



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

9CFE-1332

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

Organiza





Análisis de la calidad de corcho en alcornoques en Extremadura

SÁNCHEZ- GONZALEZ, M. (1), SANTIAGO BELTRÁN, R. (2), LANZO PALACIOS, R. (2), PRADES LÓPEZ, C. (3)

(1) Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR – INIA, -CSIC). Madrid (Libre Franklin 9, justificación completa)

(2) Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal (CYCITEX). Mérida.

(3) Departamento de Ingeniería Forestal (Universidad de Córdoba). Córdoba

Resumen

Evaluar la calidad del corcho y relacionarla con el estado del alcornoque es un objetivo del Plan de Calas de CYCITEX desde 1985.

El objetivo de este trabajo es analizar la calidad de corcho y del descorche a partir de 2.065 muestras recogidas en 10 fincas que fueron muestreadas en tres descorches consecutivos, entre 1986 y 2012. Las 657 muestras recogidas a partir de 2007 incorporan datos de calidad de descorche.

Las muestras se clasificaron de nuevo unificando criterios, obteniéndose el índice medio de calidad de corcho Q (7,09) y el calibre medio (28,13 mm), similares a los valores medios de Extremadura.

El análisis demuestra la mayor presencia de culebrilla en las fincas con buen estado vegetativo. Los mayores daños en el descorche se deben a cortes con el hacha en la capa madre y a la ejecución deficiente de zapatas y cuellos, aumentando los daños cuando el calibre disminuye.

Los resultados sugieren que conviene alargar la duración del turno de descorche para obtener corcho taponable de buena calidad, aunque aumentaría el riesgo de mancha amarilla e incidencia de anomalías. Los resultados avalan conocimientos previos, contribuyendo a la mejora del Plan de Calas y a la gestión sostenible del alcornoque.

Este trabajo forma parte de un artículo científico publicado en la revista *Forest Ecology and Management*, en abril de 2023, titulado *Analysis of cork quality and cork tree health in stands of western Spain*. En el artículo original el estudio de la calidad de corcho es más amplio, y se analiza su relación con datos dasométricos, la presencia de enfermedades y plagas, y datos climáticos (temperaturas y precipitaciones) asociados a cada finca.

Palabras clave

Alcornoque, calibre, muestreo, ICMC, turno de descorche.

1. Introducción

En el año 1985, el recién creado Instituto de Promoción del Corcho (en lo sucesivo IPROCOR), de la Junta de Extremadura, ahora, Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal (en lo sucesivo ICMC) del CYCITEX, puso en marcha el “Plan de Estimación de la Calidad del Corcho en Campo”, (en lo sucesivo Plan de Calas), con el objetivo de poner a disposición de productores e industriales, información relativa a la calidad del corcho que se estaba generando en las fincas extremeñas (GAMERO GUERRERO, 1993; CARRASCO et al., 1997), siendo pionero en abordar este reto. La base de este Plan de Calas era mejorar los muestreos realizados tradicionalmente por los compradores de corcho para determinar la calidad de una finca, apoyándose en la estadística y con una metodología de trabajo definida. Además, de esta manera, se disponía de una base de datos de gran valor para productores, industriales, investigadores y técnicos de la



Administración.

A partir de un muestreo basado en la variabilidad entre alcornoques y en la variabilidad del corcho en el árbol, se recogían una serie de muestras que eran clasificadas en laboratorio en 9 clases de calidad, combinando 5 clases de calibre y 7 clases de calidad visual (1 a 6 y refugio). En la primera etapa del Plan de Calas, se obtenían los datos relativos a las alteraciones de las muestras, el calibre y las clases de calidad visual.

En el año 1993, IPROCOR elaboró un índice de calidad “Q”, que se calcula como una media de los porcentajes de cada una de las 9 clases de calidad existentes en una finca, ponderada por un coeficiente que representa el valor comercial de esa clase de calidad (basado en el precio del corcho enfardado de cada clase en el año 1993) (GAMERO GUERRERO, 1993; POZO-BARRÓN Y CARDILLO AMO, 1997). El índice Q de IPROCOR varía entre un máximo teórico de 19,5 (si todo el corcho fuese de la mejor clase) y un mínimo de 1,5 (si todo el corcho fuese refugio). Este índice es una referencia de calidad conocida en todo el sector y es utilizado para analizar la calidad del corcho producido en distintas regiones (GONZÁLEZ MONTERO, 2004; DEHANE & CHORANA, 2022).

A partir del año 1998, el Plan de Calas empezó a incorporar datos de las parcelas y de los árboles muestreados; usos del suelo, vegetación, aprovechamientos, plagas y enfermedades. A partir del año 2007, la información sobre el estado selvícola y fitosanitario de las fincas y parcelas de alcornocal pasó a anotarse de manera sistemática y georreferenciada. En 2008, esta base de datos se incorporó a un Sistema de Información Geográfica, el SIGSUBER (MARTÍN COLLADO *et al.*, 2009), que permite aplicaciones geoestadísticas y la generación de mapas temáticos.

Desde 1985, se han realizado aproximadamente 1.000 muestreos y hay aproximadamente 55.000 muestras de corcho almacenadas en la Suberoteca del ICMC (PRADES-LÓPEZ *et al.*, 2017).

El Plan de Estimación de la Calidad del Corcho en Campo, se ha introducido en Andalucía, España (en 1995) y en Portugal (en 1991). Este Plan ha sido fuente de proyectos de investigación europeos (CORKASSESS, 1997), estando estrechamente ligado a los dos Códigos de Buenas Prácticas promovidos por la Confederación Europea del Corcho (Celiège). El Código Internacional de Prácticas Suberícolas (CIPS, 2005), sistema de certificación forestal específico del sector que no ha llegado a materializarse, y el Código Internacional de Prácticas Taponeras (CIPT, 1998), cuya certificación se denomina SYSTECODE, y está ampliamente implantado en las empresas del sector.

La calidad de una plancha de corcho depende de dos características fundamentales: el grosor de la plancha y su aspecto visual, el cual viene determinado por el coeficiente de porosidad y la presencia de anomalías o defectos. Estas características han sido objeto de innumerables estudios, desde diferentes perspectivas (POEIRAS *et al.*, 2022; COSTA *et al.*, 2021; CHORANA *et al.*, 2019; LAUW *et al.*, 2018; PAULO *et al.*, 2017; GHALEM *et al.*, 2016; PESTANA & GOMES, 2014; PIZZURRO *et al.*, 2010; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2007; RUDNITSKAYA *et al.*, 2006; GONZÁLEZ-ADRADOS *et al.*, 2005; FERREIRA *et al.*, 2000; GONZÁLEZ-ADRADOS *et al.*, 2000; GONZÁLEZ-ADRADOS & PEREIRA, 1996; PEREIRA *et al.*, 1996). Sin embargo, hasta el momento no se ha analizado la calidad del corcho en función de las anomalías encontradas en las calas, debido al alto grado de especialización necesario para clasificar el corcho y a la dificultad de



disponer de datos adecuados, tanto en cantidad como en calidad. En el caso de los datos generados por el Plan de Calas, ambos factores están garantizados.

La práctica operativa del descorche y la adecuación en su ejecución, que se denomina “calidad del descorche”, influye en el estado vegetativo del alcornoque, en sus futuras producciones y en los rendimientos obtenidos de las planchas de corcho en su transformación industrial (BEIRA-DÁVILA *et al.*, 2014). El conocimiento de los daños que se producen en los alcornoques debido a una mala ejecución del descorche es importante para poder realizar una adecuada gestión de los alcornocales.

Relacionar la calidad industrial del corcho con el estado del alcornocal y del alcornoque ha sido uno de los objetivos del sector que se ha abordado con diferentes perspectivas y por parte de diferentes organismos gestores. Este trabajo evalúa la calidad del corcho centrándose en las anomalías encontradas en las muestras de corcho analizadas teniendo en cuenta además los daños producidos en el descorche. Para ello se utilizan muestras de corcho recogidas en tres descorches consecutivos, en las mismas zonas a lo largo de un periodo de 26 años entre el primer y el último descorche

2. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es elaborar la información generada en el Plan de Calas de la Junta de Extremadura en el periodo (1977 – 2012), y analizar los factores que influyen en la calidad del corcho y en el estado fitosanitario de los árboles en los alcornocales de Extremadura. Ese objetivo principal se va a llevar a cabo a través de los siguientes objetivos específicos:

1. Describir los cambios producidos en la presencia de anomalías durante los tres periodos de descorche consecutivos en las fincas muestreadas.
2. Describir la incidencia de daños por descorche en las fincas muestreadas durante el tercer muestreo.

