Factores determinantes de la facilidad de descorche en *Quercus suber* L. y propuesta de modelo predictivo

Clara Esteban, Mariola Sánchez-González

Este trabajo ha sido realizado por el ICIFOR-INIA, CSIC en el marco del proyecto FUTURECORK – Proyecto Transformador para la promoción de la bioeconomía en el sector corchero.

Autoras: Clara Esteban, Mariola Sánchez-González, ICIFOR-INIA, CSIC.

Título del material: Factores determinantes de la facilidad de descorche en *Quercus suber* L. y propuesta de modelo predictivo.

Referencia a financiación: FUTURECORK cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.

Año: 2025

Este material se distribuye bajo la licencia CC BY-NC 4.0. Para ver una copia de esta licencia, visita https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Contenido

Resumen....4
Introducción....4
Toma de datos....5
Análisis estadístico....6
Correlación de Spearman:....6
Modelo lineal múltiple:....6
ANCOVA....7
Resultados....7
Datos recogidos durante los descorches....7
Correlación de Spearman:....10
Modelo lineal múltiple:....11
ANCOVA....13
Discusión y conclusiones....13
Bibliografía....15

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
Fundación Biodiversidad
Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU

Resumen

La facilidad de extracción del corcho en *Quercus suber* depende de la interacción entre factores morfológicos, fisiológicos y climáticos que afectan la actividad del felógeno y el estado hídrico del árbol. En este estudio se realizaron descorches en ocho fincas de Extremadura entre primavera y otoño, registrando variables morfológicas (circunferencia a la altura del pecho, altura del descorche), fisiológicas (contenido hídrico con sensor Aquaboy) y climáticas (temperatura, precipitación y humedad relativa). Los resultados muestran que la facilidad de descorche se relaciona positivamente con la humedad del árbol ($\rho = 0.65$, $p < 0.001$) y el diámetro del tronco ($\rho = 0.44$, $p < 0.001$), y negativamente con la temperatura media mensual ($\rho = -0.50$, $p < 0.001$). El modelo lineal múltiple ajustado explicó el 57 % de la variabilidad en la facilidad de descorche. El estudio permite valorar la posibilidad de ampliar el período de descorche y sirve como precedente para ofrecer una herramienta útil para la gestión del descorche.

Introducción

El corcho se extrae del alcornoque (*Quercus suber*), cuyo felógeno produce capas de felodermo hacia el interior y felema hacia el exterior. El tejido suberoso está formado por células huecas de felema, dispuestas en hileras y con un alto contenido en suberina. Tras el descorche, un nuevo felógeno se forma a partir de la activación meristemática del floema no conductor, regenerando una nueva capa de corcho (Pereira 2007). Esta capacidad de regeneración permite una producción sostenible a lo largo de la vida del árbol, pudiendo un alcornoque sometido a extracción producir hasta cuatro veces más corcho que uno no descorchado (Gil 2015). La primera capa aparece unos 50 días después del descorche, con un intervalo medio entre extracciones de 9 años. El crecimiento anual del corcho tiende a disminuir a lo largo del ciclo productivo (Costa et al. 2022).

La actividad del felógeno y el crecimiento del corcho siguen un patrón estacional. Se distinguen tres fases: una temprana (marzo-abril), una principal de máxima actividad (mayo-agosto) y una tardía (septiembre-octubre). El crecimiento máximo se produce normalmente en junio-julio, tras el pico de renovación foliar (Costa et al. 2002; Bicho et al. 2024), seguido de un período de latencia entre noviembre y febrero. Por esta razón, el descorche se realiza en verano, cuando las células felogénicas activas se separan con facilidad de la capa madre, evitando daños en el floema. Costa (2002) describe un crecimiento radial medio de 3,8 mm anuales, aunque variable entre árboles y ciclos, resultado de la interacción entre clima, fenología y reservas energéticas.

Los eventos fenológicos como la brotación y el crecimiento foliar están estrechamente relacionados con la asimilación de carbono, recurso necesario para la actividad felogénica (Oliveira et al. 1994). En este sentido, los procesos de floración y fructificación compiten por los mismos recursos, pudiendo reducir el crecimiento del corcho en determinados periodos. En regiones mediterráneas, los patrones fenológicos están fuertemente condicionados por la estacionalidad climática, y las especies sincronizan su

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

máxima actividad vegetativa con los periodos más favorables. Las temperaturas acumuladas y el fotoperiodo estimulan la reactivación vegetativa y del felógeno (Pinto et al., 2011), mientras que la disponibilidad hídrica modula la intensidad del crecimiento (Campelo et al. 2023; Bicho et al. 2024).

