



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1557

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

Organiza





Predicción de la calidad industrial y porosidad del corcho secundario a partir de las características del corcho virgen

AMARAL PAULO, J. (1), ISA SANTOS, D. (1)

(1) Centro de Estudos Florestais, Laboratório Associado TERRA, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Resumen

El objetivo de este estudio es analizar las características físicas del corcho virgen para predecir tanto su calidad industrial como la porosidad del corcho secundario. Esto permite establecer criterios específicos para seleccionar árboles durante el aclareo de plantaciones jóvenes de corcho de alta densidad. Para ello, se evaluaron el color y la porosidad en muestras de corcho virgen ($n = 66$) procedentes de tres rodales diferentes en el municipio de Barrancos y Coruche (Portugal), así como en muestras de corcho secundario de los mismos árboles.

El análisis se llevó a cabo para: i) una prueba t, a valores medios de los parámetros de color L^* , a^* y b^* de las muestras de corcho virgen; y ii) un coeficiente de correlación de Spearman (ρ) entre la porosidad del corcho virgen y secundario. Los resultados del color (L^* : luminosidad; y b^* : azul frente a amarillo) en el corcho virgen permiten distinguir grupos de calidad del corcho secundario. El L^* medido permite diferenciar el corcho de buena calidad del de calidad media y baja. Se obtuvo un valor de 0,40 para el coeficiente de correlación de Spearman (ρ) entre los valores de porosidad del corcho virgen y secundario, lo que muestra una relación monótonica positiva moderada. El modelo de previsión de la porosidad del corcho secundario frente a la del corcho virgen se formuló como una hipérbola. El modelo final presenta un R^2 de 0,445 y un MSE de 0,00086.

Palabras clave

Corcho, *Quercus suber* L., espacio de color CIELAB, defectos del corcho, gestión forestal.

1. Introducción

El corcho, la corteza exterior del *Quercus suber* L., es el producto más importante desde el punto de vista económico que suministran los bosques de esta especie. El alcornoque produce en su ciclo vital tres tipos de tejido de corcho: i) corcho virgen, que es el primer crecimiento de corteza que cubre todos los componentes leñosos del árbol, tanto por encima como por debajo del suelo; ii) corcho secundario, que es el crecimiento de la corteza después de la extracción del corcho virgen; y iii) corcho maduro o de reproducción, que es el crecimiento de la corteza luego de las operaciones de descortezado subsiguientes en ciclos de crecimiento con una longitud mínima determinada por la normativa nacional (Pereira, 2007). El corcho virgen presenta características de textura y homogeneidad diferentes al corcho maduro (Pereira, 1982), por lo que se destina a distintos usos: suelos, aislamientos y productos decorativos, con diferentes precios de venta para la industria del corcho.



El primer descortezado de un rodal se programa cuando entre el 30 y el 50 % de los árboles alcanzan el perímetro mínimo a la altura del pecho necesario para llevar a cabo el descortezado. Este valor está determinado por la legislación nacional y, en Portugal, está fijado en 70 cm. La edad del árbol en el momento de la primera operación de descortezado oscila entre 18 y 30 años, dependiendo de las tasas de crecimiento, que están influenciadas por las condiciones edafoclimáticas (Paulo et al., 2015; Paulo y Tomé, 2017).

Como actualmente no existen criterios sobre las características del corcho, las operaciones de aclareo realizadas antes del primer descortezado pueden dar lugar a la eliminación de individuos que posteriormente podrían producir corcho de alta calidad, mientras que se mantienen en la masa árboles que producen corcho de menor calidad.