Este trabajo forma parte de un artículo científico publicado en la revista *Forest Ecology and Management*, publicado en abril de 2023, titulado *Analysis of cork quality and cork tree health in stands of western Spain*.

3. Metodología

Obtención de datos

Los datos utilizados fueron obtenidos de 2.065 muestras de corcho (calas) procedentes del Plan de Calas (GAMERO GUERRERO, 1993; CARRASCO *et al.*, 1997) y recogidas en 10 fincas situadas en Extremadura, en el periodo 1986 – 2012 y que corresponden a muestreos realizados durante tres descorches consecutivos en cada finca seleccionada.

La selección de las fincas para el desarrollo del trabajo se realizó con tres premisas. La primera, fincas en las que se había realizado el descorche y habían sido muestreadas por IPROCOR en al menos 3 ocasiones consecutivas. Los muestreos están asociados al periodo o turno de descorche (entre 9 y 11 años), y se realizan previamente al descorche. En cada finca puede haber varias zonas de saca (hasta 10), por lo que la segunda premisa es que las zonas muestreadas en cada finca fueran las mismas. Y la tercera, es que el número mínimo de muestras o calas extraídas en cada zona fuera de 45. Cada muestra se obtiene de un alcornoque a 1,30 m de altura y tienen unas dimensiones de 10 x 10 cm, siguiendo la metodología del Plan de Calas.

Las muestras de corcho de cada finca almacenadas en la Suberoteca del ICMC se

prepararon y clasificaron el año de su extracción, por al menos 5 escogedores diferentes en ese periodo de 26 años, entre el primer y el último descorche. La preparación de las muestras (calas) consiste en la inmersión del corcho en agua hirviendo limpia, sin aditivos, para limpiarlo, extraer las sustancias hidrosolubles y dejarlo apto para su transformación (ISO-633, 2019), siguiendo el procedimiento industrial habitual. El sistema de clasificación tradicional es totalmente manual, incorpora un alto grado de subjetividad y ha demostrado ser muy variable (BARROS & PEREIRA, 1987; MELO & PINTO, 1989; LOPES & PEREIRA, 1998; GARCÍA DE CECA, 2001), por lo que previamente a la realización de este estudio, las muestras de corcho se sometieron a una nueva preparación, para clasificarlas de forma homogénea.

Las muestras se cocieron y recortaron de nuevo y un único operario las clasificó a lo largo de varias semanas, siguiendo el sistema tradicional, midiendo el calibre y evaluando el aspecto visual y las anomalías, para obtener las clases de calidad definitivas de cada muestra. En la Figura 1 se muestran las anomalías tenidas en cuenta para este estudio. La clasificación en clases de aspecto visual (valor de 1-7) no se había realizado en la primera clasificación. Por último, a partir de la calidad de las muestras, se obtuvo el índice de calidad medio Q de cada finca, que se define como (GONZÁLEZ MONTERO, 2004):

$$Q = \sum_{i=1}^n A_i \cdot n_i$$

Donde; n_i = número de muestras de la clase i , n = número de muestras total, A_i = coeficiente que representa la valoración económica de cada clase de calidad, en una escala entre 1,5 – 19,50 ($A_1 = 11$; $A_2 = 19,50$; $A_3 = 7,00$; $A_4 = 19,00$; $A_5 = 6,50$; $A_6 = 12,75$; $A_7 = 5,00$; $A_8 = 12,00$; $A_9 = 1,5$)

A partir de 2007 el protocolo de recogida de muestras de corcho en el Plan de Calas de Extremadura se amplió tomándose además datos sobre el estado fisiológico del árbol y los daños por descorche. Estos datos están disponibles en 9 de las fincas estudiadas donde en el momento en que se recogieron las calas de corcho se anotaron también las variables dendrométricas, y los daños debidos a la operación de descorche que presentaban los árboles, en total 657 alcornoques.

En la tabla 1 se recogen todas las variables analizadas explicando su significado y el tipo de dato que almacena. Para la denominación de las anomalías de corcho se ha seguido la norma ISO de vocabulario (ISO 633: 2019). En la tabla 2 se muestra un resumen de los datos cuantitativos y la Figura 3 muestra los histogramas de frecuencias de anomalías y daños por descorche en cada finca y muestreo realizado.

Tabla 1: Descripciones de las variables utilizadas

| Grupo | Variable | Descripción | Data tipo |
|-------------------|----------|-------------------------------|----------------|
| Calidad de corcho | Q_VIS | Aspecto visual del corcho | Discreta (1-7) |
| | Q_THICK | Calibre | Continua |
| | Q_Q | Índice de calidad del corcho | Continua |
| | Q_BELLY | Corcho con defecto de barriga | Discreta (0/1) |
| | Q_CRACK | Corcho con defecto de espalda | Discreta (0/1) |
| | Q_EARTH | Poros terroso | Discreta (0/1) |
| | Q_LIGN | Corcho leñoso | Discreta (0/1) |
| | Q_BLOWN | Flojera | Discreta (0/1) |



| | | | |
|---------------------|------------|--|----------------|
| | Q_GREEN | Corcho verde | Discreta (0/1) |
| | Q_WORM | Corcho con galerías de culebra | Discreta (0/1) |
| | Q_ANT | Corcho con galerías de hormiga | Discreta (0/1) |
| | Q_STAIN | Manchas | Discreta (0/1) |
| | Q_YELLOW | Mancha amarilla | Discreta (0/1) |
| | Q_FOLD | Corcho exfoliado | Discreta (0/1) |
| | Q_AGED | Corcho criado | Discreta (0/1) |
| | Q_PASM | Pasmo | Discreta (0/1) |
| | Q_BIRD | Corcho con daños por pájaros | Discreta (0/1) |
| | Q_TERMITES | Corcho con daños por termitas | Discreta (0/1) |
| | Q_VINEGAR | Corcho avinagrado | Discreta (0/1) |
| | Q_THIN | Corcho delgado (<18 mm) | Discreta (0/1) |
| Dendrométricas | T_PBH | Circunferencia normal sobre corcho | Continua |
| | T_DH | Altura de descorche | Continua |
| | T_NB | Numero de ramas descorchadas | Continua |
| | T_B | Descorche en ramas | Discreta (0/1) |
| Daños por descorche | D_PLOUGH | Producidos por la grada | Discreta (0/1) |
| | D_OTHER | Otros daños (Incendios, rayos y otros) | Discreta (0/1) |
| | D_AX | Hachazos/cortes | Discreta (0/1) |
| | D_WOUND | Santos | Discreta (0/1) |
| | D_FRAG | Albardas | Discreta (0/1) |
| | D_NECK | Cuellos | Discreta (0/1) |
| | D_WEDGE | Zapatatas | Discreta (0/1) |

Tabla 2: Resumen de las variables continuas dendrométricas y de calidad de corcho (STD: desviación estándar)

| FINCA | DESCORCHE | T_PBH (cm) | | T_DH (m) | | T_NB | |
|-------|-----------|------------|--------|--------------|-------|-------|-------|
| | | MEDIA | STD | MEDIA | STD | MEDIA | STD |
| 1 | 3 | 166,133 | 42,787 | 4,369 | 2,745 | 1,533 | 1,436 |
| 2 | 3 | 132,947 | 31,152 | 2,783 | 1,272 | 0,733 | 1,107 |
| 3 | 3 | 183,147 | 46,742 | 4,947 | 2,731 | 1,867 | 1,483 |
| 4 | 3 | 164,573 | 81,516 | 5,152 | 4,163 | 1,452 | 1,444 |
| 5 | 3 | 133,525 | 43,552 | 3,434 | 2,391 | 1,271 | 1,424 |
| 6 | 3 | 166,413 | 39,845 | 2,452 | 0,759 | 0,707 | 1,037 |
| 7 | 3 | 173,107 | 40,330 | 2,949 | 1,596 | 0,987 | 1,257 |
| 9 | 3 | 154,466 | 43,648 | 3,081 | 1,911 | 0,764 | 1,273 |
| 10 | 3 | 182,320 | 58,101 | 3,739 | 3,080 | 1,360 | 1,449 |
| | | Q_Q | | Q_THICK (mm) | | | |
| 1 | 1 | 8,507 | 6,953 | 32,416 | 8,046 | | |
| | 2 | 6,430 | 6,369 | 30,000 | 8,303 | | |
| | 3 | 7,910 | 7,177 | 33,107 | 7,175 | | |
| 2 | 1 | 7,974 | 6,466 | 27,456 | 7,251 | | |
| | 2 | 6,540 | 6,384 | 25,560 | 8,114 | | |
| | 3 | 7,017 | 6,689 | 30,933 | 9,550 | | |
| 3 | 1 | 8,065 | 6,617 | 31,609 | 6,784 | | |