La extracción de corcho tiene efectos directos e indirectos sobre el árbol, como el cierre estomático y la reducción de la transpiración (Oliveira and Costa 2012; Costa-e-Silva et al. 2021). Estos efectos condicionan el momento idóneo de descorche: aunque tradicionalmente la saca puede realizarse hasta finales de agosto, en condiciones de sequía la viabilidad del descorche se reduce a las primeras semanas del verano. La decisión sobre el momento de la extracción sigue basándose en criterios empíricos transmitidos por el conocimiento tradicional, sin una base científica consolidada.

El objetivo de este estudio es desarrollar un modelo predictivo que, a partir de datos climáticos, fisiológicos y morfológicos, permita anticipar la facilidad con que se dará el descorche y sirva de apoyo a la toma de decisiones para la administración y los subericultores. Para ello, se recopilarán datos mediante descorches en 10 fincas, desde mediados de primavera hasta principios de otoño, con el fin de caracterizar espacial y temporalmente cómo "se da" el corcho, así como las variables que pueden ser influyentes en la facilidad de la saca, y valorar la posibilidad de ampliar el período de descorche. Posteriormente, se analizarán las relaciones entre las variables registradas para identificar cuáles son determinantes en la facilidad de descorche, y se ajustará una primera propuesta de modelo predictivo que integre los factores relevantes, ofreciendo una herramienta útil para la gestión del descorche.

Toma de datos

El equipo de CICYTEX del proyecto FUTURECORK tomó medidas en campo de las variables que pueden determinar la facilidad con la que se da el corcho: Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP) (cm), altura de descorche (HD) (dm), y estado hídrico del árbol determinado con medida de un higrómetro Aquaboy (%). Además, se tiene en cuenta la semana del descorche, es decir, el momento del año en el que se lleva a cabo. La Tabla 1 muestra la localización de los puntos de muestreo donde se han realizado los descorches. Esta base de datos está disponible bajo petición.

Gobierno de España · Vicepresidencia Tercera del Gobierno · Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico · Fundación Biodiversidad · Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia · Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

Tabla 1. Puntos de estudio

Código fínca	finca	Coordenadas UTM	Coordinadas geográficas	Término municipal
241	Valle de la Zarza	735466 339071	39.169011, -6.274448	Alcuéscar (Cáceres)
242	La Garza	744926 4296401	38.782352, -6.180352	Oliva de Mérida (Badajoz)
251	Valdefuentes	809259 4372376	39.445442, -5.406354	Guadalupe (Cáceres)
252	Dehesa Almendral	681012 4280650	38.655939, -6.919732	Almendral (Badajoz)
253	Monteporrino	708726 4260171	38.465447, -6.607596	Salvaleón (Badajoz)
254	Alcornocalejo	809744 4335963	39.117799, -5.417471	Navalvillar de Pela (Badajoz)
255	El Pajonal	754268 4339969	39.171801, -6.056733	Carmonita (Badajoz)
256	Monte Protector Descargamaría	728163 4462867	40.285180, -6.316004	Descargamaría (Cáceres)
257	El Machal	708695 48982	0.442917, -7.124792	Mérida (Badajoz)
258	Haza de la Concepción	757422 4427554	39.958975, -5.986317	Malpartida de Plasencia (Cáceres)

El equipo del ICIFOR-INIA, CSIC completa la base de datos recopilando datos climáticos de la Agencia Española de Meteorología (AEMET) de temperatura media, precipitación acumulada y humedad relativa en las semanas de descorche, y previas. Con esta base de datos, se lleva a cabo el estudio estadístico que permita ajustar un modelo predictivo de la facilidad de descorche según condiciones morfológicas, fisiológicas y ambientales.

Análisis estadístico

Para analizar los datos de realizaron los siguientes análisis estadísticos:

Correlación de Spearman:

Se lleva a cabo una correlación de Spearman para evaluar los coeficientes (ρ) entre la variable se_da —que representa la facilidad de descorche— y un conjunto ampliado de variables predictoras, incluyendo tanto factores morfológicos como climáticos en distintas escalas temporales (semana del descorche, semana previa y media mensual).