Después del primer descortezado del alcornoque, la nueva capa de corcho que crece presenta características similares al corcho de reproducción (Graça y Pereira, 2004). La mayor diferencia es la mayor frecuencia del defecto del corcho llamado “enguiado” que aparece en la apertura de surcos profundos y que se debe a la mayor tasa de crecimiento de la madera en comparación con el corcho. El corcho secundario es, por tanto, el primer corcho maduro producido por el árbol y se clasifica del mismo modo en siete clases de calidad. La clasificación se realiza en función del espesor y la homogeneidad del material, es decir, de la porosidad global y de la presencia de defectos (Graça y Pereira, 2004; Pereira, 2007). Esta clasificación la realizan operadores cualificados o de forma automática mediante análisis de imágenes (Pereira et al., 1996).

2. Objetivos

El objetivo de este estudio es investigar la relación entre las características del corcho virgen y la calidad del corcho secundario. Se llevó a cabo teniendo en cuenta distintas variables que pueden determinarse fácilmente en árboles sin descortezar o muestras de corcho virgen: el color del corcho y su porosidad. La hipótesis planteada fue que el color y la porosidad del corcho virgen pueden utilizarse como indicadores de las características secundarias del corcho y, por tanto, como criterios para seleccionar los árboles sin descortezar que deben ser raleados.

3. Metodología

Toma de muestras y clasificación del corcho

El corcho virgen (Figura 1) se cosechó en tres lugares distintos. El alcornocal A está ubicado en el municipio de Barrancos, mientras que los alcornocales B y C están en el municipio de Coruche (Figura 2). Después de nueve años, se volvieron a tomar muestras de los mismos árboles para buscar corcho secundario. Estas últimas muestras se dividieron en dos submuestras, que se utilizaron con dos fines



diferentes: clasificación de la calidad del corcho (realizada en corcho hervido en agua caliente a 100 °C durante 1 h, seguido de secado al aire a temperatura ambiente en un lugar bien ventilado) y medición del color y de la porosidad del corcho (realizada en corcho crudo). Posteriormente, un operador experimentado realizó la clasificación de la calidad del corcho siguiendo las clases de la industria del corcho del 1.º (mejor) al 7.º (peor) (Pereira, 2007).

La clasificación de la calidad del corcho depende de dos variables: la porosidad y la presencia de defectos. El aumento de la porosidad y la presencia de defectos en el corcho se asocian con una disminución de su calidad (Pereira, 2007).

De los árboles disponibles, se seleccionaron aleatoriamente sesenta y seis para abarcar lo mejor posible todas las clases de calidad del corcho. Estos sesenta y seis árboles se distribuyeron de la siguiente manera: treinta y tres de la parcela A, dieciocho de la parcela B y quince de la parcela C.

La clasificación de calidad del corcho asociada a cada árbol se agrupó entonces en tres categorías, generalmente asociadas a distintos usos industriales: 1.ª, 2.ª y 3.ª clases de calidad (alta); clases de 4.ª y 5.ª calidad (media); clases de 6.ª y 7.ª calidad (baja). De estos, 18 se clasificaron como altos, 24 como medios y 24 como bajos.



Figura 1. La fotografía muestra a un hombre retirando corcho virgen del alcornocal A.