| | | | | | | | |
|----|---|-------|-------|--------|-------|--|--|
| | 2 | 8,487 | 6,778 | 30,133 | 9,644 | | |
| | 3 | 6,150 | 6,171 | 25,213 | 6,979 | | |
| 4 | 1 | 6,604 | 6,179 | 30,896 | 9,177 | | |
| | 2 | 4,247 | 4,536 | 29,934 | 8,381 | | |
| | 3 | 6,000 | 5,667 | 32,280 | 9,065 | | |
| 5 | 1 | 7,869 | 6,972 | 27,227 | 8,098 | | |
| | 2 | 9,258 | 6,369 | 27,639 | 7,294 | | |
| | 3 | 7,581 | 5,815 | 28,932 | 7,244 | | |
| 6 | 1 | 5,847 | 6,230 | 27,667 | 6,079 | | |
| | 2 | 8,420 | 6,154 | 27,072 | 6,281 | | |
| | 3 | 8,687 | 5,905 | 27,733 | 6,306 | | |
| 7 | 1 | 6,884 | 6,297 | 31,163 | 7,430 | | |
| | 2 | 6,994 | 5,972 | 26,883 | 6,639 | | |
| | 3 | 7,649 | 5,911 | 28,419 | 6,046 | | |
| 8 | 1 | 7,789 | 5,977 | 27,933 | 5,778 | | |
| | 2 | 6,645 | 5,551 | 22,371 | 5,342 | | |
| | 3 | 6,070 | 5,350 | 20,600 | 6,210 | | |
| 9 | 1 | 7,858 | 6,410 | 28,754 | 8,619 | | |
| | 2 | 8,236 | 7,012 | 30,459 | 6,437 | | |
| | 3 | 6,390 | 6,107 | 28,205 | 6,733 | | |
| 10 | 1 | 6,489 | 6,720 | 35,600 | 8,922 | | |
| | 2 | 4,237 | 4,899 | 31,720 | 8,006 | | |
| | 3 | 5,767 | 6,243 | 29,040 | 8,398 | | |

Los histogramas de frecuencias de anomalías para cada finca y muestreo realizado se muestran en la Figura 1 y los histogramas de frecuencias de los daños por descortice en cada finca y muestreo se muestran en la figura 2.

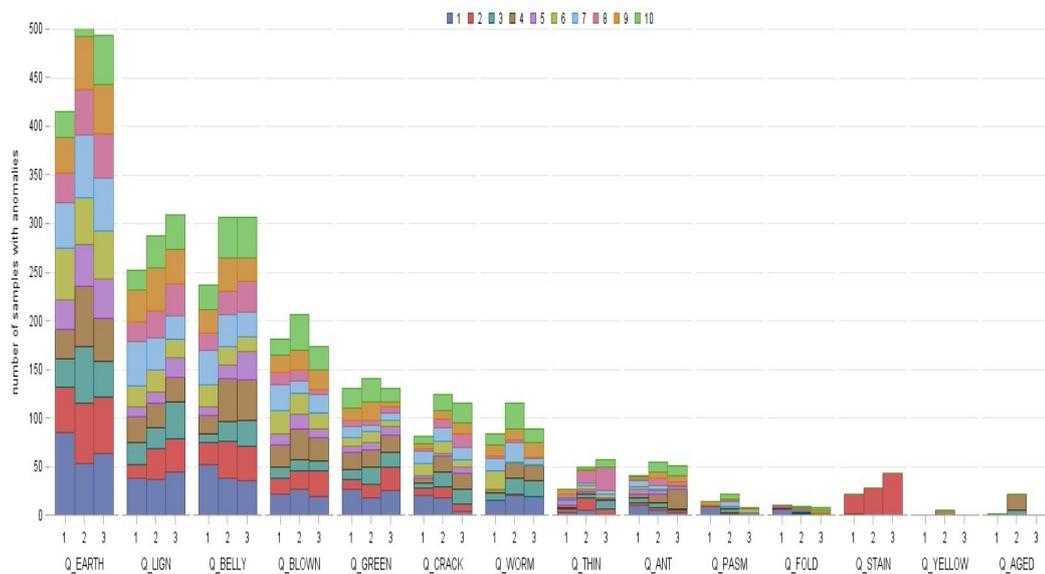


Figura 1. Distribución de las muestras de corcho en función de las anomalías en parcelas muestreadas y descorchadas

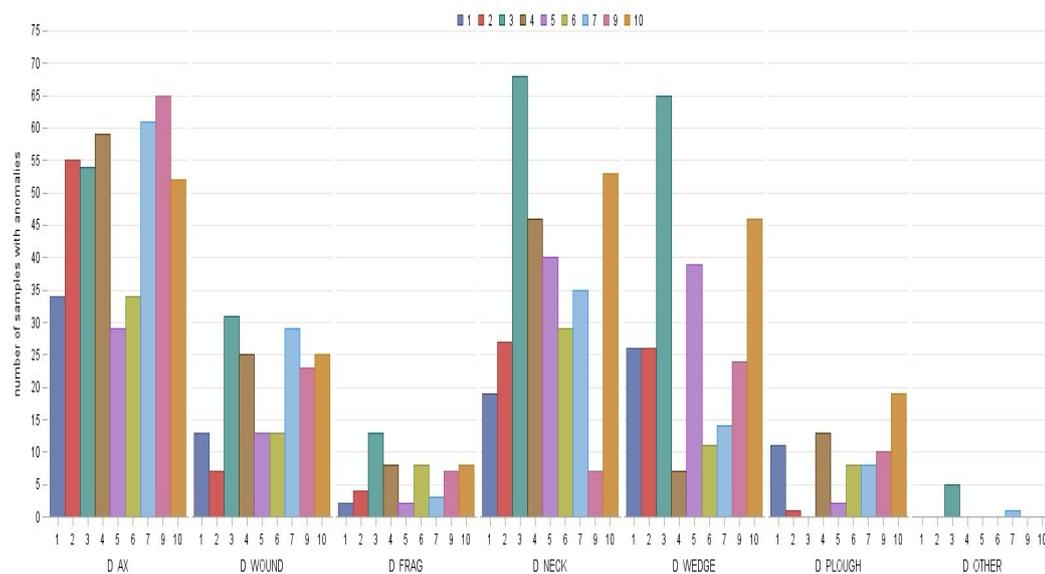


Figura 2. Distribución de árboles en función de los daños por descorche en las parcelas muestreadas

Análisis estadístico

Para describir los cambios en el número de anomalías totales detectadas en cada una de las fincas se ha hecho un análisis de correspondencias simple. Para ello se han sumado todas las anomalías detectadas en cada finca y descorche (datos de frecuencia). A continuación, y usando la misma técnica se ha analizado los cambios por finca y descorche de cada tipo de anomalía detectada. También la comparación de la incidencia de daños debido a la operación de descorche en las fincas muestreadas se ha analizado mediante un análisis de correspondencias. Todos los análisis de correspondencias se han realizado usando el procedimiento “corresp” de SAS.

Para analizar las relaciones entre las variables que definen la calidad del corcho se ha hecho un análisis de correlaciones univariante. Para analizar la correlación entre dos variables dicotómicas se ha calculado el coeficiente Phi de Pearson. La correlación entre una variable dicotómica o categórica y una variable continua se ha analizado calculando el Point Biserial Correlation y la correlación entre variables continuas se ha analizado con el coeficiente de correlación de Pearson. Este análisis de correlación univariante se ha realizado aplicando los procedimientos “freq” y “corr” de SAS.

Este análisis de correlaciones univariante se ha completado con un análisis de correlaciones canónicas (CCorA). Este análisis de correlaciones multivariante identifica la máxima correlación entre matrices de variables. Esta técnica es apropiada cuando hay un conjunto de variables intercorreladas entre sí, como es el caso de las variables que determinan la calidad del corcho (índice Q, aspecto visual, calibre y presencia de anomalías) y las variables que explican los daños por descorche. El CCorA calcula matrices de autovalores para cada par de matrices de variables y a continuación ejecuta todas las posibles combinaciones lineales para maximizar la covarianza compartida entre ellas. La covarianza compartida se explica por las correlaciones canónicas de cada variable en el conjunto dependiente y la varianza de cada variable en el conjunto independiente. Tanto las correlaciones canónicas como la covarianza entre variables se expresan como

coeficientes de correlación regulares (Thompson, 1984). Para estos análisis se ha utilizado el procedimiento “cancorr” de SAS.

