.; FUNES G.; QUÉTIER F.; HODGSON J. G.; THOMPSON K.; MORGAN H. D.; TER STEEGE H.; VAN DER HEIJDEN M. G. A.; SACK L.; BLONDER B.; POSCHLOD P.; VAIERETTI M. V.; CONTI G.; STAYER A. C.; AQUINO S.; CORNELISSEN J. H. C; 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*. 61 167-234.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S. & ELICEIRI, K. W.; 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*. 9(7), 671–675.

Statgraphics Technologies, Inc. *Statgraphics Centurion (versión X.Y)* [Internet]; 2023. <https://www.statgraphics.com>