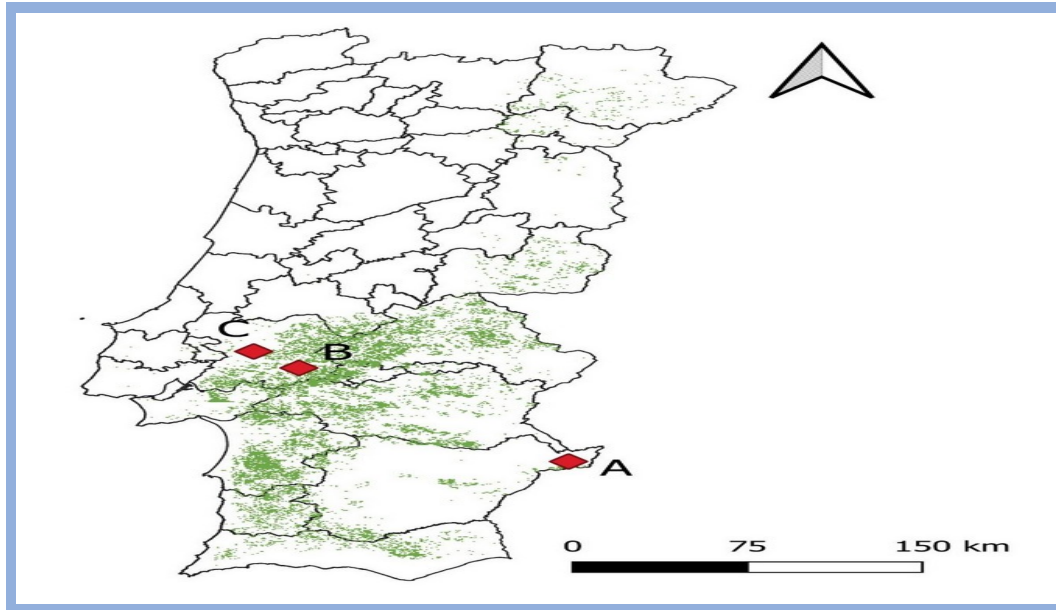


Figura 2. El mapa representa la distribución del alcornoque en el municipio de Barrancos (Stand A) y en el municipio de Coruche (Stands B y C).

Medidas del color del corcho

El color del corcho se evaluó en dos direcciones (radial y transversal) y en dos superficies (espalda y vientre, es decir, las capas externa e interna de la muestra) de cada muestra de corcho virgen crudo y de cada submuestra de corcho secundario crudo. Respecto a las direcciones radial y transversal, las mediciones de color se realizaron después del pulido, utilizando una lijadora de banda (FAI™ Modelo LCU) equipada con una banda de lija P100 (Norton™), tras lo cual se realizó una limpieza con aire comprimido para eliminar los residuos de lijado de los poros.

Las mediciones se realizaron con un colorímetro Minolta CR 300 (Konica Minolta, Osaka, Japón) utilizando las coordenadas L^* , a^* y b^* del sistema de tinción CIELAB. La calibración del colorímetro se realizó con una referencia cerámica blanca (iluminante estándar D65). Tras esta calibración, se realizaron seis mediciones de color distintas en cada superficie y en cada dirección de cada muestra. La ubicación de cada medición fue aleatoria, pero se procuró que no se midieran defectos del corcho ni otras características específicas externas al material. El valor final para cada parámetro de color (L^* , a^* y b^*) resultó de la mitad de estas seis mediciones.

Medición de la porosidad del corcho

Se determinó la porosidad del corcho en las secciones transversales lijadas de cada muestra de corcho virgen crudo y de cada submuestra de corcho secundario crudo.

Se tomó una imagen de la superficie de cada muestra mediante un escaneo de alta resolución con un escáner Canon (CanoScan Lide 50, Canadá). Las imágenes se procesaron en ordenador con el programa de procesamiento de imágenes AnalySIS® (Analysis Soft Imaging System GmbH, Münster, Alemania, versión 3.1). El software detecta automáticamente las diferencias de color causadas por las características del corcho, aunque son necesarias algunas correcciones manuales en las áreas identificadas inicialmente (Figura 3). Para cada muestra se determinó el coeficiente de porosidad del corcho, definido como la relación entre el área total de poros (mm^2) y el área superficial total del corcho (mm^2).