4. Resultados

Presencia de anomalías en las fincas muestreadas en cada descorche

El análisis de correspondencias muestra diferencias en el número total de anomalías detectadas en cada descorche (Figura 3). El eje 1 del análisis de correspondencias (explica el 90,26% de la varianza) muestra una clara distinción entre el primer descorche y los dos siguientes.

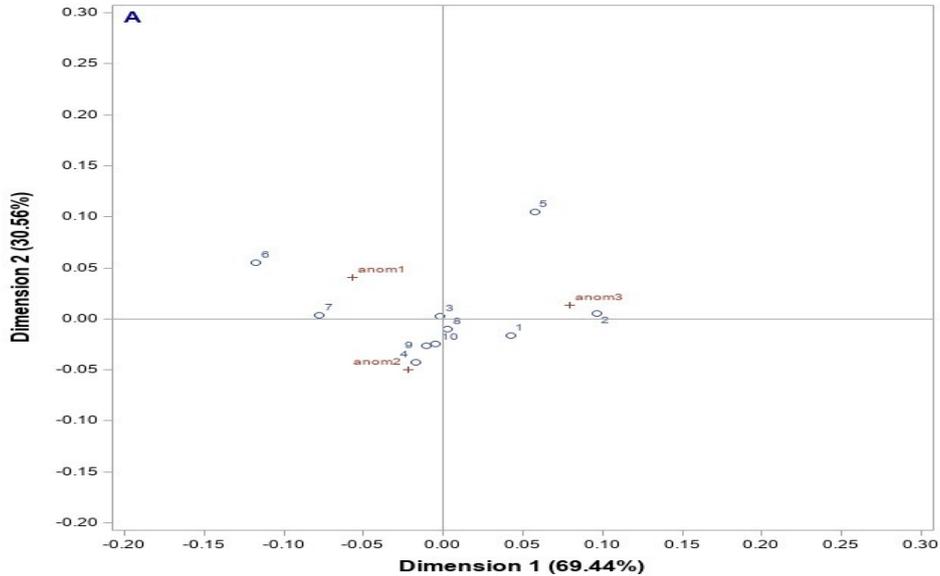


Figura 3: Variación en el número total de anomalías presentes en cada parcela muestreada en cada descorche

Para el análisis de los cambios producidos por finca y descorche distinguiendo entre el tipo de anomalía encontrada se han excluido aquellas anomalías que solo han sido encontradas en menos de 25 calas en total en todas las fincas y descorches (Figura 1) como es el caso del pasmo (Q_PASM), la exfoliación (Q_FOLD), la mancha amarilla (Q_YELLOW) y el corcho criado (Q_AGED). También se han excluido aquellas anomalías que solo fueron detectadas en una única finca, como es el caso de otras manchas (Q_STAIN). El análisis de correspondencias hecho para describir los cambios producidos en la presencia de cada tipo de anomalía durante los tres periodos de descorche en las fincas muestreadas (Figura 4) muestra como la presencia de galerías de *Coroebus undatus* (Q_WORM) y el corcho excesivamente delgado (Q_THIN) determinan el primer eje (explica un 39,63% de la variabilidad), indicando que aquellas fincas donde se detectó mayor cantidad de calas con rastro de culebrilla tenían menos proporción de calas con poco calibre.

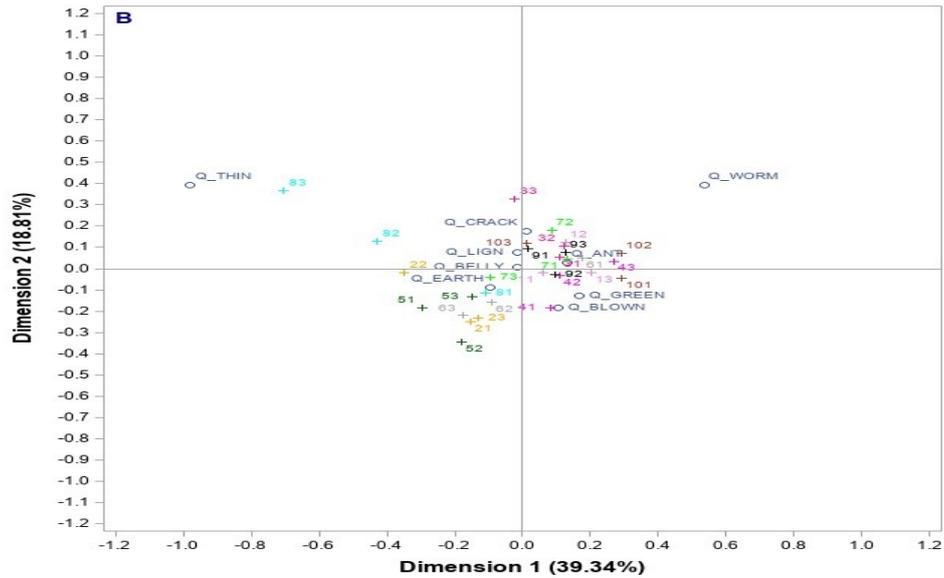


Figura 4. Variación en la presencia de cada tipo de anomalía durante los tres periodos de descorche en las parcelas muestreadas

Incidencia de los daños por descorche en las fincas muestreadas

Según el análisis de correspondencias, los daños por descorche detectados en los árboles muestreados durante el tercer descorche tienen relación con las fincas donde se situaban dichos árboles. La Figura 5 muestra que en el eje 1 (explica el 51.73% de la varianza) el daño que más proporción de inercia explica es la ejecución deficiente en la extracción de las zapatas (D_WEDGE) y la finca que más porcentaje de la variación explica es la 5. Mientras que en el eje 2 (explica el 21.31% de la varianza) el daño con mayor contribución es los cortes superiores circulares en el alcornoque mal ejecutados (D_NECK) y la finca con mayor contribución es la 9.

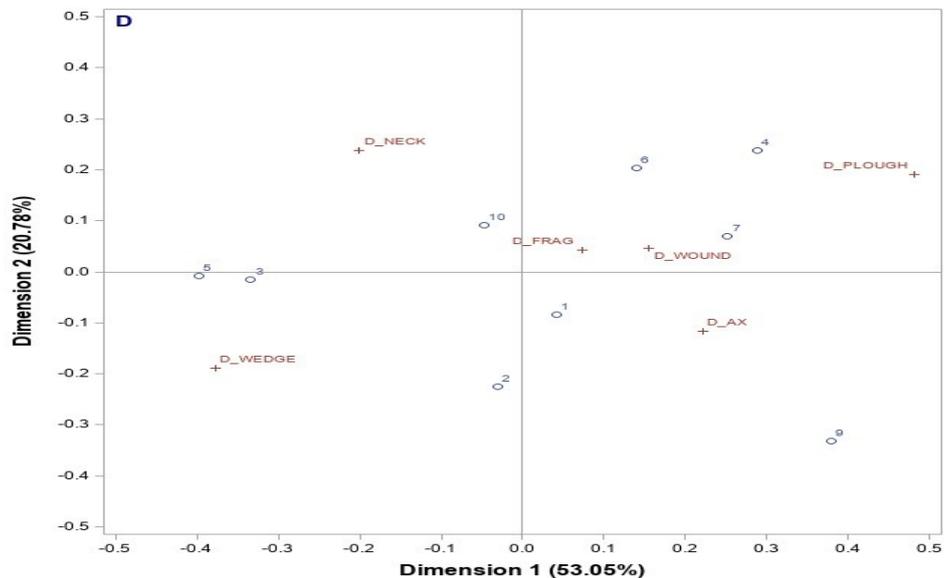


Figura 5. Variación en los daños por descorche durante el descorche en las parcelas muestreadas

Correlaciones entre las variables que definen la calidad del corcho

Al estudiar la correlación entre las variables que definen la calidad del corcho entre sí se han encontrado relaciones significativas. En este apartado se muestran



todas las que son >0.2 .

El estudio de la correlación entre la presencia de anomalías en las calas recogidas durante los tres descorches estudiados muestra como significativas la correlación entre la presencia de irregularidades en la espalda (Q_CRACK) y en la barriga (Q_BELLY) ($\Phi=0.259$ $p<0.001$), entre la presencia de flojera (W_BLOWN) y corcho verde (Q_GREEN) ($\Phi=0.268$ $p<0.001$), y entre la presencia de mancha amarilla (Q_YELLOW) y corcho criado (Q_AGED) de forma algo mayor que el resto ($\Phi=0.370$ $p<0.001$).