Modelo lineal múltiple:

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

Se evaluaron distintos modelos de regresión lineal múltiple con el objetivo de identificar el conjunto más parsimonioso de variables predictoras de la facilidad de descorche (se_da). Los criterios de selección se basaron en (i) la simplicidad del modelo (menor número de variables con capacidad explicativa), (ii) un buen ajuste estadístico (alto R^2 y bajo AIC), y (iii) la significancia individual de los coeficientes ($p < 0.05$).

De las distintas combinaciones probadas, el modelo más adecuado fue aquel que incluye las variables Aquaboy, CAP y temperatura media mensual (tmed_mens), que combina un buen ajuste (R^2 ajustado = 0.566) con parsimonia y significancia en todos los predictores. La inclusión de la precipitación o la humedad no mejoró sustancialmente el ajuste ni aportó significancia adicional, mientras que los modelos reducidos (sin CAP o sin variables climáticas) mostraron un rendimiento inferior.

El modelo final se expresa como:

$$\mathbf{se_da = \beta_0 + \beta_1 \cdot Aquaboy + \beta_2 \cdot CAP + \beta_3 \cdot Temperatura\ media\ mensual + \varepsilon}$$

donde *se_da* representa la facilidad de descorche, β_0 el intercepto, β_1–β_3 los coeficientes asociados a cada predictor y ε el término de error.

ANCOVA

Con el objetivo de analizar si las condiciones climáticas diferían significativamente entre los casos en los que el descorche se consideró fácil y aquellos en los que no se dio o fue difícil, se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) de un factor, que permite comparar las diferencias entre grupos ajustando previamente el efecto de estas covariables.

La variable dependiente fue cada una de las variables climáticas (temperatura media mensual, precipitación acumulada y humedad relativa media), mientras que la variable de agrupación fue se_da (dicotomizada en “no se da” y “se da”, utilizando el valor 3 como punto de corte). Las variables Aquaboy y CAP se incluyeron como covariables, con el fin de controlar el efecto de las características morfológicas y del estado hídrico de los árboles.

$$\mathbf{Clima=\beta0+\beta1(se_da)+\beta2(Aquaboy)+\beta3(CAP)+\varepsilon}$$

Resultados

Datos recogidos durante los descorches

La Tabla 2 presenta las principales variables morfológicas y climáticas registradas durante los descorches en cada finca y semana. Se observan diferencias notables entre fincas en las dimensiones de los árboles, y entre los datos climáticos a medida que avanza el año.

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

Tabla 2. Resumen de datos morfológicos, fisiológicos y climáticos, por finca y semana de muestreo*								
Semana	**Finca**	**n**	**CAP**	**HD**	**Aquaboy**	**Temperatura media °C**	**Precipitación acumulada mm**	**Humedad relativa media %**
19	251	26	148.0 [133.5–166.2]	20.0 [17.2–21.0]	25.0 [24.2–25.8]	12.2	22.6	68.7
19	252	15	235.0 [191.5–280.0]	43.0 [28.5–47.5]	25.0 [24.0–26.0]	14.9	71.0	71.9
19	253	15	180.0 [142.5–205.0]	28.0 [21.5–38.5]	25.0 [24.0–26.0]	13.3	16.3	67.8
24	254	10	89.5 [80.5–92.8]	8.5 [8.0–9.0]	25.0 [22.5–26.5]	9.3	125.5	40.8
27	241	8	84.0 [81.5–118.5]	7.6 [7.6–8.25]	23.8 [23.4–24.0]	29.2	36.8	30.6
27	255	3	126.0 [115.5–136.0]	30.0 [25.5–34.5]	24.0 [23.0–24.0]	30.3	3.9	31.1
30	256	5	118.0 [80.0–120.0]	10.0 [10.0–10.0]	24.0 [20.0–25.0]	20.1	0.0	34.3
40	242	50	100.0 [89.2–111.5]	15.0 [12.2–17.0]	24.0 [22.0–26.0]	19.8	3.0	51.7
40	257	6	77.0 [70.0–83.2]	0 [0 – 0]	18.0 [17.2–18.0]	21.1	28.5	52.8
41	258	10	127.5 [118.0–156.0]	19.0 [18.0–21.0]	17.5 [14.2–18.8]	20.5	62.5	63.7

- Los datos de CAP, HD, Aquaboy se presentan como mediana, y entre corchetes se encuentra el rango intercuartílico [IQR]
- Los datos climáticos corresponden a la media de las cuatro semanas anteriores al descorche

Las fincas 252 y 253 (tabla 2) destacan por sus valores más elevados de circunferencia a la altura del pecho (CAP), con medianas de 235 cm y 180 cm, respectivamente, lo que refleja la presencia de árboles de mayor desarrollo. En contraste, las fincas 241 y 257 presentan los valores más bajos de CAP, por debajo de 90 cm, correspondientes a ejemplares más jóvenes o de menor vigor.