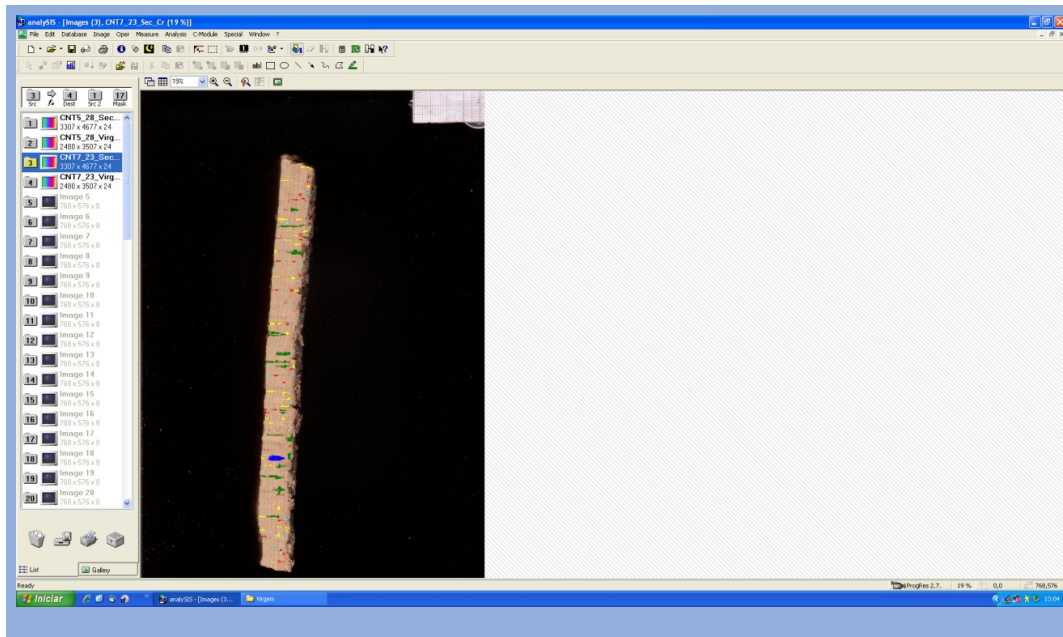


Figura 3. La imagen muestra la detección de porosidad por el software de procesamiento de imágenes AnalySIS® (Analysis Soft Imaging System GmbH Münster, Alemania, versión 3.1).

Color del corcho: valores medios y diferenciación entre grupos de calidad.

Se analizaron las diferencias en los valores promedio de L^* , a^* y b^* entre tres grupos de calidad del corcho (alta, media y baja). Debido al reducido tamaño de la muestra de cada grupo, se evaluó la normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y la homogeneidad de varianzas (prueba F). Cuando se cumplían ambas condiciones, se



utilizó la prueba t de Student para los valores promedio. Si las varianzas no eran iguales, pero la normalidad no se rechazaba, se aplicaba la prueba t de Welch. En casos de no normalidad, se empleó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. Se consideró un nivel de significancia del 5 %. El rechazo de la hipótesis nula indicaba diferencias en los valores de las coordenadas de color entre los grupos de calidad, lo que sugiere que esta podría servir como indicador de la calidad secundaria del corcho.

Porosidad del corcho: análisis de correlación y modelización de la relación entre corcho virgen y secundario

Se graficaron las relaciones entre los pares de variables porosidad del corcho para determinar si existía una asociación lineal o ligeramente cóncava. La correlación monótona se cuantificó calculando el coeficiente de correlación de Spearman (ρ). El par de variables con el valor más alto de ρ se utilizó para desarrollar un modelo de predicción de la porosidad secundaria del corcho.

Se probaron modelos lineales y no lineales cóncavos como curvas base (Ratkowsky, 1990). Los modelos ajustados se compararon considerando las estadísticas de ajuste R^2 y el error cuadrático medio (MSE) (Myers, 1990). Aquellos con mayor R^2 y menor MSE fueron refinados probando las variables de color L^* , a^* y b^* medidas en el corcho virgen en los parámetros del modelo.

Se evitó el uso de modelos con alta colinealidad, ya que esto puede llevar a estimaciones inestables de los parámetros. El análisis de colinealidad se basó en el número de condición de la matriz de derivadas parciales, que debía ser menor a 30 (Myers, 1990). Los modelos con un número de condición igual o mayor a 30 fueron descartados.

La hipótesis de homocedasticidad se evaluó examinando el gráfico de residuos t-student frente a los valores predichos, y la hipótesis de normalidad se verificó mediante el análisis del gráfico Q-Q.