El valor del índice de aspecto visual (Q_VIS) como era de esperar está muy correlacionado de forma negativa con el índice Q que define la calidad del corcho (-0.8 , $p<0.001$) y está significativamente correlacionado de forma débil con la presencia de: hormigas (Q_ANT, $V= 0.263$, $p<0.001$), irregularidades en la barriga (Q_BELLY, $V= 0.319$, $p<0.001$), flojera (Q_BLOWN, $V= 0.402$, $p<0.001$), irregularidades en la espalda (Q_CRACK, $V= 0.222$, $p<0.001$), corcho terroso (Q_EARTH, $V= 0.260$, $p<0.001$), corcho excesivamente delgado (Q_THIN, $V= 0.291$, $p<0.001$) y galerías de *Coroebus undatus* (Q_WORM, $V= 0.291$, $p<0.001$).

Como era de esperar, sí existe una relación significativa, entre el índice Q que define la calidad del corcho y el calibre de corcho (Pearson= 0.300 , $p<0.001$). El calibre de corcho (Q_THICK) está significativamente correlacionado por un lado de forma negativa y esperable con el corcho excesivamente delgado (Q_THIN, Point Biserial Coefficient= -0.435 , $p<0.001$), y por otro lado, positiva con la flojera (Q_BLOWN, Point Biserial Coefficient= 0.276 , $p<0.001$) y el corcho verde (Q_GREEN, Point Biserial Coefficient= 0.375 , $p<0.001$). El índice de calidad de corcho (Q_Q) está significativa y negativamente correlacionado con las siguientes anomalías: presencia de galerías de hormigas (Q_ANT, Point Biserial Coefficient= -0.225 , $p<0.001$), presencia de irregularidades en la espalda (Q_CRACK, Point Biserial Coefficient= -0.210 , $p<0.001$) y en la barriga (Q_BELLY, Point Biserial Coefficient= -0.286 , $p<0.001$), flojera (Q_BLOWN, Point Biserial Coefficient= -0.372 , $p<0.001$), corcho excesivamente delgado (Q_THIN, Point Biserial Coefficient= -0.231 , $p<0.001$) y presencia de galerías de *Coroebus undatus* (Q_WORM Point Biserial Coefficient= -0.282 , $p<0.001$).

5. Discusión

Calidad del corcho, estado sanitario y daños por descorche

El valor de mercado del corcho producido por un alcornoque viene dado por su calidad. La calidad de una plancha de corcho depende de tres características fundamentales: el grosor de la plancha, la porosidad y su aspecto visual, el cual viene determinado por la presencia de anomalías o defectos. La monitorización de las anomalías presentes en un alcornocal es importante no sólo desde un punto de vista económico, sino también desde un punto de vista ambiental, ya que estas anomalías son indicadores del estado sanitario del alcornocal. El conocimiento de las anomalías presentes en el corcho producido por un alcornocal ayuda a tomar decisiones para realizar una gestión sostenible del mismo. En este trabajo se analizan las anomalías o alteraciones presentes en 2065 muestras de corcho tomadas durante tres descorches consecutivos, siendo el primer trabajo publicado que se centra en analizar la calidad del corcho desde el punto de vista de las anomalías encontradas en las calas analizadas. Este análisis se complementa con el análisis de datos relativos a la presencia de daños producidos en los alcornoques durante el tercer descorche. Los resultados obtenidos en este estudio en general son congruentes y avalan conocimientos empíricos y científicos, confirmando lo



que se sabe sobre el alcornoque, la calidad de corcho y la práctica del descorche y añadiendo nuevo conocimiento que ayudará a la mejora de los planes de calas y a la gestión sostenible de los alcornocales.

Antes de entrar a discutir los resultados obtenido conviene resaltar que en este trabajo para la denominación de las anomalías de corcho se ha seguido la norma ISO de vocabulario (ISO 633: 2019). Sin embargo, hay trabajos previos que utilizan otras denominaciones para referirse a ciertas anomalías. Es el caso del corcho verde (Q_GREEN) que en otros trabajos lo llaman wetcork (PARAMESWARAN *et al.*, 1981; GONZÁLEZ-ADRADOS *et al.*, 2000; PEREIRA, 2007b) llama CLAY al pasmo (Q_PASM) PORE al corcho terroso (Q_EARTH), BOFE a la exfoliación (Q_FOLD) y NAIL a las incrustaciones leñosas (Q_LIGN).

El análisis de las anomalías detectadas en las muestras de corcho estudiadas refleja muy poca incidencia de pasmo (Q_PASM), exfoliación (Q_FOLD), mancha amarilla (Q_YELLOW), otras manchas (Q_STAIN) y corcho criado (Q_AGED). La presencia de exfoliación (Q_FOLD) en una muestra de corcho se produce cuando el alcornoque ha estado expuesto a incendios, sequías graves o ataques de defoliadores durante el turno de descorche, y posteriormente ha continuado su crecimiento habitual. La baja incidencia de este defecto indica que no ha habido perturbaciones importantes que paralizaran el crecimiento en ese periodo en las fincas estudiadas. La baja o nula incidencia de los daños debidos a la presencia de hongos (Q_YELLOW, Q_STAIN y Q_VINEGAR) tiene trascendencia por su relación con el 2,4,6-Trichloroanisole o TCA que provoca un sabor a moho que se traslada al vino (JUANOLA *et al.*, 2005). La presencia de hongos tales como la *Armillaria mellea* (Vahl. Ex Fr.) provoca la presencia de mancha amarilla y la biosíntesis de TCA (MOIO *et al.*, 1998). La baja incidencia de manchas en el corcho de estas fincas indica que, atendiendo solo a este criterio, dicho corcho podría ser utilizado para la fabricación de tapones para vino (PEREIRA, 2007a; PÉREZ-TERRAZAS *et al.*, 2020). La pequeña incidencia de corcho criado (Q_AGED), indica que los descorches se han realizado en los plazos establecidos en el turno y que se ha realizado una buena gestión del aprovechamiento de corcho.

Una de las debilidades del sector del corcho es una tendencia decreciente en la producción de corcho tanto en calidad como en cantidad (CASTRO *et al.*, 2015; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2020). Esta tendencia decreciente en la calidad de corcho se observa también en los datos analizados en este estudio, aumentando el número total de anomalías detectadas en los sucesivos descorches y de manera individual en buena parte de las anomalías analizadas (Figura 3).

En líneas generales, los valores medios de las variables que caracterizan la calidad del corcho obtenidos en este estudio no difieren de los valores medios que proporciona el Plan de Calas en Extremadura (LANZO *et al.*, 2013). El índice de calidad medio (Q_Q) es de 7,09, y se sitúa entre los valores de Q medios obtenidos para Extremadura en los periodos 2010-2012 (6,51) y 1985 – 2012 (8,05). El calibre medio (Q_THICK) de nuestro estudio es de 28,13, muy similar al calibre medio del Plan de Calas en Extremadura en el periodo 2010-2012, que es de 28,88 y se sitúa en el rango del calibre medio para 9 regiones de procedencia (RGP) del alcornoque en España, que oscila entre 26,66 mm en y 37,96 mm. En concreto, es algo inferior al calibre medio de las RGP donde se ubican las fincas objeto de estudio RGP1 (33,27 mmm) y RGP2 (30,80 mm) (SÁNCHEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2021). También es inferior al calibre medio obtenido a partir de 177 calas de la Suberoteca del ICMC (38,46 mm) (PRADES *et al.*, 2017). En relación a otras zonas, es algo superior al calibre

medio en Argelia (26,50 mm) (CHORANA *et al.*, 2019) y algo inferior al calibre medio en Portugal (33,9 mm) (LAUW *et al.*, 2018). El aspecto visual medio (Q_VIS = 5,82) puede considerarse bajo teniendo en cuenta que el aspecto 1 es el mejor y el 7 el aspecto que corresponde siempre a refugo, situándose en el rango del corcho flaco, destinado a la fabricación de tapones colmatados. Este valor de Q_VIS está en consonancia con que los defectos con mayor incidencia en las fincas muestreadas sean también los que más empeoran el aspecto del corcho como son, flojera (Q_BLOWN), barriga (Q_BELLY), culebra (Q_WORM) y corcho terroso (Q_EARTH).