En cuanto a la altura del descorche (HD), se aprecian contrastes marcados: las fincas 252 y 255 muestran los valores medio más altos (entre 30 y 43 dm), mientras que las fincas 241, 254, 256 y 257 registran alturas inferiores a 10 dm.

Las lecturas del sensor Aquaboy presentan menor dispersión entre fincas, aunque con una clara diferenciación entre los grupos de mayor y menor facilidad de descorche: las fincas 252, 253, 254 y 255 registran valores altos (en torno a 24–26 unidades), mientras que 257 y 258 muestran los valores mínimos (17–18 unidades), coherentes con una menor facilidad de extracción del corcho.

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

Desde el punto de vista meteorológico, se aprecia una marcada variabilidad estacional. Las semanas 19 y 24, correspondientes a la primavera, presentan condiciones más frías (9–15 °C) y húmedas, con acumulados de precipitación que alcanzan hasta 125,5 mm (finca 254) y humedades relativas superiores al 70 % en las fincas del grupo 19. En cambio, las semanas 27 y 30, más avanzado el verano, se caracterizan por temperaturas más elevadas (20–30 °C) y condiciones muy secas, con humedades relativas por debajo del 35 % y precipitaciones casi nulas. Finalmente, en las semanas 40 y 41, las temperaturas descienden nuevamente (en torno a 20 °C), mientras que la humedad relativa aumenta por encima del 50–60 %, acompañada de un repunte de la precipitación (hasta 62,5 mm en la finca 258).

En el histograma de la facilidad de descorche por finca (figura 1) se observa una tenden cia claramente asimétrica, con una mayor proporción de árboles clasificados en los nive les altos de facilidad (figura 1). En concreto, el 42,6 % de los individuos se agrupan en el nivel 5 (muy fácil), mientras que los niveles 1 y 2, correspondientes a los descorches má s difíciles, representan únicamente el 11,5 % y 14,2 %, respectivamente. Esta distribuci ón sugiere que, en general, las condiciones morfológicas y fisiológicas de los árboles en las fincas estudiadas favorecen un descorche de moderado a fácil, aunque existe cierta variabilidad entre individuos que podría estar relacionada con factores estructurales o a mbientales.

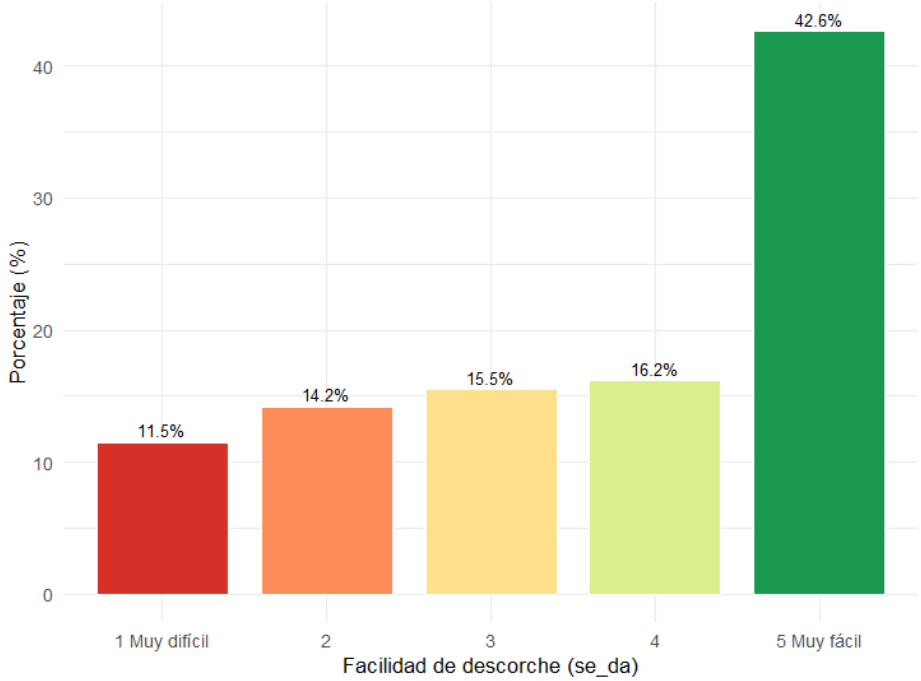


Figura 1. Histograma de la distribución de árboles a lo largo de la variable *facilidad de descorche (se_da),* evaluada en una escala del 1 (muy difícil) a 5 (muy fácil)