El ajuste de los modelos se realizó con el software SAS 9.4, utilizando el procedimiento REG para los modelos lineales (SAS Institute Inc, 2016 - Capítulo 99) y el procedimiento MODEL para los no lineales (SAS Institute Inc, 2014 - Capítulo 19). La opción "collin" proporcionó el número de condición de la matriz de derivadas parciales.

4. Resultados

Se identificaron diferencias significativas en los valores medios de las coordenadas de color (L^* , a^* , b^*) entre corchos de alta, media y baja calidad, especialmente en el caso de los corchos virgen. Estas diferencias fueron más notables en la superficie posterior del corcho, en las direcciones radial y



transversal.

El corcho de alta calidad se distinguió claramente del de baja calidad en casi todas las coordenadas, excepto en a^* y b^* medidos en la superficie del vientre. Las diferencias entre la calidad alta y media fueron similares, mientras que las diferencias entre la calidad media y baja fueron menos frecuentes. Las coordenadas de color del corcho virgen demostraron ser buenos indicadores de la calidad del corcho secundario.

La variación del color entre el corcho virgen y el secundario dependía de la superficie y la dirección de medición. El índice ΔL mostró una reducción significativa de la luminosidad en la superficie posterior del corcho secundario, mientras que el brillo aumentó en los corchos de alta y media calidad en las direcciones radial y transversal. Los índices Δa^* (rojo-verde) y Δb^* (amarillo-azul) presentaron cambios menores.

Los valores de porosidad del corcho virgen (CPV) oscilaron entre 0,043 y 0,213 (media 0,115), mientras que los del corcho secundario (CPS) variaron entre 0,034 y 0,224 (media 0,114). Se observó un incremento en los valores promedio de porosidad al pasar de corcho de alta calidad a baja calidad.

El coeficiente de Spearman mostró una correlación monótona positiva moderada entre la CPV y la CPS ($\rho = 0,405$ con $p < 0,05$).

En el modelo hiperbólico, las variables de color L^* y b^* medidas en la superficie posterior y en direcciones transversales y radiales fueron significativas, mientras que las medidas en la superficie del vientre no lo fueron. El modelo final incluyó únicamente L^* y b^* en la dirección transversal, con un R^2 de 0,445 y un MSE de 0,00086, sin evidencias de rechazo de la normalidad ni de heterocedasticidad.

El modelo confirmó que un aumento de L^* está asociado a una disminución de la calidad del corcho secundario, mientras que un aumento de b^* se relaciona con una mejora de dicha calidad.

5. Discusión

El aclareo es una operación forestal recomendada en plantaciones densas de alcornoques cuyo objetivo principal es reducir la competencia intraespecífica y favorecer el crecimiento en diámetro de los árboles. Generalmente se realiza entre los 18 y los 30 años, dependiendo de factores como la densidad, las condiciones edafoclimáticas, el mercado y los costes. Sin embargo, al no haber criterios basados en las características del corcho, los aclareos podrían eliminar árboles que posteriormente producirían corcho secundario de alta calidad.

La calidad del corcho se define según los estándares de la industria en función de la porosidad y la ausencia de defectos, características que varían de un árbol a



otro y a lo largo del tallo. La toma de muestras de corcho a la altura del pecho es el método más adecuado para evaluar su calidad.

El espacio de color CIELAB se usó como variable adicional para caracterizar las propiedades físicas del corcho. Este trabajo presenta la primera comparación entre corcho virgen y secundario de *Quercus suber* recolectado del mismo árbol, mostrando la variación entre los dos primeros periodos de crecimiento. Se han observado cambios significativos en la coloración del corcho debido al calor y al agua hirviendo, atribuidos a reacciones de extractivos y no a la degradación del material. Las muestras se lijaron y secaron para garantizar la uniformidad y evitar la proliferación de hongos.

Los valores de color L^* , a^* y b^* del corcho corresponden a la coloración típica blanco-amarillenta observada en los ejes transversal y radial. Las variaciones de color entre el corcho virgen y el secundario fueron pequeñas, excepto en la espalda. Los tratamientos térmicos y de ebullición tienen un mayor impacto en la coloración.

La diferenciación de la calidad secundaria del corcho basada en mediciones de color en el corcho virgen mostró que L^* (luminosidad) y b^* (amarillo-azul) son las coordenadas más útiles. Un mayor valor de L^* se asocia con una menor calidad y mayor porosidad, posiblemente debido a una estructura más porosa. Por otro lado, un valor más alto de b^* indica una mayor calidad, menor porosidad, menor contenido de lignina y una apariencia más uniforme. Además, valores altos de b^* sugieren una estructura celular más compacta, lo que contribuye a una mayor densidad y menor porosidad.

El grupo de trabajo está desarrollando actualmente un modelo que utiliza la relación entre la espectroscopia de infrarrojo cercano y la porosidad para predecir la calidad y la evolución de la calidad del corcho en sucesivas operaciones de descorche en árboles adultos.

6. Conclusiones

Las mediciones del color y de la porosidad del corcho, tomadas en muestras de corcho virgen crudo, pueden utilizarse como predictores de la calidad industrial secundaria del corcho y de sus valores de porosidad, en particular para diferenciar tres grupos de corcho: alto, medio y bajo.

Se desarrolló un modelo de predicción de la porosidad secundaria esperada del corcho, un índice de color del corcho crudo virgen y valores límite de confianza asociados con cada grupo de calidad del corcho secundario que pueden ser útiles para los administradores forestales.

La información proporcionada por estas herramientas puede utilizarse para identificar los árboles que se deben eliminar y los que se deben dejar cuando se planifica una operación de aclareo en una masa de alcornoques de alta densidad



antes del primer descortezado.

7. Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Centro de Investigación Forestal, una unidad de investigación financiada por la Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P. (FCT), Portugal (UIDB/00239/2020). Los autores agradecen a Ana Cuartas, del CEF, su ayuda en las correcciones lingüísticas.

8. Bibliografía

GRAÇA, J.; and PEREIRA, H.; 2004. The Periderm Development in *Quercus Suber*. *Iawa Journal* 25, no. 3: 325-35. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000369>.

MYERS, R.H.; 1990. *Classical and Modern Regression with Applications*. PWS-KENT. <https://books.google.pt/books?id=oRLvAAAAMAAJ>.

PAULO, J. A.; PALMA, J. H. N.; GOMES, A. A.; FAIAS, S. P.; TOMÉ, J.; and TOMÉ, M.; 2015. Predicting Site Index from Climate and Soil Variables for Cork Oak (*Quercus suber* L.) Stands in Portugal. *New Forests* 46, no. 2: 293-307. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9462-4>.

PAULO, J. A.; and TOMÉ, M.; 2017. Does Debarking Intensity During the First Cork Extraction Affect Future Cork Thickness?. *Annals of Forest Science* 74, no. 4. <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0662-x>.

PEREIRA, H.; 1982. *Studies on the Chemical Composition of Virgin and Reproduction Cork of Quercus Suber L.* Lisboa: ISA. <http://hdl.handle.net/10400.5/17165>.

PEREIRA, H.; LOPES, F.; and GRACA, J.; 1996. The Evaluation of the Quality of Cork Planks by Image Analysis. *Holzforschung* 50, no. 2: 111-15. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1996.50.2.111>.

PEREIRA, H.; 2007. *Cork: Biology Production and Uses*. Edited by Editor(s): Helena Pereira. Elsevier Science B.V. doi:10.1016/b978-044452967-1/50003-0.

RATKOWSKY, D.A.; 1990. *Handbook of Nonlinear Regression Models*. M. Dekker. <https://books.google.pt/books?id=bYspAQAAAMAAJ>. p. 241. New York

SAS Institute Inc. SAS/STAT® 14.2 User's Guide 2016.

SAS Institute Inc. SAS/ETS® 13.2 User's Guide 2014.