En cuanto a la presencia de anomalías de la calidad de corcho en nuestro estudio, en comparación con el Plan de Calas de Extremadura en 2010-2012 (LANZO *et al.*, 2013), los porcentajes de muestras afectadas son en términos generales muy similares (Figura 9). Hay dos excepciones: la anomalía “espalda” (Q_CRACK) que es aproximadamente el doble en el Plan de Calas de Extremadura que en nuestro estudio, y para lo cual no encontramos explicación; y la anomalía “mancha” (Q_STAIN), que en el Plan de Calas de Extremadura se multiplica por 16. Esto puede deberse al hecho de que en nuestro estudio las muestras de corcho se hirvieron por segunda vez y posiblemente el segundo hervido hizo desaparecer en gran medida esta anomalía.

Tabla 3. Comparación de las medias de las variables dendrométricas y de daños de descorche del estudio y del Plan de Calas de Extremadura 2010-2012.

| Grupo | Variable | Estudio actual | Plan de Calas |
|--------------------------|----------|----------------|---------------|
| Variables dendrométricas | T_PBH | 162,6 | 172,1 |
| | T_DH | 275,6 | 299,3 |
| | T_NB | 1,22 | 1,48 |
| Daños de descorche | D_AX | 0,67 | 0,62 |
| | D_WOUND | 0,27 | 0,29 |
| | D_FRAG | 0,08 | 0,1 |
| | D_NECK | 0,49 | 0,41 |
| | D_WEDGE | 0,39 | 0,36 |

En la Tabla 3 se muestran la comparación de las medias de las principales variables dendrométricas y de daños por descorche de este estudio y del Plan de Calas de Extremadura 2010-2012 (LANZO *et al.*, 2013). Los valores medios de las variables dendrométricas son muy similares, así como los porcentajes de árboles con los distintos daños por descorche. Los mayores daños en la extracción se asocian a cortes con el hacha en la capa madre (D_AX) y a la extracción de las zapatas (D_WEDGE) y cuellos (D_NECK).

Relaciones entre la calidad del corcho y los daños por descorche

El análisis de las correlaciones entre las variables que definen la calidad del corcho muestra correlaciones esperables. Como es el caso de la correlación positiva entre la presencia de corcho con irregularidades en la barriga (Q_BELLY) y la presencia de corcho con irregularidades en la espalda o con grietas (Q_CRACK) ya que la espalda tiene el mismo contorno que la barriga, reproduciendo hachazos y heridas realizados durante descorches anteriores que han dejado huella en la capa madre. También es esperada la correlación positiva de la presencia de flojera (Q_BLOWN) y corcho verde (Q_GREEN), entre sí y con el calibre, porque tanto la



flojera como el verde se relacionan con crecimientos en espesor elevados debido a la disponibilidad de agua (Pereira, 2007b; Santiago Beltrán *et al.*, 2020). De la misma forma la correlación positiva entre la presencia de mancha amarilla (Q_YELLOW) y corcho criado (Q_AGED) y entre la mancha amarilla y el turno de descorche, es esperable ya que es habitual encontrar más mancha amarilla en el corcho que lleva más tiempo en el árbol (SUBERNOVA, 2005). En este sentido, JUANOLA *et al* (2002) al estudiar la distribución del TCA en muestras de corcho contaminadas encontraron un gradiente claro que aumenta desde la parte interior más joven de la muestra hacia la sección exterior.

Según el análisis de correspondencias realizado las anomalías del corcho que mayor incidencia tienen en el aspecto visual (Q_VIS) son por este orden: flojera (Q_BLOWN), irregularidades en la barriga (Q_BELLY), galerías hechas por larvas de culebrilla (Q_WORM), corcho excesivamente delgado (Q_THIN), hormigas (Q_ANT), corcho terroso (Q_EARTH) y la presencia de irregularidades y grietas en la espalda (Q_CRACK). Mientras que en el índice Q (Q_Q) influyen esas mismas anomalías excepto el corcho terroso (Q_EARTH), lo que puede ser debido a que está presente en muchas de las calas analizadas pero de forma aislada, es decir se encuentran algunos poros con tierra pero sin continuidad entre ellos. Un resultado similar fue obtenido por CHORANA *et al* (2019) cuando analizaron 600 muestras de corcho tomadas en 8 alcornocales de Argelia, en ninguna de las cuales se encontró presencia de corcho terroso en grado severo. Este defecto solo impide que el corcho que lo presenta sea utilizado para la fabricación de tapones cuando es muy intenso y cubre amplias zonas de la plancha, que entonces pasa a ser un defecto con entidad propia (Q_PASM) y se denomina “pasma” en España y “barrenta” en Portugal (ISO-633, 2019; SANTIAGO BELTRÁN *et al.*, 2020).

Como era de esperar tanto el aspecto visual (Q_VIS) como el calibre (Q_THICK) se correlacionan con el índice Q que define la calidad del corcho (Q_Q). Sin embargo además del signo, cambia la fuerza de esa correlación, teniendo mayor relación el aspecto visual (-0.8) que el calibre (0.3). Esto puede deberse a que la variación de calibre en los tres descorches no proporciona un patrón claro. En algunas fincas se produce un aumento del calibre medio, en otras una disminución y en otras se mantiene constante. En cuanto a su relación con el turno de descorche, no se ha encontrado la correlación esperada entre calibre medio y turno de descorche. Esta ausencia se explicaría por la poca diferencia en la duración de los turnos de descorche de las fincas, 9 años en 8 fincas y 10 años en 2 fincas, con una variación máxima de un año que no se refleja en el calibre medio. Otro factor a tener en cuenta es que los árboles muestreados en los 3 descorches sucesivos fueron diferentes, por lo que el seguimiento en la evolución del calibre requeriría la monitorización de los mismos árboles en el Plan de Calas.

En todas las fincas muestreadas el descorche se realizó mediante el sistema tradicional con hacha. Los resultados obtenidos reflejan una relación positiva y esperada entre la presencia de cortes en la superficie de la capa madre causadas por el hacha (D_AX) y la existencia de heridas (D_WOUND), pero además que los daños causados por el hacha son mayores en los árboles con menor calibre de corcho al final del turno (Q_THICK), por lo que la ejecución debe ser más cuidadosa a medida que el calibre disminuye. El resultado del análisis de correspondencias refleja la existencia de una relación entre los daños y las fincas donde se encontraban los árboles muestreados, indicando que la pericia de los sacadores no fue la misma en todas ellas.



Aunque no se ha evaluado la experiencia del operario que realizó el descorche, esta relación puede deberse a este factor diferencial, mostrando la importancia de la especialización en la buena práctica del descorche.

Implicaciones en la gestión de los alcornoques

Es necesario un buen conocimiento de los factores que influyen en la calidad del corcho producido para poder tomar decisiones a la hora de gestionar alcornoques en producción. Los resultados de este estudio pueden utilizarse como información de referencia para la gestión de alcornoques y para optimizar la producción de corcho, ayudando a los gestores forestales en su labor de preservar los alcornoques al mismo tiempo que se aprovechan para la producción de corcho.

Los resultados de este estudio sobre los factores que influyen en la calidad de corcho y su evolución en el tiempo sugieren que conviene replantear la duración del turno de descorche con el objetivo de obtener corcho taponable de buena calidad. A pesar de que no se han obtenido relaciones entre calibre y turno de descorche, se espera un escenario de disminución de crecimiento de corcho como resultado de condiciones climáticas adversas (OLIVEIRA *et al.*, 2016; GHALEM *et al.*, 2018), lo que conduciría a alargar el turno de descorche. Sin embargo, alargar el turno supondría mayor riesgo de mancha amarilla y mayor incidencia de anomalías. Esta constatación ya llevó a recomendar turnos de descorche no mayores de 15 años en el Código Internacional de Prácticas Subericolas (SUBERNOVA, 2005). Ambos factores contrapuestos se están trasladando a la práctica operativa. En el sur de España, los turnos se están alargando de 9 a 10 - 11 años. Según LEITE *et al.* (2019), en condiciones de sequía los turnos deben alargarse, especialmente si se producen durante los 2 primeros años del ciclo.

Otro aspecto a considerar, por razones asociadas a los daños de descorche, es la práctica operativa del descorche, utilizando nuevas herramientas y sistemas que están demostrando las ventajas de su utilización, disminuyendo daños y facilitando el aprendizaje y la especialización (COSTA *et al.*, 2010; BEIRA-DÁVILA *et al.*, 2014). Las limitaciones que establecen las nuevas herramientas, que solo pueden utilizarse hasta la altura de los hombros por razones de seguridad y salud en el trabajo, conducen a la disminución de la altura de descorche, y consiguiente disminución de la presión de descorche, lo que también disminuirá el estrés del alcornoque y favorecerá su recuperación tras el descorche.