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

Correlación de Spearman:

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Spearman (ρ)

variable	rho	p_value	n	signif
aquaboy	0.65084426	3,42E-13	148	***
CAP	0.44053406	2,11E-02	148	***
HD	0.05747336	4,88E+05	148	
t_0	-0.37471002	2,71E+00	148	***
p_0	-0.29227220	3,13E+02	148	***
rh_0	0.02199212	7,91E+05	148	
t_1	-0.47898671	7,36E-04	148	***
p_1	0.38569864	1,29E+00	148	***
rh_1	0.28325273	4,86E+02	148	***
t_mens	-0.49501889	1,60E-04	148	***
p_mens	0.35994270	7,01E+00	148	***
rh_mens	0.34746087	1,51E+01	148	***

Los resultados (Tabla 3) confirman una relación positiva y estadísticamente significativa entre la facilidad de descorche y las variables Aquaboy ($\rho = 0.651$, $p < 0.001$) y CAP ($\rho = 0.441$, $p < 0.001$), lo que sugiere que valores más altos de humedad del árbol y de circunferencia a la altura del pecho se asocian con una mayor facilidad de extracción del corcho. En cambio, la variable HD (altura del descorche) no muestra una correlación significativa ($p > 0.05$), indicando que su efecto directo sobre la facilidad de descorche sería limitado.

En cuanto a las variables climáticas, se observa un patrón consistente: la temperatura media muestra correlaciones negativas significativas tanto en la semana del descorche (t_0: $\rho = -0.375$, $p < 0.001$), como en la semana previa (t_1: $\rho = -0.479$, $p < 0.001$) y en la media mensual (t_mens: $\rho = -0.495$, $p < 0.001$), lo que indica que condiciones más cálidas tienden a asociarse con una menor facilidad de descorche. Por el contrario, la precipitación presenta correlaciones positivas en todas las escalas (p_0: $\rho = 0.292$; p_1: $\rho = 0.386$; p_mens: $\rho = 0.360$; todas $p < 0.001$), sugiriendo que una mayor disponibilidad de humedad ambiental o del suelo podría favorecer el proceso.

Finalmente, la humedad relativa también muestra correlaciones positivas y significativas en la semana previa ($\rho = 0.283$, $p < 0.001$) y en la media mensual ($\rho = 0.347$, $p < 0.001$), aunque de menor magnitud, lo que indica un posible efecto secundario de las condiciones atmosféricas húmedas sobre la facilidad del descorche. En conjunto, estos resultados refuerzan la hipótesis de que tanto los factores fisiológicos del árbol como las condiciones climáticas recientes influyen de manera conjunta en la facilidad con que puede extraerse el corcho.

La figura 2 representa los coeficientes de correlación de Spearman entre la facilidad de descorche (*se_da*) y las distintas variables morfológicas y climáticas incluidas en el

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

estudio. Se observa un patrón coherente con los resultados numéricos: las variables asociadas al estado hídrico del árbol, especialmente Aquaboy (ρ = 0.651) y CAP (ρ = 0.441), muestran las correlaciones positivas más fuertes con la facilidad de descorche.

Por el contrario, las variables de temperatura presentan correlaciones negativas consistentes en todas las escalas temporales (t_0, t_1, t_mens), destacando una relación inversa clara entre el calor ambiental y la facilidad de extracción del corcho. En cambio, la precipitación y la humedad relativa se correlacionan positivamente, lo que sugiere que condiciones más húmedas, tanto por lluvia como por humedad atmosférica, favorecen el proceso de descorche.

La altura del descorche (HD) y la humedad relativa del mismo día (rh_0) no muestran asociaciones significativas, lo que indica que su influencia directa sobre la variable de respuesta sería limitada. En conjunto, el gráfico ilustra de forma visual cómo los factores morfológicos y climáticos recientes contribuyen de manera diferenciada a la facilidad del descorche, destacando la importancia de las condiciones de humedad frente a la temperatura.

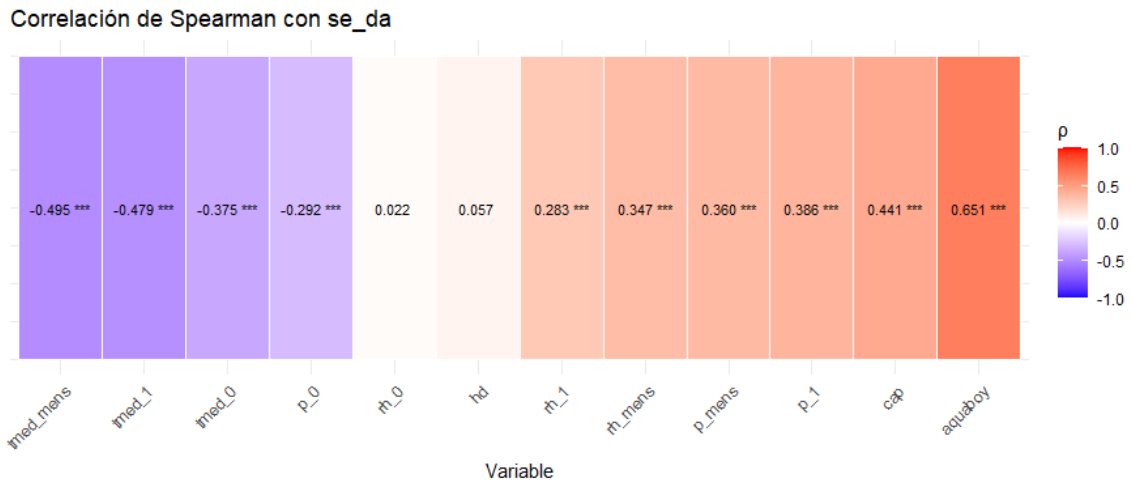


Figura 2. Heatmap de los resultados en la correlación de Spearman

Modelo lineal múltiple:

Los resultados del modelo lineal múltiple (figura 3) muestran que Aquaboy (β = 0.29, p < 0.001) y CAP (β = 0.006, p < 0.001) tienen efectos positivos y altamente significativos sobre la facilidad de descorche, lo que indica que una mayor humedad del árbol y un mayor diámetro se asocian con un descorche más fácil. Por el contrario, la temperatura media mensual presenta un efecto negativo (β = −0.042, p = 0.042), sugiriendo que temperaturas más altas tienden a dificultar el proceso.

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

se_da=−3.46+0.29(Aquaboy)+0.006(CAP)−0.042(Temperatura media mensual)

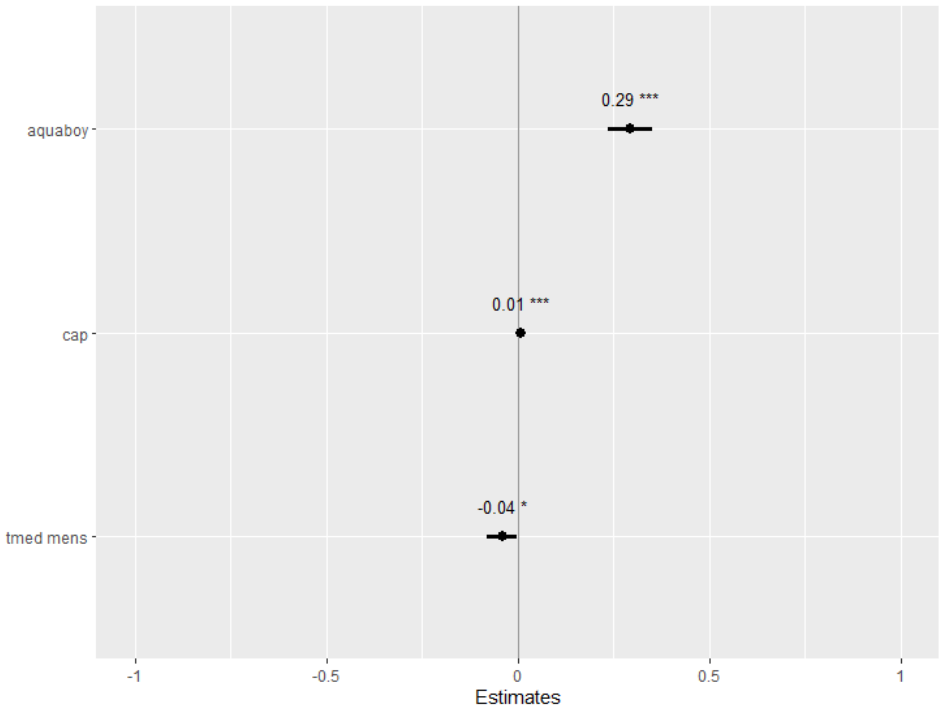
El modelo global es altamente significativo ($F(3,144) = 64.81$; $p < 0.001$) y explica aproximadamente el 57 % de la variabilidad observada en la facilidad de descorche ($R^2 = 0.574$). Además, los valores del factor de inflación de la varianza (VIF < 1.3) indican ausencia de colinealidad entre los predictores, confirmando la estabilidad del modelo.