Las muestras recogidas y almacenadas por el Plan de Calas de Extremadura, cuya recolección empezó hace más de 35 años contienen una información valiosa. El Plan de Estimación de la Calidad de Corcho en Campo, está demostrando ser una herramienta eficaz para evaluar la calidad del corcho, el estado vegetativo y fitosanitario del alcornoque, y su evolución en el tiempo (GAMERO GUERRERO, 1993). Sin embargo se podrían complementar los datos que ya se recopilan con información relativa al tipo de suelo, que tiene influencia en el crecimiento de los alcornoques (COSTA *et al.*, 2008) y algunas características del suelo tienen relación con el calibre del corcho y su porosidad (PESTANA & GOMES, 2014) y a la evaluación sobre la calidad del descorche posterior al muestreo, aunque esto último supondría cambios adicionales en la metodología de la toma de datos ya que esta información se obtendría posteriormente a la realización del Plan. Otra mejora significativa sería la monitorización y seguimiento de los árboles en que se obtienen las calas en descorches sucesivos y la utilización de técnicas de dendrocronología que permitan “leer” la información contenida en los anillos de crecimiento para continuar los estudios sobre la influencia del clima en la



evolución de los alcornocales, para entender sus efectos, anticiparse a los cambios que se están originando, y paliar sus efectos.

6. Conclusiones

Este trabajo analiza las anomalías presentes en 2.065 muestras de corcho tomadas durante tres descorches consecutivos, siendo el primer trabajo publicado que estudia la calidad de corcho desde el punto de vista de las anomalías, y se complementa con el análisis de datos dasométricos y de la masa, y los daños producidos durante el descorche.

Los valores medios del índice Q que define la calidad de corcho (7,09) y el calibre medio (28,13 mm) son similares a los valores medios obtenidos para Extremadura. Sin embargo, el aspecto visual puede considerarse bajo, en consonancia con los defectos que mayor incidencia tienen en las fincas muestreadas (flojera, barriga, culebra y corcho terroso). Hay poca incidencia de pasmo, exfoliación, mancha amarilla y otras manchas, y corcho criado. La presencia de culebrilla es mayor en las fincas con buen estado vegetativo. Como era de esperar se han encontrado relaciones significativas entre el índice de calidad medio Q, con el aspecto visual (-0,8) y con el calibre del corcho (0,3), esta última relación es más débil debido a debido a la pequeña variación en los turnos de descorche.

Los mayores daños en el descorche se asocian a cortes con el hacha en la capa madre, y a la ejecución deficiente de zapatas y cuellos, y son similares a los valores proporcionados por el Plan de Calas. Los daños causados por el hacha son mayores en árboles con menor calibre y la presencia de hormiga se asocia con la mala ejecución de cuellos.

Los resultados obtenidos sugieren que conviene alargar la duración del turno de descorche con el objetivo de obtener corcho taponable de buena calidad, aunque ello supondría mayor riesgo de mancha amarilla y mayor incidencia de anomalías. El seguimiento de la evolución del calibre y de la presencia de manchas producidas por hongos requeriría la monitorización de los mismos árboles en el Plan de Calas. Las mediciones podrían utilizarse para realizar análisis dendrocronológicos y analizar la conveniencia de modificar la duración del turno.

En el descorche debe tomarse en consideración que los daños aumentan cuando el calibre disminuye, por lo que la ejecución debe ser más cuidadosa. La especialización de los trabajadores es otro factor diferencial importante por lo que su evaluación debe también incorporarse en la toma de datos de los planes de calas. En la actualidad, la práctica operativa del descorche incorpora nuevas herramienta y sistemas que están contribuyendo a la disminución de los daños y que facilitan el aprendizaje.

La Suberoteca del ICMC contiene una información valiosa para evaluar la calidad del corcho, el estado vegetativo y fitosanitario del alcornocal y su evolución en el tiempo. Su eficacia podría incrementarse incorporando información sobre las características del suelo, la calidad del descorche, la monitorización y seguimiento de los mismos árboles y la utilización de técnicas de dendrocronología.

Los resultados obtenidos son congruentes y avalan conocimientos empíricos y científicos, confirmando lo que se sabe sobre el alcornoque, la calidad de corcho y la calidad de descorche, añadiendo nuevo conocimiento que contribuirá a la mejora de los planes de calas y a la gestión sostenible de los alcornocales.

7. Agradecimientos



En memoria de Luis Sánchez Juárez, amigo y compañero sin cuyo trabajo no hubiera sido posible esta investigación.

Este trabajo ha sido en parte financiado por el proyecto “RTI2018-094413-R-C21. Bornizo para la Bioeconomía: Herramientas de gestión forestal y evaluación ambiental para su valorización. (BIOBOR)”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

8. **Bibliografía** (Libre Franklin 10, negrita y justificado)

- BARROS, I.; PEREIRA, H.; 1987. Influencia do operador na classificação manual da cortiça por classes de qualidade. *Cortiça* 582, 103-105.
- BEIRA-DÁVILA, J.; PRADES-LOPEZ, C.; SANTIAGO-BELTRÁN, R.; 2014. New tools for extracting cork from *Quercus suber* L.: Increasing productivity and reducing damage. *Forest Systems* 23, 22-35.
- CARRASCO, A.; BORRERO, G.; CAMPAYO, P.; RODRIGUEZ, M.; ALVAREZ DE LA PUENTE, J.; FARIÑA, J.M.; TORRES, E.; 1997. Plan de calas de corcho y establecimiento de rodales selectos de alcornoques en Andalucía. In, II Congreso Forestal Español, Irati (Navarra).
https://www.researchgate.net/publication/311901242_Plan_de_calas_de_corcho_y_establecimiento_de_rodales_selectos_de_alcornocales_en_Andalucia.
- CASTRO, A.D.; SOTTOMAYOR, M.; RODRIGUES, V.; COSTA SILVA, F.; FARIA DE FREITAS, R.; 2015. Cortiça. Estudo de caracterização setorial. [Cork. Sectoral characterization study]. In. APCOR. Associação portuguesa da cortiça, Lisbon.
- COSTA, A.; BARBOSA, I.; MIGUEL, C.; GRAÇA, J.; 2021. Variation of cork porosity along the stem in harvested cork oak (*Quercus suber* L.) trees. *Ann. For. Sci.* 78, 52.
- COSTA, A.; MADEIRA, M.; OLIVEIRA, Â.C.; 2008. The relationship between cork oak growth patterns and soil, slope and drainage in a cork oak woodland in Southern Portugal. *For. Ecol. Manage.* 255, 1525-1535.
- COSTA, A.; OLIVEIRA, A.C.; VIDAS, F.; BORGES, J.G.; 2010. An approach to cork oak forest management planning: a case study in southwestern Portugal. *Eur. J. For. Res.* 129, 233-241.
- CHORANA, A.; DEHANE, B.; SANTIAGO BELTRÁN, R.; 2019. Characterisation of the cork growth and quality of cork oak woodlands, North-West Algeria. *Int. J. Environ. Stud.* 76, 507-522.
- DEHANE, B.; CHORANA, A.; 2022. Study of the cork quality indices in the north-west region of Algeria. *Int. J. Environ. Stud.* 1-11.
- FERREIRA, A.; LOPES, F.; PEREIRA, H.; 2000. Caractérisation de la croissance et de la qualité du liège dans une région de production. *Ann. For. Sci.* 57, 187-193.
- GAMERO GUERRERO, F.; 1993. El archivo de muestras de corcho y su uso para la observación de la influencia de determinados factores sobre la calidad. [The cork sample archive and its use to observe the influence of certain factors on cork quality]. In, 1st Spanish Forestry Congress, Lourizan (Spain).
- GARCÍA DE CECA, J.L.; 2001. Factores que afectan a la calidad del corcho en planchas. In, Dpto. Economía y Gestión de las Explotaciones e Industrias Forestales. Universidad Politécnica, Madrid.
- GHALEM, A.; BARBOSA, I.; BOUHRAOUA, R.T.; COSTA, A.; 2016. Comparing cork quality from Hafir-Zarieffet mountain forest (Tlemcen, Algeria) vs. Tagus basin Montado (Benavente, Portugal). *Cogent Biology* 2, 1236431.
- GHALEM, A.; BARBOSA, I.; TARIK BOUHRAOUA, R.; COSTA, A.; 2018. Climate signal in cork-ring chronologies: case studies in southwestern Portugal and Northwestern Algeria. *Tree-Ring Research* 74, 15-27.
- GONZÁLEZ-ADRADOS, J.R.; GARCÍA DE CECA, J.L.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, F.;