Tabla 3. Resultados del modelo

Predictor	Estimación (β)	Error estándar	t	p-valor	Significación
(Intercepto)	-3.46	0.89	-3.89	0.0002	***
Aquaboy	0.29	0.03	10.20	< 0.001	***
CAP	0.006	0.002	3.90	< 0.001	***
Temperatura media mensual (tmed_mens)	-0.042	0.020	-2.06	0.042	*

Estadístico	*Valor*
R^2	0.574
R^2 ajustado	0.566
Error estándar de los residuos	1.02
F-statistic	64.81 (gl = 3,144)
p global del modelo	< 0.001

En conjunto, estos resultados indican que la facilidad de descorche está determinada principalmente por el estado hídrico del árbol y su tamaño, modulados negativamente por las condiciones térmicas del periodo previo al descorche.



Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU

ANCOVA

Los resultados del ANCOVA (tabla 4) mostraron diferencias significativas en todas las variables climáticas analizadas. La temperatura media mensual presentó el efecto más marcado ($p < 0.001$; $\eta^2 = 0.125$), indicando que las temperaturas fueron sistemáticamente distintas entre ambos grupos de descorche. De forma similar, la precipitación mensual también difirió significativamente ($p < 0.001$; $\eta^2 = 0.116$), mientras que la humedad relativa mensual mostró un efecto algo más moderado, aunque igualmente significativo ($p = 0.004$; $\eta^2 = 0.055$).

Tabla 4. Resultados de la ANCOVA

Variable climática	**p-ANOVA**	**η^2**	**Interpretación**
Temperatura media mensual	< 0.001	0.125	Diferencia significativa entre descorches fáciles y difíciles.
Precipitación mensual	< 0.001	0.116	Diferencia significativa
Humedad relativa mensual	0.004	0.055	Diferencia significativa, aunque con un efecto más pequeño.

En conjunto, estos resultados sugieren que las condiciones climáticas —especialmente la temperatura y la precipitación— influyen de manera significativa en la probabilidad de que el descorche se lleve a cabo con éxito, incluso tras controlar por las características físicas de los árboles.

Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la facilidad de descorche está condicionada por la interacción entre factores morfológicos, fisiológicos y climáticos. Entre las variables analizadas, Aquaboy —indicador del contenido hídrico en la capa madre— se mostró como el predictor más determinante, seguido de la circunferencia a la altura del pecho (CAP), mientras que la temperatura media mensual presentó un efecto negativo sobre la facilidad del descorche.

El efecto del contenido de humedad del árbol, relacionado con la disponibilidad hídrica y la temperatura, refuerza la idea de que las condiciones climáticas son elementos clave en el crecimiento, la actividad del felógeno y la capacidad de separación del corcho sin dañar la capa madre. Esto concuerda con observaciones previas: (Costa et al. 2002) señala que las condiciones climáticas, junto con la disponibilidad de agua y nutrientes, son factores determinantes del crecimiento, y que la actividad del cambium se mantiene mientras las condiciones ambientales sean favorables. Asimismo, Oliveira y Costa (2012), basándose en observaciones de Natividade (1938, 1950), destacan que cuando

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

la actividad primaveral del felógeno se ve inhibida por condiciones climáticas adversas, el descorche se dificulta y puede llegar a dañar los tejidos internos del tronco.

Costa et al. (2022) aporta información sobre la influencia del tamaño radial en el crecimiento del alcornoque, mostrando que el patrón y la estacionalidad del crecimiento radial son muy similares entre los árboles, independientemente de su diámetro, lo que sugiere que las diferencias en tamaño no implican necesariamente variaciones en la dinámica de crecimiento. Sin embargo, no se dispone de bibliografía que analice de forma directa cómo esta misma variable afecta la facilidad de extracción del corcho. Ante esta falta de información, es conveniente desarrollar estudios que relacionen el tamaño del árbol con la actividad del felógeno y la facilidad de saca, con el fin de determinar si existen umbrales morfológicos que condicionen la facilidad del descorche.