2005. Anomalies assessment and cork quality grading. In: Zapata, S. (Ed.), International congress Cork oak woodlands and cork industry: present, past and future. Palafrugell cork oak museum, Palafrugell (Spain), 276-291.
- GONZALEZ-ADRADOS, J.R.; LOPES, F.; PEREIRA, H.; 2000. Quality grading of cork planks with classification models based on defect characterisation. *Holz als Roh- und Werkstoff* 58, 39-45.
- GONZÁLEZ-ADRADOS, J.R.; PEREIRA, H.; 1996. Classification of defects in cork planks using image analysis. *Wood Sci. Technol.* 30, 207-215.
- GONZÁLEZ MONTERO, J.A.; 2004. Variación de la producción de corcho en cantidad y calidad en la comunidad de Extremadura. In. Universidad Politécnica de Madrid.
- ISO 633:2019. Cork — Vocabulary. In. International Organization for Standardization, ISO/TC87 Cork, p 27.
- JUANOLA, R.; SUBIRÀ, D.; SALVADÓ, V.; GARCIA REGUEIRO, J.A.; ANTICÓ, E.; 2002. Evaluation of an extraction method in the determination of the 2,4,6-trichloroanisole content of tainted cork. *J. Chromatogr.* 953, 207-214.
- JUANOLA, R.; SUBIRÀ, D.; SALVADÓ, V.; GARCIA REGUEIRO, J.A.; ANTICÓ, E.; 2005. Migration of 2,4,6-trichloroanisole from cork stoppers to wine. *Eur. Food Res. Technol.* 220, 347-352.
- LANZO, R.; SANTIAGO, R.; BURGOS, M.; 2013. Diagnóstico Selvícola y de la calidad del corcho del monte alcornocal en Extremadura. [Silvicultural and cork quality diagnosis of cork oak forests in Extremadura]. In, 1st Iberian Congress of the Dehesa and Montado, Badajoz (Spain) <http://riteca.gobex.es/es/documentacion-del-congreso-iberico-de-la-dehesa-y-el-montado/posters>.
- LAUW, A.; OLIVEIRA, V.; LOPES, F.; PEREIRA, H.; 2018. Variation of cork quality for wine stoppers across the production regions in Portugal. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 76, 123-132.
- LEITE, C.; OLIVEIRA, V.; LAUW, A.; PEREIRA, H.; 2019. Cork rings suggest how to manage *Quercus suber* to mitigate the effects of climate changes. *Agric. For. Meteor.* 266-267, 12-19.
- LOPES, F.; PEREIRA, H.; 1998. Caracterizaao de planchas de cortica com diferente classificacao industrial. Sobreiro e Cortica. conferencia Europeia sobre o Sobreiro e Cortica., 332-340.
- MARTÍN COLLADO, L.; BURGOS BARRANTES, M.; LANZO PALACIOS, R.; 2009. SIG del monte alcornocal de Extremadura (SIGSUBER). In, V Congreso Forestal Español, Avila (Spain).
- MELO, B.; PINTO, R.; 1989. Análise de diferenças nos critérios de classificação qualitativa das rolhas. *Cortiça* 601, 293-302.
- MOIO, L.; DIANA, M.; PRETE, G.D.; LANDA, G.D.; VALENTINO, A.A.; BIANCO, A.; 1998. Analysis of volatiles of corks affected by yellow stain and greening and corked wines using GC-sniffing and GC/MS techniques. *Industria delle Bevande* 27, 615-619.
- OLIVEIRA, V.; LAUW, A.; PEREIRA, H.; 2016. Sensitivity of cork growth to drought events: insights from a 24-year chronology. *Climate change* 137, 261-274.
- PARAMESWARAN, N.; LIESE, W.; GÜNZERODT, H.; 1981. Characterization of Wetcork. *Quercus suber L.* 35 (4), 195-199.
<https://doi.org/10.1515/hfsg.1981.35.4.195>.
- PAULO, J.A.; PEREIRA, H.; TOMÉ, M.; 2017. Analysis of variables influencing tree cork caliper in two consecutive cork extractions using cork growth index modelling. *Agrofor. Syst.* 91, 221-237.
- PEREIRA, H.; 2007a. Cork: Biology, Production and Uses. Elsevier, Amsterdam.



- PEREIRA, H.; 2007b. Macroscopic appearance and quality. In, *Cork: Biology, Production and Uses*. Elsevier.
- PEREIRA, H.; LOPES, F.; GRAÇA, J.; 1996. The evaluation of the quality of cork planks by image analysis. *Holzforschung* 50, 111-115.
- PÉREZ-TERRAZAS, D.; GONZÁLEZ-ADRADOS, J.R.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; 2020. Qualitative and quantitative assessment of cork anomalies using near infrared spectroscopy (NIRS). *Food Packaging and Shelf Life* 24, 100490.
- PESTANA, M.N.; GOMES, A.A.; 2014. The effect of soil on cork quality. *Frontiers in chemistry* 2., 80. <https://doi.org/10.3389/fchem.2014.00080>.
- PIZZURRO, G.M.; MAETZKE, F.; VECA, D.S.L.M.; 2010. Differences of raw cork quality in productive cork oak woods in Sicily in relation to stand density. *For. Ecol. Manage.* 260, 923-929.
- POEIRAS, A.P.; OLIVEIRA, T.; REIS, J.; SUROVÝ, P.; SILVA, M.E.; DE ALMEIDA RIBEIRO, N.; 2022. Influence of water supply on cork increment and quality in L. *Central European Forestry Journal* 68, 3-14.
- POZO-BARRÓN, J.L.; CARDILLO-AMO, E.; 1997. Aplicación del Plan de Calas de Iprocor a la Estimación de la Producción de Corcho en un Monte Público Extremeño. In, *European Conference on Cork Oak and Cork*, Lisbon.
- PRADES-LÓPEZ, C.; LANZO-PALACIOS, R.; SANTIAGO-BELTRÁN, R.; 2017. Análisis histórico de la calidad de corcho y aproximación dendroecológica para evaluar el crecimiento y la producción de corcho en la Suberoteca de IPROCOR. In, VIII Congreso Forestal Español, Plasencia (Spain)
- PRADES, C.; CARDILLO-AMO, E.; BEIRA-DÁVILA, J.; SERRANO-CRESPÍN, A.; NUÑEZ-SÁNCHEZ, N.; 2017. Evaluation of Parameters that Determine Cork Plank Quality (*Quercus suber* L.) by Near Infrared Spectroscopy. *J. Wood Chem. Tech.* 37, 360-382.
- RUDNITSKAYA, A.; DELGADILLO, I.; ROCHA, S.M.; COSTA, A.-M.; LEGIN, A.; 2006. Quality evaluation of cork from *Quercus suber* L. by the electronic tongue. *Anal. Chim. Acta* 563, 315-318.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; CALAMA, R.; CAÑELLAS, I.; MONTERO, G.; 2007. Variables influencing cork thickness in cork oak forests: A modelling approach. *Ann. For. Sci.* 64, 301 - 312
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; GONZÁLEZ-ADRADOS, J.R.; PRADES, C.; 2020. El corcho. In: Sánchez-González, M., Calama, R., Bonet, J.A. (Eds.), *Los productos forestales no madereros en España: Del monte a la industria*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Ciencia e Innovación, Madrid p. 536.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; SÁNCHEZ, M.F.; PRADES, C.; 2021. Fitting and calibrating a three-level mixed effects cork growth model. *For. Ecol. Manage.* 497, 119510. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119510>.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; SANTIAGO BELTRÁN, R.; LANZO PALACIOS, R.; PRADES, C.; 2023. Analysis of cork quality and cork tree health in stands of western Spain. *For. Ecol. Manage.* 539: 121012. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121012>
- SANTIAGO BELTRÁN, R.; BENITO LÓPEZ, J.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; GONZÁLEZ-ADRADOS, J.R.; 2020. Guía de calidad del corcho. [Guide on cork quality]. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid.
- SUBERNOVA, 2005. Código Internacional de Prácticas Suberícolas. In. Proyecto SUBERNOVA, Évora y Mérida, p. 13.