El efecto de las variables climáticas, aunque significativo en la correlación de Spearman, se atenúa al incorporar las demás variables en los modelos múltiples, lo que podría sugerir que el impacto del clima se manifiesta de forma indirecta a través del estado fisiológico del árbol. Los resultados del análisis de covarianza (ANCOVA) muestran que, incluso controlando por Aquaboy y CAP, las condiciones de temperatura y precipitación difieren entre los casos de descorche “fácil” y “difícil”. Esto refuerza la hipótesis de que los factores ambientales recientes —especialmente durante las semanas previas a la extracción— pueden afectar la facilidad de descorche, posiblemente a través de su influencia sobre la humedad de la capa madre y la actividad del felógeno. Estudios recientes apoyan esta idea: se ha observado que la disponibilidad de agua en los meses previos al descorche y las temperaturas moderadas de primavera influyen directamente sobre la actividad del felógeno y, de forma indirecta, en la facilidad de separación del corcho (Campelo, 2023; Bicho, 2024).

En este sentido, la tendencia observada hacia un adelanto en los procesos fenológicos (García-Mozo et al. 2006; Menzel et al. 2006) y a una intensificación de los veranos cálidos y secos en la región mediterránea, podría traducirse en un cambio en el periodo óptimo para la extracción del corcho.

Los resultados obtenidos sugieren, además, la necesidad de ampliar el enfoque de los modelos predictivos. Incluir variables que describan el vigor de la copa y el estado sanitario del árbol podría mejorar significativamente la capacidad explicativa del modelo, al capturar componentes adicionales del estado fisiológico. Del mismo modo, la ampliación de la escala temporal y espacial —con una red de fincas representativas de diferentes condiciones geográficas y climáticas— permitiría analizar con mayor precisión los efectos del clima y las variaciones interanuales en la facilidad del descorche.

En conjunto, este trabajo constituye un primer paso hacia la formalización de un modelo predictivo del descorche basado en variables climáticas y morfológicas, integrando evidencia empírica con conocimiento tradicional. El desarrollo de herramientas de predicción robustas contribuirá a optimizar la planificación de la saca, reduciendo el riesgo de daños al árbol y mejorando la eficiencia productiva.

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

Bibliografía

Bicho MC, Correia AC, Pinto C, et al (2024) More than the climate: reproductive and vegetative growth compete for resources in Quercus suber. Eur J For Res. https://doi.org/10.1007/s10342-024-01733-6

Campelo F, Rubio-Cuadrado Á, Montes F, et al (2023) Growth phenology adjusts to seasonal changes in water availability in coexisting evergreen and deciduous mediterranean oaks. For Ecosyst 10:. https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100134

Costa A, Graça J, Barbosa I, Spiecker H (2022) Effect of climate on cork-ring width and density of Quercus suber L. in Southern Portugal. Trees - Structure and Function 36:1711–1720. https://doi.org/10.1007/s00468-022-02321-0

Costa A, Pereira H, Oliveira Â (2002) Influence of climate on the seasonality of radial growth of cork oak during a cork production cycle. Ann For Sci 59:429–437. https://doi.org/10.1051/forest:2002017

Costa-e-Silva F, Correia AC, Pinto CA, et al (2021) Effects of cork oak stripping on tree carbon and water fluxes. For Ecol Manage 486:118966. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118966

García-Mozo H, Galán C, Jato V, et al (2006) Quercus pollen season dynamics in the Iberian Peninsula: Response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 13:209–224

Gil L (2015) Cork: Sustainability and new applications. Front Mater 1:2014–2016. https://doi.org/10.3389/fmats.2014.00038

Menzel A, Sparks TH, Estrella N, et al (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. Glob Chang Biol 12:1969–1976. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x

Oliveira G, Correia O, Martins-Loução MA, Catarino FM (1994) Phenological and growth patterns of the Mediterranean oak Quercus suber L. Trees 9:41–46. https://doi.org/10.1007/BF00197868

Oliveira G, Costa A (2012) How resilient is Quercus suber L. to cork harvesting? A review and identification of knowledge gaps. For Ecol Manage 270:257–272. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.025

Pereira H (2007) The formation and growth of cork. In: Cork: biology, production and uses, 1st edn. Elsevier Science, Amsterdam, London, pp 7–31

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU