



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

9CFE-1262

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

Inventarios bienales pie a pie (2011-2019) de monte alcornocal joven en la Sierra Morena de Sevilla. Variables selvícolas para toda la masa sin desbornizar.

GALLARDO, F.

Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Resumen

Se realizan 5 inventarios bienales pie a pie, entre 2011 y 2019, para estudiar variables selvícolas de bornizo. Los resultados muestran que la masa a los 34 años de edad (2019) tiene un perímetro normal sobre bornizo (CSB) medio de 81,76 cm, un perímetro basimétrico (Pb, suma de todos los perímetros normales en una hectárea) de 186,57 m/ha y un área basimétrica (Ab, suma de todas las secciones normales en una hectárea) de 13,31 m²/ha. Se determina el crecimiento en términos absolutos y relativos de las variables CSB, Pb y Ab, siendo el crecimiento medio en diámetro de 7,7 mm/año (ima) y el crecimiento corriente anual de 7,1 mm/año (ica). A su vez, mediante la intersección de las curvas del crecimiento medio anual (ima) y del crecimiento corriente anual (ica), de la circunferencia normal sobre bornizo (CSB), determinamos que el perímetro mínimo para la primera saca, en este monte es de 67,7 cm. Dicho valor es cercano a la cifra de 65 cm, obligada por normativa como mínima para el desbornizamiento, y que sin embargo, rara vez se calcula en bibliografía o se estima empíricamente, y que en este estudio si hemos determinado.

En el presente estudio, gracias al cálculo del crecimiento de perímetro basimétrico y de área basimétrica, determinamos que el incremento de producción anual de bornizo, en este monte, está situado entre 62,5 y 115,8 kg/ha, según sea la zona estudiada, para alturas de desbornizamiento de 1,46 a 1,51 m y entre las edades de 26 y 34 años. Producciones interesantes teniendo en cuenta que la media en España (146 kg/ha) y en Portugal (226 kg/ha) son para alturas de descorche mayores.

La producción estimada total de bornizo, a los 34 años de edad de la masa, se sitúa entre 1.739,8 y 2.885,8 kg/ha, según la zona que consideremos del alcornocal estudiado y para alturas de desbornizamiento de 1,46 a 1,51 m.

Finalmente, determinamos que en este monte la edad teórica óptima para la primera saca es de 28,2 años.

Palabras clave

Alcornoque, *Quercus suber*, bornizo, crecimiento, ica, ima

1. Introducción

España es el segundo productor de corcho, y segundo país en superficie de alcornocal (*Quercus suber* L.), después de Portugal; y la productividad media nacional de corcho en España, de 146 kg/ha, es mucho menor que en Portugal, que asciende a 226 kg/ha; el principal factor en la diferencia de productividad es el paulatino deterioro sufrido por las

masas en los últimos decenios, causado por la falta de regeneración arbórea y la presión humana y ganadero/cinegética (CARRERO, 2015). Para atenuar la primera de las causas, se han llevado a cabo numerosas repoblaciones de alcornoque en nuestro país en las últimas décadas y VERDUM et al. (2020) estiman un incremento futuro de 10.000 toneladas anuales de bornizo y corcho secundario. Siendo, por tanto, muy interesante estudiar cual está siendo la productividad real y potencial de estos nuevos alcornocales en distintas calidades de estación.

Igualmente, en Portugal, desde la década de los 80 del pasado siglo, los nuevos alcornocales jóvenes implantados ocupan unas 100.000 hectáreas (ICNF, 2019). Estudiándose por FIRMINO et al (2023), en el citado país, cómo la distancia entre árboles influye en el desarrollo del diámetro normal y en la altura en este tipo de plantaciones sin desbornizar; y destacando que las diferencias en las tendencias de crecimiento del corcho, entre árboles sin desbornizar y árboles en producción, requiere un enfoque distinto en la modelización del crecimiento del diámetro, lo que hace más evidente la falta de modelos relativos a este periodo inicial de vida.

El crecimiento del corcho, junto con otras variables selvícolas, ha sido estudiado en diversos estudios (MONTERO, 1987; MONTERO y VALLEJO, 1992; MONTERO et al., 1993, 1996; TORRES et al., 1997; SUÁREZ et al., 2005; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, 2006; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ et al., 2007a); y también cuando se trata de bornizo específicamente (CUEVAS, 1995; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ et al., 2007b; BENITO et al., 2022; GALLARDO, 2022).

Encontramos, a su vez, estudios del crecimiento periódico, corriente y medio anual para el corcho (ALAEJOS et al., 2009; DEHANE, 2019).

Finalmente, MECHERGUI et al. 2022, revisan los problemas y soluciones de la regeneración de alcornoque en la zona mediterránea y LANZO, 2015, recomienda una serie de buenas prácticas suberícolas en masas jóvenes de alcornoque.

2. Objetivos

El objetivo de este estudio se centra en calcular variables selvícolas de bornizo para toda la masa sin desbornizar que sirvan para la toma de decisiones en la gestión forestal.

Pretendemos ordenar los pies en clases perimétricas (así como diamétricas) desbornizables, según el perímetro sobre bornizo a una altura de 1,30 m; así como, estudiar el perímetro normal, su crecimiento y generar fórmulas para determinarlo; y calcular el crecimiento en términos absolutos y relativos de las variables CSB, Pb y Ab.

Por otro lado, queremos determinar la edad teórica del primer desbornizamiento para esta calidad de estación, así como la circunferencia o diámetro para esta primera saca. Nos ayudaremos con uno de los criterios de cortabilidad técnico-forestales, en este caso, el criterio de la máxima producción en especie. Para ello calcularemos las curvas ima (crecimiento medio anual) e ica (crecimiento corriente anual) de la circunferencia normal sobre bornizo y hallaremos su intersección.

Igualmente pretendemos obtener la productividad anual y total de bornizo a partir del crecimiento de perímetro basimétrico y del área basimétrica.

3. Metodología

3.1. Descripción del área de estudio

Se trata de un monte alcornocal fustal joven medio (GALLARDO, 2022), que a fecha de los inventarios de este estudio estaba sin desbornizar.

El alcornocal, sembrado en 1985, se encuentra en la finca Rebollar, en Constantina, Sevilla, en la región de procedencia Sierra Morena Occidental-Sierras Meridionales, y la zona está protegida con la figura legal de Parque Natural Sierra Morena de Sevilla y Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena. El estado sanitario de la masa es bueno.

Se diferencian tres zonas: la zona 1 en llano y la 2 en pendiente (orientación sur), ambas masas puras, y una zona 3 en pendiente (orientación sur y suroeste), masa mixta de alcornoques, olivos y encinas. Los pies están distribuidos en líneas Norte-Sur y Este-Oeste (GALLARDO, 2022).

La fracción de cabida cubierta en 2020 es alta en las zonas 1 y 2 (figura 1), siendo frecuente el contacto entre las copas.



Figura 1. Foto aérea del alcornocal. 2020. Fuente: Google Maps. (GOOGLE, 2020)

3.2. Toma de datos

Los inventarios bienales pie a pie de 2011, 2013, 2015, 2017 y 2019 se realizan en verano. En el trabajo de gabinete se introducen los datos de los estadillos en papel a tablas Excel (hoja de cálculo) y se realizan los cálculos con este programa informático (LÓPEZ, 2018).

3.3. Numeración de los árboles

A cada árbol se le asigna, en el estadillo del inventario, un número identificativo, correlativo y único, que no se transfiere a otro árbol. Al estar dispuestas las líneas de siembra en dirección Sur-Norte, se empieza numerando los pies siguiendo la línea de siembra en sentido de Sur a Norte y una vez terminada de numerar una fila, la numeración avanza por líneas desde el Oeste al Este. Primero se numera la zona 1, luego con la misma sistemática la 2 y finalmente la 3. Se consigue así un sistema de numeración de árboles seguro y permanente, que permite identificar con certeza a cada alcornoque en campo.

3.4. Descripción de las mediciones y variables calculadas

Pretendemos en este artículo estudiar el bornizo, y en otros posteriores, además del bornizo, estudiar el corcho segundero y los distintos corchos de reproducción, por lo que proponemos usar B para variables de bornizo, CG para segundero y CR para reproducción, usándose C para cuando no se especifica o al contrario se refiere al conjunto de todos ellos, así, por ejemplo, el perímetro normal sobre bornizo o corcho sería: CSB, CSCG, CSCR y CSC.

En los inventarios se realizan las siguientes

-CSB: Circunferencia o perímetro normal sobre bornizo (cm)

Se calculan las siguientes **variables de árbol**:

-DSB: Diámetro normal sobre bornizo (cm)

-SNSB: Superficie normal sobre bornizo (cm²)

Se calculan los siguientes :

-Pb: Perímetro basimétrico sobre bornizo (m/ha) (GALLARDO, 2022)

-Ab: Área basimétrica sobre bornizo (m²/ha)

-N: Número de pies por hectárea

Se calculan los siguientes :

-CP: Clases perimétricas (cm)

-CD: Clases diamétricas (cm)

-Clases naturales de edad (cm)

-S: Superficie (ha)

-ip: Crecimiento periódico para las variables CSB (cm), DSB (cm), Pb (m/ha) y Ab (m²/ha)

-ica: Crecimiento corriente anual para las variables CSB (cm/año y árbol), DSB (cm/año y árbol), Pb (m/ha y año) y Ab (m²/ha y año)

-ima: Crecimiento medio anual para las variables CSB (cm/año y árbol), DSB (cm/año y árbol), Pb (m/ha y año) y Ab (m²/ha y año)

-P%i: Crecimiento relativo sobre el valor inicial para las variables CSB (%), DSB (%), Pb (%) y Ab (%)

Una vez calculadas las variables selvícolas anteriores, se calcula la variable de producción de peso estimado de bornizo por hectárea:

-PBHA: peso estimado de bornizo por hectárea (kg/ha) (GALLARDO, 2022)

dependiente de:

-HDBmedia: Altura de desbornizamiento media de la masa (m) (GALLARDO, 2022)

-PBM2medio: peso de bornizo desbornizado por metro cuadrado medio de la masa sobre bornizo (kg/m²) (GALLARDO, 2022)

-IDmedia1 y IDmedia2: Intensidad de desbornizamiento media de la masa sobre bornizo (sin unidades) (GALLARDO, 2022)

Las fórmulas del presente estudio se numeran con corchetes [x] según el orden de aparición en el apartado “4. Resultados”. A su vez, se emplea [x] para perímetro, y en el caso de sus equivalencias, [x'] para diámetro y [x''] para radio.

3.5. Perímetros normales

Las mediciones de los perímetros normales sobre bornizo, CSB, se realizan con cinta métrica a 1,30 m en todos los árboles de la masa. Para CSB de 2011 a 2019, las mediciones se realizan en centímetros. Se ha de tener en cuenta la irregularidad del tronco con bornizo, con sus entrantes y salientes, lo que hace que la medición hasta el centímetro la consideremos adecuada. Además, el artículo 75 del Anexo I de las Instrucciones Generales para la Ordenación de Montes de la Comunidad Autónoma de Andalucía (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2022), en adelante las Instrucciones, indica “con aproximación al centímetro”.

La medición de CSB se realiza a 1,30, teniendo en cuenta la casuística clásica prevista en dasimetría (árboles inclinados, árboles en pendiente, árboles bifurcados, engrosamientos a 1,30 m, etc.).

El subíndice “x” en la nomenclatura de CSB_x , indica la edad de la masa, siendo, por ejemplo, $x=26$ la edad de la masa a los 26 años (en 2011), y $x=34$ la edad de la masa a los 36 años (en 2019).

3.6. Perímetro mínimo desbornizable CSB mínimo

La legislación andaluza (JUNTA DE ANDALUCÍA, 1988) marca 65 cm de perímetro normal, CSB, como límite inferior para realizar el desbornizamiento. Los recientes PRUG de los Parques Naturales Sierra Morena de Sevilla, Sierra de Aracena y Picos de Aroche (Huelva) y Sierra de Hornachuelos (Córdoba), que integran la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena, obligan a 70 cm (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2024).

Para esta calidad de estación del alcornocal estudiado, GALLARDO, 2019, recomienda el valor de 100 cm para no envejecer prematuramente al árbol; a su vez, durante las sacas de bornizo de 2019 y 2020, en la zona del estudio para 109 alcornoques, el perímetro normal medio desbornizado fue de 113 cm (GALLARDO, 2022).

3.7. Clases perimétricas CP

Para ordenar los pies, trabajamos con clases perimétricas no desbornizables para árboles de CSB menor de 70 cm y clases perimétricas desbornizables para árboles de más de 70 cm. En nuestro estudio cada clase tiene una amplitud de 5 cm. Autores como SUÁREZ et al., 2005, emplean la denominación de clase de circunferencia, de amplitud 10 cm, desde la clase 70-80, por lo que la marca de clase coincidiría con 65 cm en la citada clase. En la tabla 1 se muestra la amplitud de clase elegida por distintos autores y los límites de las clases perimétricas en sus estudios, incluido el presente artículo.

Tabla 1. Amplitud de clase perimétrica y clases perimétricas inferiores y superiores en distintos estudios, incluido el actual.

Amplitud de clase perimétrica (cm)	Autor	Año	Clases perimétricas inferiores (cm)	Clases perimétricas superiores (cm)
5	MONTERO et al.	1996	45-50	225-230
			50-55	230-235
5	GALLARDO	2025	29	140-144
			10-14	145-149
10	MONTERO y CAÑELLAS	1999	60	200
			70	>200
10	SUÁREZ et al.	2005	70-80	130-140
			80-90	140-150
10	MONTERO y LÓPEZ	2008	60	200
			70	>200
10	MONTERO y LÓPEZ	2008	65-74	185-194
			75-84	195-204
10	MONTERO y CAÑELLAS	2003	60	200
			70	>200
15	MONTERO y CAÑELLAS	2003	<60	166-180
			61-75	181-195
15	MONTERO y LÓPEZ	2008	<60	286-300
			61-75	>300
15	GALLARDO	2025	16-30	121-135
			31-45	136-150
20	CUEVAS	1995	30-49	70-89
			50-69	90-109
20 y 40	CUEVAS	1995	<50	90-129
			50-69	>130
32	MONTERO y VALLEJO	1992	75-107	172-204
			107-140	>204

Las Instrucciones nos hablan de clases diamétricas y perimétricas. Dado que los datos de inventario recogidos figuran en función del perímetro, elegimos en nuestro estudio por comodidad y rapidez las clases perimétricas, y dado el uso más generalizado de las clases diamétricas en dasometría también usaremos éstas.

En sus artículos 75 y 69 del Anexo I, las Instrucciones indican que la amplitud de las clases diamétricas sea de 5 centímetros, pudiéndose justificar otros rangos (lo que viene a ser una amplitud de clase perimétrica de 15,71 cm). Sin embargo, hemos usado el valor de 5 cm de amplitud de clase perimétrica, siendo muy inferior al de la normativa. Esto se

debe, por un lado, a nuestro afán por una mayor precisión en la caracterización de las clases, y por otro, al hecho de que para los valores 70 y 100 (según sea el criterio aplicado como límite del desbornizamiento) es la amplitud 5 la que genera múltiplos y submúltiplos enteros que coinciden con ambos valores. Además, usaremos la amplitud de clase perimétrica de 15 cm para poder hacer comparativas con los resultados del estudio de MONTERO y CAÑELLAS, 2003.

En el artículo 64 del Anexo I se recomienda que el diámetro mínimo inventariable de los pies mayores sea de 10 cm, salvo que se justifique debidamente otro valor (lo que viene a ser un perímetro normal de 31,42 cm). Sin embargo, nosotros tomamos un valor de 10 cm de perímetro normal como el mínimo inventariable, muy inferior al de la normativa, obteniendo 5 clases perimétricas inferiores a 31,42 cm. Esta decisión se toma porque consideramos importante conocer cuantas más clases mejor y de forma pormenorizada, para poder tener una previsión lo más detallada posible de los árboles que se van acercando al perímetro de 70 cm y que en los próximos inventarios se integrarán en las clases perimétricas desbornizables.

3.8. Clases diamétricas CD

Con la forcípula se toman datos de diámetro más rápidamente que con cinta métrica los perímetros, aunque estos últimos puedan resultar en general más precisos. Dado que la mayoría de los inventarios actuales de las distintas especies forestales españolas están realizados a partir de clases diamétricas y siendo, por tanto, estas más comunes en bibliografía, que las clases perimétricas, propias de la subercultura, hemos presentado en nuestro estudio la equivalencia entre ambas. Usaremos la amplitud de clase diamétrica de 1,5 y 4,46 cm, equivalentes respectivamente a 5 y 15 cm en clase perimétrica citadas en el apartado anterior.

En la tabla 2 se muestra la amplitud de clase elegida por distintos autores, marcas de clase en algunos casos, y los límites de las clases diamétricas en sus estudios, incluido el presente artículo.

Tabla 2. Amplitud de clase diamétrica y clases diamétricas inferiores y superiores en distintos estudios, incluido el actual.

Amplitud de clase diamétrica (cm)	Autor	Año	Clases diamétricas inferiores (cm)	Clases diamétricas superiores (cm)
1,5=	GALLARDO	2025	? 3,1	44,6-46,1
5/ ?			3,2-4,7	46,2-47,7
1 y 1,5	MONTERO y LÓPEZ	2008	7,0-8,0	84,5-85,5
			11,0-12,5	87,5-88,5
2,5	MONTERO y LÓPEZ	2008	<2,5	60
			5	65
4,46=	GALLARDO	2025	5,1-9,5	38,5-43
15/ ?			9,9-14,3	43,3-47,7
5	MONTERO y LÓPEZ	2008	10	60
			15	65
5	SÁNCHEZ-GONZÁLEZ et al.	2007a	<10	40-45
			11-15	>45
10	MONTERO y LÓPEZ	2008	10	50
			20	60
10	MONTERO y CAÑELLAS	2003	20-29	70-79
			30-39	80-89

3.9. Perímetro basimétrico Pb

De forma similar al área basimétrica, basada en diámetros normales, GALLARDO, 2022, desarrolla el concepto de perímetro basimétrico, basado en perímetros normales y definido como el sumatorio de todos los perímetros normales de la masa dividido entre la superficie total de la misma.

[4] Perímetro basimétrico

$$Pb \left(\frac{m}{ha} \right) = \frac{\sum CSB (m)}{S (ha)}$$

3.10. Área basimétrica Ab

[6] Área basimétrica

$$Ab \left(\frac{m^2}{ha} \right) = \frac{\sum SNSB (m^2)}{S (ha)}$$

3.11. Crecimiento en términos absolutos

Se calcula el crecimiento periódico (ip), el crecimiento corriente anual (ica) y el crecimiento medio anual (ima) para las variables CSB, DSB, Pb y Ab.

Según el autor LÓPEZ (2019) las fórmulas, adaptadas a nuestra variable CSB y caso de edades, serían las siguientes:

[9] Crecimiento periódico de CSB

$$ip_{26-34} = CSB_{34} - CSB_{26}$$

[10] Crecimiento corriente anual de CSB

$$ica_{26-34} = \frac{CSB_{34} - CSB_{26}}{8}$$

[11] Crecimiento medio anual de CSB

$$ima_{0-34} = \frac{CSB_{34} - CSB_0}{34} = \frac{CSB_{34}}{34}$$

3.12. Crecimiento en términos relativos

Se ha calculado el crecimiento relativo sobre el valor inicial (P%i) para las variables CSB,

DSB, Pb y Ab.

Según el autor LÓPEZ (2019) la fórmula, adaptada a nuestra variable CSB y caso de edades, sería la siguiente:

[12] Crecimiento relativo de CSB sobre el valor inicial

$$P\%_{0i} = \frac{ica_{26-34}}{CSB_{26}} * 100 = \left(\frac{CSB_{34} - CSB_{26}}{CSB_{26}} \right) * \left(\frac{100}{8} \right)$$

3.13. Producción media anual y total de bornizo

Calculamos la media anual de bornizo para el periodo de 26 a 34 años y la producción total para los 34 primeros años, a través de las fórmulas propuestas por GALLARDO, 2022:

$$PBHA \left(\frac{kg}{ha} \right) = Pb \left(\frac{m}{ha} \right) * HDBmedia(m) * PBM2medio \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

y

$$PBHA \left(\frac{kg}{ha} \right) = Ab \left(\frac{m^2}{ha} \right) * IDmedia * PBM2medio \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

3.14. Método de análisis empleado

Las figuras con rectas de regresión, así como las fórmulas que se obtienen, se realizan con el programa informático Excel, tal y como LÓPEZ, 2018, explica para la determinación de “Tarifas de cubicación de una entrada con Excel”. Respecto de los datos obtenidos de crecimiento, usamos este mismo programa según las indicaciones de LÓPEZ, 2019, en “Epidimetría VI. Definiciones de crecimiento en terminología forestal. Como prever el desarrollo de árboles y masas forestales”. La desviación estándar y el error estándar de este estudio proceden del cálculo que ofrece el programa Excel.

4. Resultados

4.1. Clases perimétricas desbornizables y no desbornizables.

Realizamos cinco inventarios, en 2011, 2013, 2015, 2017 y 2019, con edades de 26, 28, 30 (figura 2), 32 y 34 años respectivamente.



Figura 2. Imagen de la zona 1 y 2 con alcornoques de 30 años. Julio 2015. Fuente: Street View de Google. (GOOGLE, 2015)

Para ordenar los pies, trabajamos con clases perimétricas no desbornizables para árboles con CSB menor de 70 cm (ver tabla 3) y clases perimétricas desbornizables para árboles de más de 70 cm (ver tabla 4 y 5), usando una amplitud de clase de 5 cm; así como mostramos la similitud con las clases diamétricas, con la equivalencia de los valores de DSB, usando esta vez una amplitud de clase de 1,5 cm.

Tabla 3. Clases perimétricas no desbornizables (CSB<70 cm) y clases diamétricas no desbornizables (DSB<22,3 cm). Frecuencia absoluta (número de pies por clase)

Clases perimétricas no desbornizables (CSB<70 cm) y clases diamétricas no desbornizables (DSB<22,3 cm)														
Amplitud CP: 5 cm	? 9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65- 69	?69
Amplitud CD: 1,5 cm	? 3,1	3,2-4,7	4,8-6,3	6,4-7,9	8,0-9,4	9,5-11,0	11,1-12,6	12,7-14,2	14,3-15,8	15,9-17,4	17,5-19,0	19,1-20,6	20,7-22,2	? 22,2
2011	2	5	8	16	11	14	12	17	19	26	38	31	36	235
2013	9	2	9	10	12	10	9	18	15	26	25	40	28	213
2015	41	0	6	5	13	10	9	12	18	13	25	27	37	216
2017	33	0	3	4	8	10	9	10	12	18	16	27	29	179
2019	16	0	1	2	4	11	9	9	7	16	18	15	36	144

Tabla 4. Clases perimétricas desbornizables (70?CSB?99 cm) y clases diamétricas desbornizables (22,3?DSB?31,7 cm). Frecuencia absoluta (número de pies por clase)

Clases perimétricas desbornizables (70?CSB?99 cm) y clases diamétricas desbornizables (22,3?DSB?31,7 cm)							
Amplitud CP: 5 cm	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	70-99
Amplitud CD: 1,5 cm	? 22,3-23,8	? 23,9-25,4	? 25,5-27,0	? 27,1-28,5	? 28,6-30,1	? 30,2-31,7	? 22,3-31,7
2011	32	40	27	19	17	15	150
2013	37	32	40	20	18	17	164
2015	31	31	38	27	27	21	175
2017	36	21	36	34	25	26	178
2019	28	34	29	29	28	27	175

Tabla 5. Clases perimétricas desbornizables (CSB?100 cm) y clases diamétricas desbornizables (DSB?31,8 cm). Frecuencia absoluta (número de pies por clase)

Clases perimétricas desbornizables (CSB > 100 cm) y clases diamétricas desbornizables (DSB > 31,8 cm)											
Amplitud	100-104	105-109	110-114	115-119	120-124	125-129	130-134	135-139	140-144	145-149	>100
CP: 5 cm											
Amplitud CD: 1,5 cm	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
	31,8-33,3	33,4-34,9	35,0-36,5	36,6-38,1	38,2-39,7	39,8-41,3	41,4-42,9	43,0-44,5	44,6-46,1	46,2-47,7	>31,8
2011	6	10	3	3	2	0	0	0	0	0	24
2013	16	8	4	6	4	1	0	0	0	0	39
2015	18	11	10	7	5	3	2	1	0	0	57
2017	20	21	13	10	9	3	5	1	1	0	83
2019	25	20	22	9	10	9	3	4	1	1	104

En la figura 3 observamos la evolución de las distintas clases perimétricas.

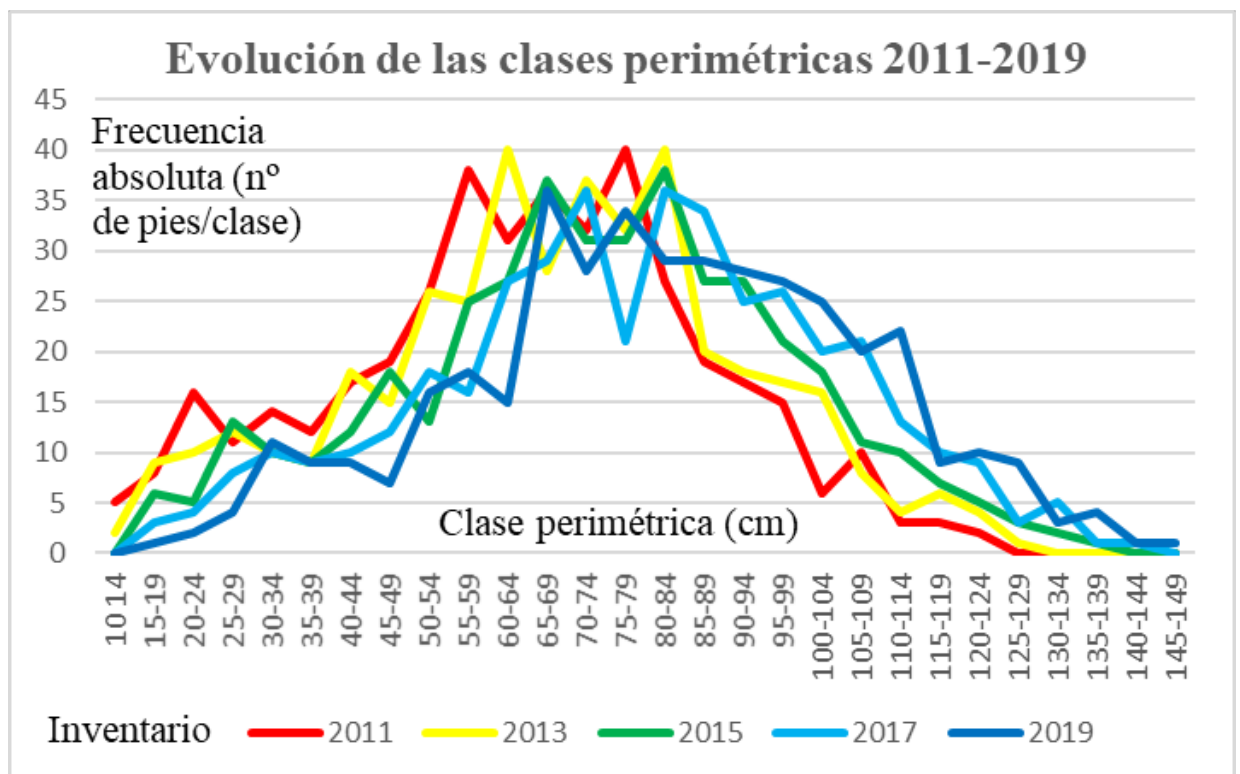


Figura 3. Evolución de las clases perimétricas (2011-2019).

En la figura 4 observamos la media de pies mayores por hectárea en cada clase

perimétrica para una edad de la masa de 26 a 34 años.

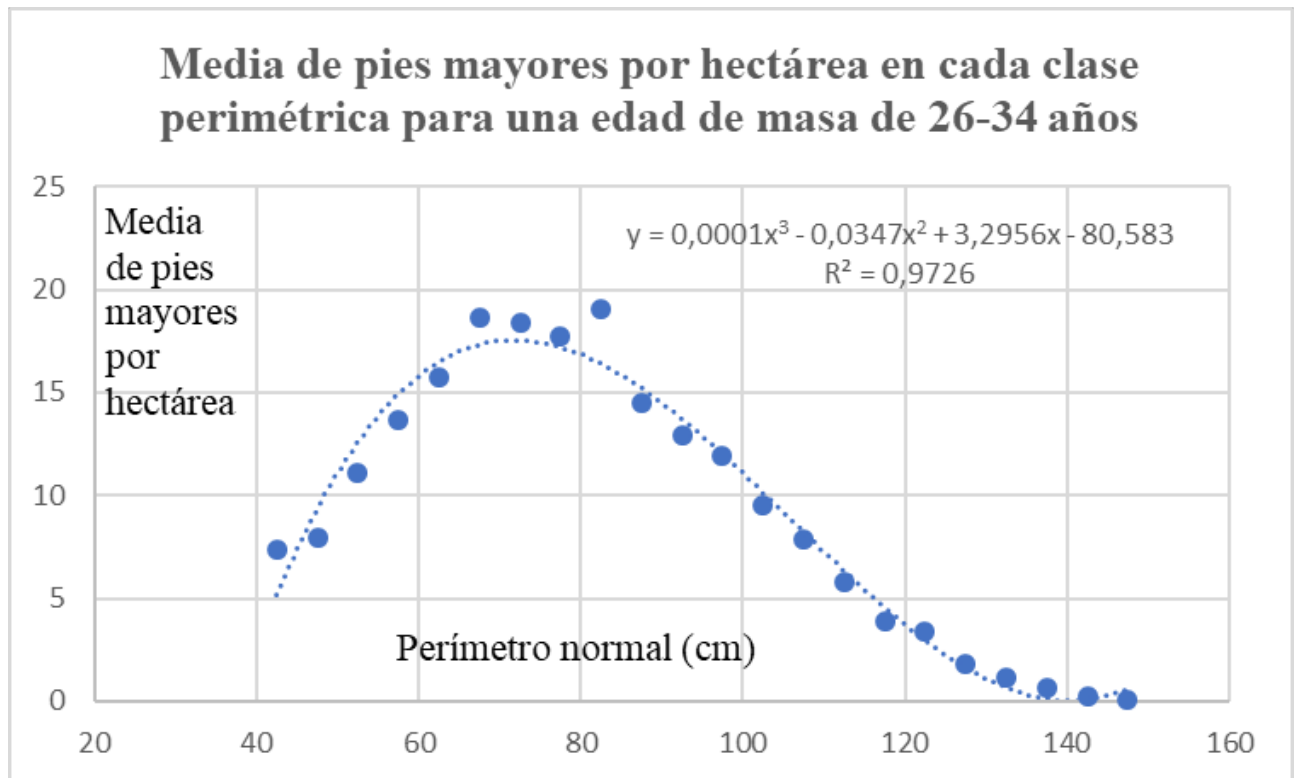


Figura 4. Media de pies mayores (perímetro normal ≥ 40 cm o diámetro normal $\geq 12,73$ cm) por hectárea en cada clase perimétrica para una edad de la masa de 26 a 34 años.

[1]Pies mayores por hectárea en cada Clase Perimétrica

$$y = 0,0001x^3 - 0,0347x^2 + 3,2956x - 80,583$$

Siendo “y” los pies mayores por hectárea y “x” el perímetro normal (marca de la clase perimétrica).

4.2. Perímetro normal sobre bornizo y su crecimiento

En la tabla 6 observamos los perímetros normales medios obtenidos en los distintos inventarios; a su vez, incorporamos la equivalencia a diámetro normal.

Tabla 6. Valores de perímetro normal (CSB) (cm) mínimo, máximo y promedio en los inventarios 2011-2019 para $n=407$. Equivalencia a diámetro normal.

Perímetro normal CSB (cm) en los inventarios 2011-2019 (n=407)					
Año	2011	2013	2015	2017	2019
CSB _{Edad}	CSB ₂₆	CSB ₂₈	CSB ₃₀	CSB ₃₂	CSB ₃₄
Mínimo*	10	11	15	17	18
Medio**	63,99	68,00	73,21	77,85	81,76
Máximo***	122	128	138	142	147
Equivalencia a diámetro normal DSB (cm) en los inventarios 2011-2019 (n=407)					
DSB _{Edad}	DSB ₂₆	DSB ₂₈	DSB ₃₀	DSB ₃₂	DSB ₃₄
Mínimo*	3,2	3,5	4,8	5,4	5,7
Medio**	20,4	21,6	23,3	24,8	26,0
Máximo***	38,8	40,7	43,9	45,2	46,8

*Valor mínimo alcanzado por un pie en concreto; ** Valor medio para n=407; *** Valor máximo alcanzado por un pie en concreto

En la figura 5 vemos la variación del perímetro normal (CSB) de 2011 a 2019 (a lo largo de 8 años en 407 árboles). Obtenemos a su vez la función lineal para estimar su crecimiento futuro (condicionantes: CSB₂₆ entre 10 y 122 cm y CSB₃₄ entre 18 y 147 cm):

[2] Crecimiento del perímetro normal

$$CSB_{34} (cm) = 1,0444 * CSB_{26} (cm) + 14,932$$

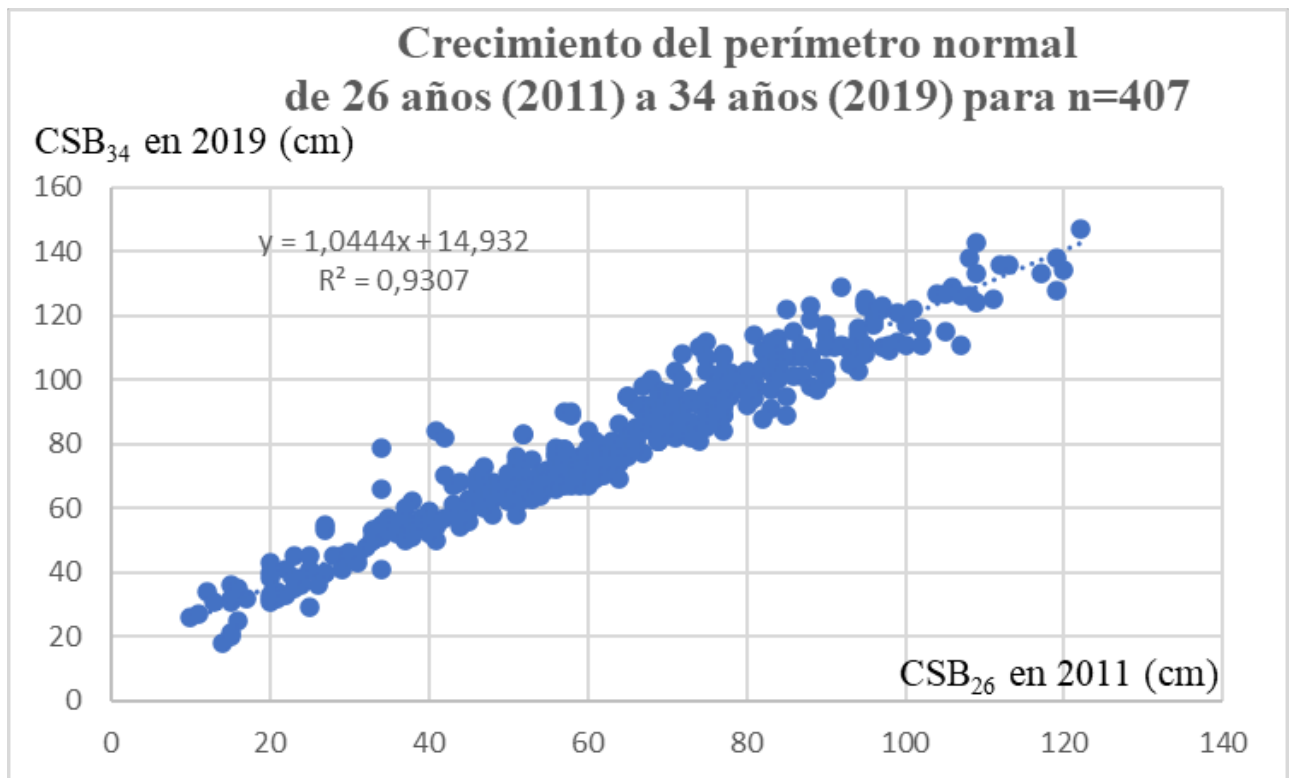


Figura 5. Crecimiento del perímetro normal en toda la masa sin desbornizar de 26 años (2011) a 34 años (2019).

La fórmula obtenida en toda la masa sin desbornizar (n=407) para perímetros normales tiene su equivalencia para diámetros y radios normales:

[2] Crecimiento del perímetro normal

$$CSB_{34} (cm) = 1,0444 * CSB_{26} (cm) + 14,932$$

[2'] Crecimiento del diámetro normal

$$DSB_{34} (cm) = 1,0444 * DSB_{26} (cm) + 4,7529$$

[2''] Crecimiento del radio normal

$$RSB_{34} (cm) = 1,0444 * RSB_{26} (cm) + 2,3765$$

R^2 , 0,9307, es el mismo para las tres fórmulas.

En la primera fórmula el término independiente está en función de ? (3,1416) y es múltiplo del término independiente de la tercera fórmula, así como el término independiente de la segunda es múltiplo del de la tercera fórmula, por lo que podemos expresarlas también como:

[2] Crecimiento del perímetro normal

$$CSB_{34} (cm) = 1,0444 * CSB_{26} (cm) + 2 * \pi * 2,3765$$

[2'] Crecimiento del diámetro normal

$$DSB_{34} (cm) = 1,0444 * DSB_{26} (cm) + 2 * 2,3765$$

[2''] Crecimiento del radio normal

$$RSB_{34} (cm) = 1,0444 * RSB_{26} (cm) + 2,3765$$

Por tanto, podemos generalizar las ecuaciones lineales que estiman el crecimiento normal futuro:

[2] Crecimiento del perímetro normal

$$CSB_n = a * CSB_{n-x} + 2 * \pi * b$$

[2'] Crecimiento del diámetro normal

$$DSB_n = a * DSB_{n-x} + 2 * b$$

[2''] Crecimiento del radio normal

$$RSB_n = \alpha * RSB_{n-x} + b$$

Acabamos de aportar la ecuación para predecir el crecimiento futuro de CSB y a raíz de ella las ecuaciones para DSB y RSB. En el caso teórico de $R = 1$, que no se nos dará en campo por la variabilidad individual de cada alcornoque, podríamos calcular también las ecuaciones para estimar cual fueron los CSB, DSB y RSB pasados. Estaríamos buscando estas fórmulas:

[3] Estimación de un perímetro normal pasado

$$CSB_{n-x} = \alpha' * CSB_n + 2 * \pi * b'$$

[3'] Estimación de un diámetro normal pasado

$$DSB_{n-x} = \alpha' * DSB_n + 2 * b'$$

[3''] Estimación de un radio normal pasado

$$RSB_{n-x} = \alpha' * RSB_n + b'$$

Si trabajamos con las fórmulas:

$$CSB_n = \alpha * CSB_{n-x} + 2 * \pi * b$$

$$CSB_{n-x} = \alpha' * CSB_n + 2 * \pi * b'$$

y despejamos en la primera ecuación

$$CSB_{n-x}$$

obtenemos:

$$CSB_{n-x} = \frac{CSB_n - 2\pi b}{\alpha} = \frac{1}{\alpha} * CSB_n - \frac{1}{\alpha} * 2\pi b$$

lo igualamos a la segunda ecuación:

$$\alpha' * CSB_n + 2 * \pi * b' = \frac{1}{\alpha} * CSB_n - \frac{1}{\alpha} * 2\pi b$$

y obtenemos que:

$$\alpha' = \frac{1}{\alpha} \quad y$$

$$b' = -\frac{b}{\alpha}$$

De esta forma, con la ecuación del crecimiento del perímetro normal podríamos deducir 5 fórmulas más. Pero como R^2 es 0,9307 y no 1, hemos de averiguar a' y b' con los datos de campo, como se observa en la figura 6:

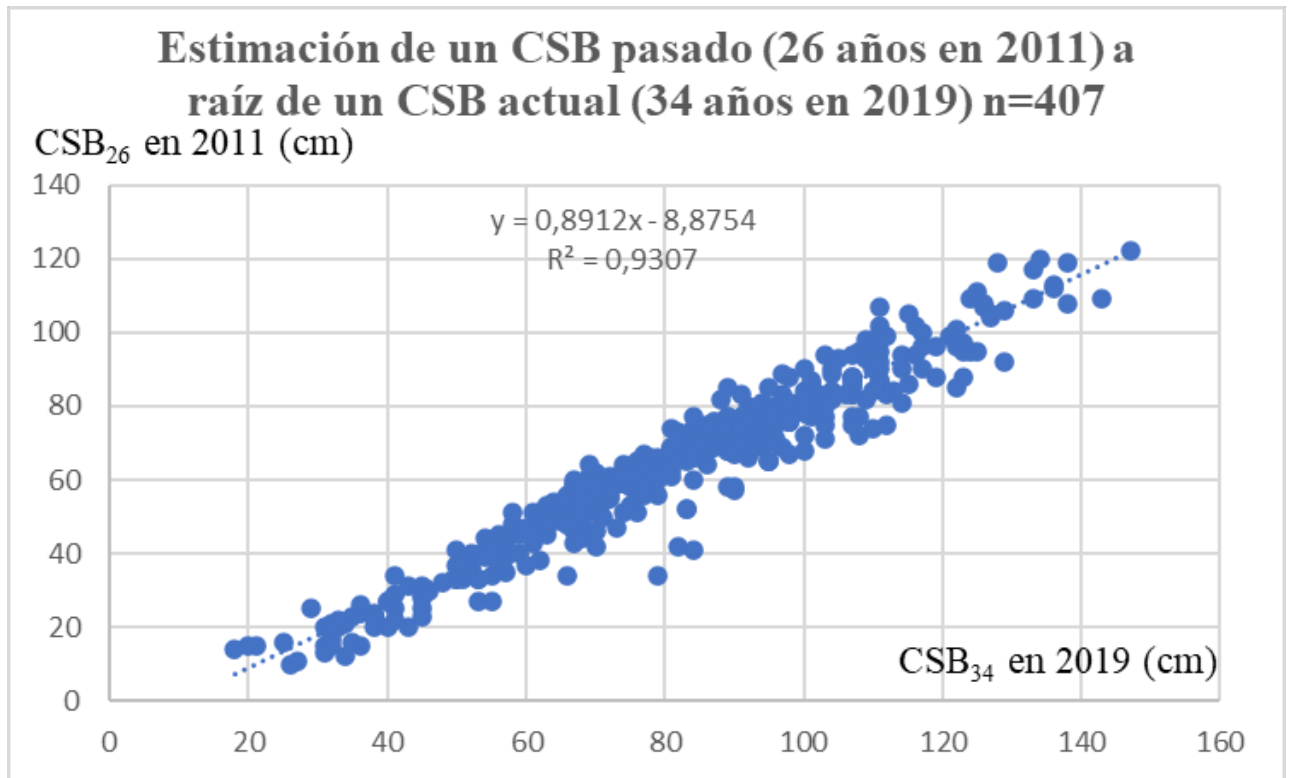


Figura 6. Estimación de un CSB pasado (2011) a raíz de un CSB actual (2019) en toda la masa sin desbornizar.

De la figura anterior obtenemos:

[3] Estimación de un perímetro normal pasado

$$CSB_{26} (cm) = 0,8912 * CSB_{34} (cm) - 8,8754$$

Como ya explicamos al inicio de este apartado, a partir de esta fórmula podemos obtener:

[3'] Estimación de un diámetro normal pasado

$$DSB_{26} (cm) = 0,8912 * DSB_{34} (cm) - 2,8251$$

[3''] Estimación de un radio normal pasado

$$RSB_{26} (cm) = 0,8912 * RSB_{34} (cm) - 1,4126$$

O lo que es lo mismo, en función del término independiente:

[3] Estimación de un perímetro normal pasado

$$CSB_{26} (cm) = 0,8912 * CSB_{34} (cm) - 2 * \pi * 1,4126$$

[3'] Estimación de un diámetro normal pasado

$$DSB_{26} (cm) = 0,8912 * DSB_{34} (cm) - 2 * 1,4126$$

[3''] Estimación de un radio normal pasado

$$RSB_{26} (cm) = 0,8912 * RSB_{34} (cm) - 1,4126$$

El α' (teórico):

$$\alpha' = \frac{1}{\alpha}$$

tiene un valor de:

$$\alpha' = \frac{1}{1,0444} = 0,9575$$

cercano al α' real obtenido en campo igual a 0,8912

$$b' = -\frac{b}{\alpha}$$

tiene un valor de:

$$b' = -\frac{2,3765}{1,0444} = -2,2755$$

algo más alejado del b' real obtenido en campo igual a -1,4126.

En la figura 7 observamos la zona 1 en 2019 con una edad de 34 años.



Figura 7. Zona 1 en 2019 con una edad de 34 años.

4.3. Perímetro basimétrico sobre bornizo y su crecimiento

A continuación, se presentan en la tabla 7 los perímetros basimétricos, calculado con la fórmula [4] del apartado 3. Metodología, para los distintos inventarios y zonas estudiadas:

Tabla 7. Perímetro basimétrico (Pb) sobre bornizo (m/ha) (calculado con pies de CSB?10 cm)

		Perímetro basimétrico (Pb) sobre bornizo (m/ha)				
	Fecha	2011	2013	2015	2017	2019
	Edad (años)	26	28	30	32	34
Total	n=407	146,01	155,17	167,05	177,64	186,57
Zona 1	n=180	203,29	214,44	230,95	246,17	257,46
Zona 2	n=176	178,37	190,53	204,83	216,33	227,32
Zona 3	n=51	41,20	44,71	48,32	52,26	56,08

Para esta masa estudiada podemos obtener la relación (figura 8) entre el Pb (m/ha) y el valor de la edad (años) (n=5) a través de la siguiente fórmula (condicionantes: Pb entre 146,01 y 186,57 m/ha y edad entre 26 y 34 años):

Figura 8. Relación del Pb sobre bornizo con la edad de la masa en años.

[5] Relación entre el perímetro basimétrico y la edad de la masa

$$Pb (m/ha) = 5,1795 * edad (años) + 11,103$$

Siendo $R^2 = 0,9978$

4.4. Área basimétrica sobre bornizo y su crecimiento

Para este estudio disponemos de los perímetros normales de todos los árboles inventariables, n= 407 y CSB?10, con lo que podemos calcular las superficies normales, que sumándolas nos dan un valor para todo el alcornocal. Este valor lo dividimos entre la superficie total en hectáreas y obtenemos el área basimétrica (sobre bornizo), calculado con la fórmula [6] del apartado 3. Metodología, (tabla 8):

Tabla 8. Área basimétrica (Ab) sobre bornizo (m²/ha) (calculado con pies de CSB?10 cm)

Área basimétrica (Ab) sobre bornizo (m ² /ha)						
Fecha		2011	2013	2015	2017	2019
Edad (años)		26	28	30	32	34
Total	n=407	8,44	9,44	10,83	12,16	13,31
Zona 1	n=180	12,84	14,23	16,42	18,60	20,31
Zona 2	n=176	9,67	10,92	12,42	13,70	14,97
Zona 3	n=51	1,73	1,98	2,28	2,61	2,97

Para esta masa estudiada podemos obtener la relación (figura 9) entre el Ab (m²/ha) y el valor de la edad (años) (n=5) a través de la siguiente fórmula (condicionantes: Ab entre 8,44 y 13,31 m²/ha y edad entre 26 y 34 años):

Figura 9. Relación del Ab sobre bornizo con la edad de la masa en años.

[7] Relación entre el área basimétrica y la edad de la masa

$$Ab (m^2/ha) = 0,623 * edad (años) - 7,854$$

Siendo R² = 0,9975

En 2019 nos encontramos con un monte alcornocal de baja densidad (Ab: 10-18 m²/ha), si aplicamos la clasificación de los autores BERNAL y OJEDA (2008), aunque siendo concretamente la zona 1 un monte alcornocal de alta densidad (Ab: 18-22 m²/ha).

4.5. Relación entre Perímetro basimétrico sobre bornizo y Área basimétrica sobre bornizo

A través de los datos de las tablas anteriores 7 y 8 podemos encontrar la relación entre Ab y Pb, (n=20) como se muestra en la figura 10:

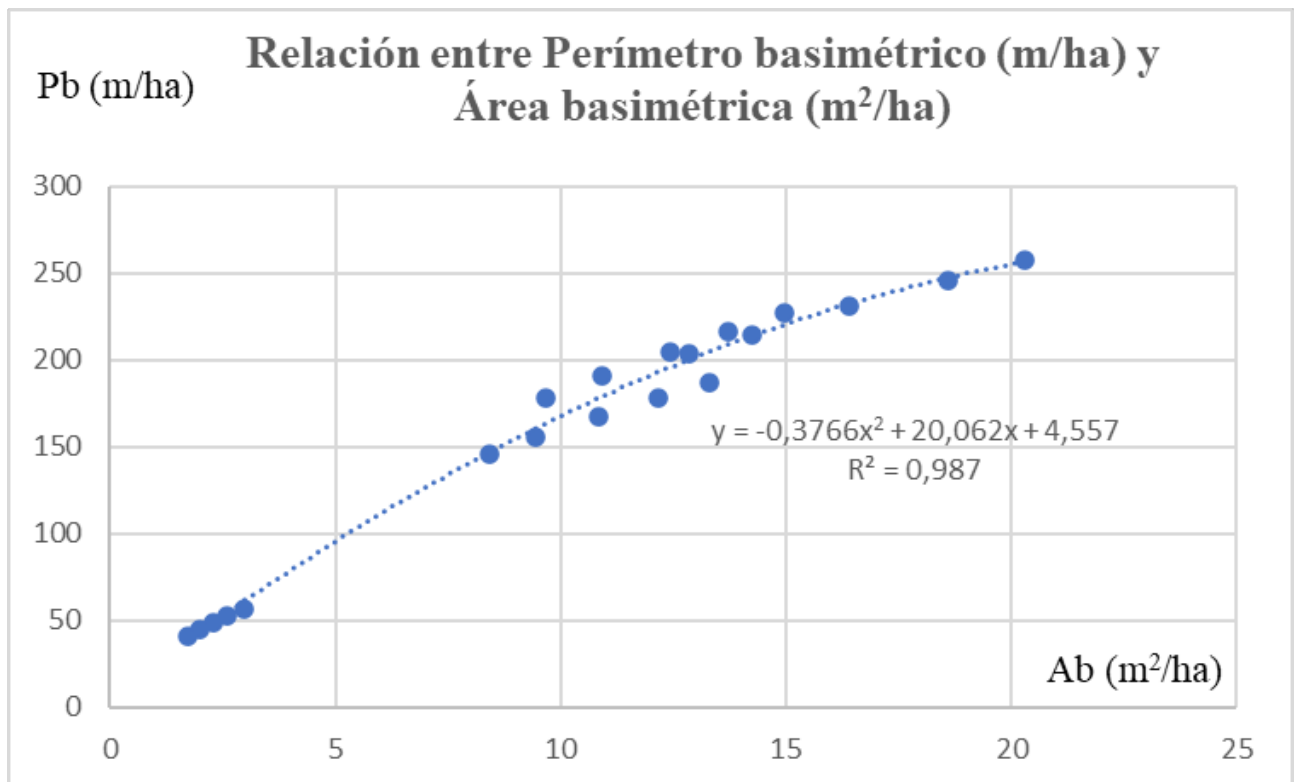


Figura 10. Relación entre Perímetro basimétrico (Pb) sobre bornizo (m/ha) y Área basimétrica (Ab) sobre bornizo (m²/ha).

Obteniéndose la fórmula que relaciona Pb y Ab:

[8] Relación entre el perímetro basimétrico y el área basimétrica

$$Pb \left(\frac{m}{ha} \right) = -0,3766 * Ab^2 \left(\frac{m^2}{ha} \right) + 20,062 * Ab \left(\frac{m^2}{ha} \right) + 4,557$$

Siendo $R^2 = 0,987$

Los autores BERNAL y OJEDA 2008 proponen una tipología de masa en función de Ab; a través de la fórmula anterior buscamos la equivalencia de esa tipología de masa en función de Pb, tabla 9:

Tabla 9. Tipología de masa según Área basimétrica (Ab) (m²/ha) y Perímetro basimétrico (Pb) (m/ha)

Tipología de masa		Ab m ² /ha*	Pb m/ha**
Dehesas de alcornoque	de baja densidad	2-3	43-61
Dehesas de alcornoque	de alta densidad	8-10	141-168
Monte alcornocal	de baja densidad	10-18	168-244
Monte alcornocal	de alta densidad	18-22	244-264

*Clasificación de los autores BERNAL y OJEDA (2008)

*Clasificación de elaboración propia con equivalencia a la anterior, calculada con la fórmula polinómica:

$$y = -0,3766x^2 + 20,062x + 4,557$$

(siendo y=Pb y x=Ab).

Para nuestro estudio en 2019 nos encontramos con un monte alcornocal de baja densidad (Pb: 168-244 m/ha), aunque siendo concretamente la zona 1 un monte alcornocal de alta densidad (Pb: 244-264 m/ha).

4.6. Crecimiento en términos absolutos y en términos relativos de CSB

Se ha calculado el crecimiento periódico (ip), el crecimiento corriente anual (ica), el crecimiento medio anual (ima) y el crecimiento relativo sobre el valor inicial de la masa (P%i) para las variables CSB y DSB, según las fórmulas [9], [10], [11] y [12] del apartado 3. Metodología:

[9'] Crecimiento periódico de DSB

$$ip_{n,n+x} DSB = \frac{ip_{n,n+x} CSB}{\pi}$$

[10'] Crecimiento corriente anual de DSB

$$ica_{n,n+x} DSB = \frac{ica_{n,n+x} CSB}{\pi}$$

[11'] Crecimiento medio anual de DSB

$$ima_{n=0\ n+x} DSB = \frac{ima_{n=0\ n+x} CSB}{\pi}$$

[12'] Crecimiento relativo de DSB sobre el valor inicial

$$P\%i_{n=0\ n+x} DSB = P\%i_{n=0\ n+x} CSB$$

Observamos en la tabla 10 que los crecimientos absolutos de la variable DSB son los mismos que para CSB divididos entre π . Sin embargo, en el caso del crecimiento relativo es el mismo valor tanto para la variable DSB como para la variable CSB.

Tabla 10. Crecimiento sobre bornizo y por árbol de las variables CSB (cm) y DSB (cm) para toda la masa sin desbornizar (n=407) durante 8 años (26 a 34 años)

Crecimiento		CSB (cm) y DSB (cm) para n = 407					
Crecimiento		DSB = CSB/?	Mínimo *	Medio **	Máximo ***	Desviación estándar	Error estándar
Periódico	ip ₂₆₋₃₄ (cm)	CSB (cm)	4	17,77	45	6,78	0,34
Periódico	ip ₂₆₋₃₄ (cm)	DSB (cm)	4/? = 1,27	17,77/? = 5,66	45/? = 14,32	6,78/? = 2,16	0,34/? = 0,11
Corriente anual	ica ₂₆₋₃₄ (cm/año y árbol)	CSB (cm)	0,5	2,22	5,625	0,85	0,04
Corriente anual	ica ₂₆₋₃₄ (cm/año y árbol)	DSB (cm)	0,5/? = 0,16	2,22/? = 0,71	5,625/? = 1,79	0,85/? = 0,27	0,04/? = 0,01
Medio anual	ima ₀₋₃₄ (cm/año y árbol)	CSB (cm)	0,53	2,4	4,32	0,75	0,04
Medio anual	ima ₀₋₃₄ (cm/año y árbol)	DSB (cm)	0,53/? = 0,17	2,4/? = 0,77	4,32/? = 1,38	0,75/? = 0,24	0,04/? = 0,01
Sobre el valor inicial	(%)	CSB (cm)	0,47	4,18	22,92	2,94	0,15
Sobre el valor inicial	(%)	DSB (cm)	0,47	4,18	22,92	2,94	0,15

*Valor mínimo alcanzado por un pie en concreto; ** Valor medio para n=407; *** Valor máximo alcanzado por un pie en concreto

Para nuestro estudio (n=407) el crecimiento medio anual del diámetro sobre bornizo es de 7,7 mm/año para edades entre 0 y 34 años y el crecimiento corriente anual del diámetro sobre bornizo de 7,1 mm/año para edades entre 26 y 34 años.

Si en vez de analizar los datos de los 407 árboles juntos, como hemos hecho en la tabla 10, distribuimos dichos datos por clases perimétricas, podemos obtener la tabla 11, donde se muestran los crecimientos sobre bornizo de las variables CSB y DSB para toda la masa sin desbornizar según clases perimétricas y diamétricas a los 34 años:

Tabla 11. Crecimiento sobre bornizo de las variables CSB (cm) y DSB (cm) para toda la masa sin desbornizar (n=407) según clases perimétricas y diamétricas a los 34 años (calculado en 2019 sobre el período 2011/2019 (26/34 años)).

	CP (cm)	CSB	n	ip ₂₆₋₃₄ (cm)	error	ica ₂₆₋₃₄ (cm/añ o y árbol)	error	ima ₀₋₃₄ (cm/añ o y árbol)	error	P% _i (%)	error
	CD (cm)	DSB	n	ip ₂₆₋₃₄ (cm)	error	ica ₂₆₋₃₄ (cm/añ o y árbol)	error	ima ₀₋₃₄ (cm/añ o y árbol)	error	P% _i (%)	error
1	16-30	CSB	7	8,57	2,02	1,07	0,25	0,70	0,05	8,6	2,78
	5,1-9,5	DSB	7	2,73	0,64	0,34	0,08	0,22	0,01	8,6	2,78
2	31-45	CSB	34	15,26	0,67	1,91	0,08	1,11	0,02	9,4	0,76
	9,9-14,3	DSB	34	4,86	0,21	0,61	0,03	0,35	0,01	9,4	0,76
3	46-60	CSB	38	16,16	0,72	2,02	0,09	1,60	0,02	5,6	0,38
	14,6-19,1	DSB	38	5,14	0,23	0,64	0,03	0,51	0,01	5,6	0,38
1-3	?60	CSB	79	15,10	0,53	1,89	0,07	1,31	0,04	7,5	0,48
	?19,1	DSB	79	4,81	0,17	0,60	0,02	0,42	0,01	7,5	0,48
4	61-75	CSB	84	14,86	0,55	1,86	0,07	2,02	0,01	3,6	0,19
	19,4-23,9	DSB	84	4,73	0,17	0,59	0,02	0,64	0,00	3,6	0,19
5	76-90	CSB	91	17,16	0,77	2,15	0,10	2,44	0,01	3,5	0,25
	24,2-28,6	DSB	91	5,46	0,24	0,68	0,03	0,78	0,00	3,5	0,25
6	91-105	CSB	75	19,93	0,67	2,49	0,08	2,86	0,01	3,3	0,14
	29-33,4	DSB	75	6,34	0,21	0,79	0,03	0,91	0,00	3,3	0,14
7	106-120	CSB	50	21,34	1,08	2,67	0,13	3,26	0,01	3,1	0,19
	33,7-38,2	DSB	50	6,79	0,34	0,85	0,04	1,04	0,00	3,1	0,19
8	121-135	CSB	22	23,32	1,60	2,91	0,20	3,70	0,02	2,9	0,26
	38,5-43	DSB	22	7,42	0,51	0,93	0,06	1,18	0,01	2,9	0,26
9	136-150	CSB	6	25,83	2,18	3,23	0,27	4,11	0,05	2,9	0,28
	43,3-47,7	DSB	6	8,22	0,69	1,03	0,09	1,31	0,02	2,9	0,28
1-9	18-147	CSB	407	17,77	0,34	2,22	0,04	2,40	0,04	4,2	0,15
	5,7-46,8	DSB	407	5,66	0,11	0,71	0,01	0,77	0,01	4,2	0,15

Se ha usado en la tabla 11 la amplitud de clase empleada por MONTERO y CAÑELLAS, 2003 (haciendo referencia a MONTERO, 1987). Sin embargo, no podemos hacer la comparativa con la zona 4 de su estudio (en Constantina), pues su crecimiento en 9 años

es bajo corcho, lo que incluye el crecimiento de madera y de capa madre, y nuestro estudio en 8 años al ser sobre bornizo incluye, además de madera y capa madre, el crecimiento de bornizo.

4.7. Determinación del perímetro mínimo para la primera saca

De la tabla 11, de crecimientos de perímetros normales sobre bornizo, usaremos los datos de ica e ima (en negrita) de 8 de sus 9 filas de clases perimétricas, desde CSB 31-45 a 136-150. Así podemos obtener la figura 11, donde observamos que es entre la clase perimétrica 46-60 y la clase 61-75 (más cerca de esta última) cuando las líneas de tendencia del crecimiento medio anual y corriente anual se cruzan.

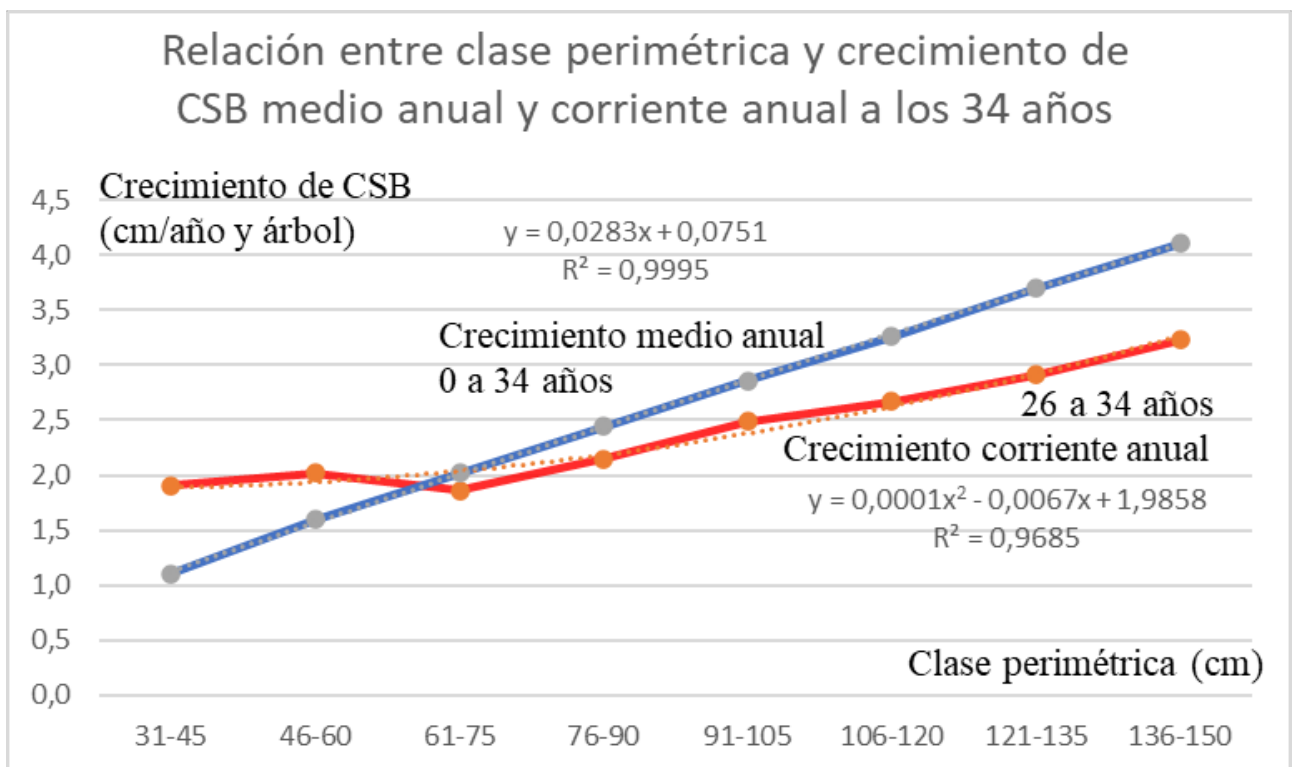


Figura 11. Relación entre clase perimétrica y crecimiento de CSB medio anual y corriente anual a los 34 años.

Obteniéndose las fórmulas:

[13] Crecimiento medio anual sobre bornizo (ima) de 0 a 34 años en función del perímetro sobre bornizo

$$ima \left(\frac{cm}{año} \right) = 0,0283 * CSB (cm) + 0,0751$$

Siendo $R^2 = 0,9995$

[14] Crecimiento corriente anual sobre bornizo (ica) de 26 a 34 años en función del perímetro sobre bornizo

$$ica \left(\frac{cm}{año} \right) = 0,0001 * CSB^2 (cm) - 0,0067 * CSB (cm) + 1,9858$$

Siendo $R^2 = 0,9685$

Hemos hecho los cálculos con 8 clases perimétricas, de amplitud de clase de 15 cm, del inventario de 2019 (34 años) y obtenemos en la intersección de curvas ima e ica un valor de x, es decir, CSB, de 67,7 cm, que está entre los valores que nos refiere la normativa andaluza de CSB de 65 cm (JUNTA DE ANDALUCÍA, 1988) y de CSB de 70 cm (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2024).

4.8. Determinación de la edad teórica óptima para la primera saca

Mediante la siguiente fórmula podemos calcular la edad para la primera saca:

[15] Edad teórica óptima para la primera saca (años)

$$\frac{\text{Perímetro normal (CSB en cm) en la intersección de la curva ima y curva ica}}{\text{Crecimiento medio anual } \left(\frac{cm}{año} \right)}$$

Teniendo en cuenta que el perímetro normal en el cual las curvas de ima e ica se cruzan es de 67,7 cm y el crecimiento medio anual es de 2,4 cm/año, podemos obtener una edad teórica óptima para la primera saca de 28,2 años para este alcornocal.

A su vez, este valor obtenido de 28,2 años para la primera saca se corresponde con los datos obtenidos en el inventario de 2013, cuando la masa tenía 28 años y el perímetro medio obtenido fue de 68,00 cm (n=407) (ver tabla 6).

En la figura 12 se observa el alcornocal ya desbornizado en 2021.



Figura 12. Alcornocal en 2021 con una edad de 36 años.

4.9. Crecimiento en términos absolutos y en términos relativos de Pb

Con los datos de la tabla 7 se ha calculado i_p , i_{ca} , i_{ma} y $P\%$ para la variable Pb, para toda la masa, según las fórmulas del apartado de metodología:

[16] Crecimiento periódico de Pb

$$i_{p_{26-34}} = Pb_{34} - Pb_{26}$$

[17] Crecimiento corriente anual de Pb

$$i_{ca_{26-34}} = \frac{Pb_{34} - Pb_{26}}{8}$$

[18] Crecimiento medio anual de Pb

$$ima_{0-34} = \frac{Pb_{34} - Pb_0}{34} = \frac{Pb_{34}}{34}$$

[19] Crecimiento relativo de Pb sobre el valor inicial

$$P\%i = \frac{ica_{26-34}}{Pb_{26}} * 100 = \left(\frac{Pb_{34} - Pb_{26}}{Pb_{26}} \right) * \left(\frac{100}{8} \right)$$

El crecimiento medio anual del Perímetro basimétrico es de 5,49 m/ha para edades entre 0 y 34 años y el crecimiento corriente anual de 5,07 m/ha para edades entre 26 y 34 años, según la tabla 12:

Tabla 12. Crecimiento de la variable Pb sobre bornizo (m/ha) para toda la masa sin desbornizar entre edades de 26 y 34 años (n=5: 2011, 2013, 2015, 2017, 2019)

Crecimiento		Pb (m/ha) para n = 5					
Crecimiento		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Toda la masa	Desviación estándar*	Error estándar*
Periódico	ip_{26-34} (m/ha)	54,17	48,95	14,88	40,56	21,34	12,32
Corriente anual	ica_{26-34} (m/ha y año)	6,77	6,12	1,86	5,07	2,67	1,54
Medio anual	ima_{0-34} (m/ha y año)	7,57	6,69	1,65	5,49	3,19	1,84
Sobre el valor inicial	P%i (%)	3,33	3,43	4,51	3,47	0,66	0,38

* Para toda la masa (zonas 1, 2 y 3 juntas)

4.10. Crecimiento en términos absolutos y en términos relativos de Ab

Con los datos de la tabla 8 se ha calculado ip , ica , ima y $P\%i$ para la variable Ab , para toda la masa, según las fórmulas del apartado de metodología:

[20] Crecimiento periódico de Ab

$$ip_{26-34} = Ab_{34} - Ab_{26}$$

[21] Crecimiento corriente anual de Ab

$$ica_{26-34} = \frac{Ab_{34} - Ab_{26}}{8}$$

[22] Crecimiento medio anual de Ab

$$ima_{0-34} = \frac{Ab_{34} - Ab_0}{34} = \frac{Ab_{34}}{34}$$

[23] Crecimiento relativo de Ab sobre el valor inicial

$$P\%i = \frac{ica_{26-34}}{Ab_{26}} * 100 = \left(\frac{Ab_{34} - Ab_{26}}{Ab_{26}} \right) * \left(\frac{100}{8} \right)$$

El crecimiento medio anual del Área basimétrica es de 0,39 m²/ha para edades entre 0 y 34 años y el crecimiento corriente anual de 0,61 m²/ha para edades entre 26 y 34 años, según la tabla 13:

Tabla 13. Crecimiento de la variable Ab sobre bornizo (m²/ha) para toda la masa sin desbornizar entre edades de

26 y 34 años (n=5: 2011, 2013, 2015, 2017, 2019)

Crecimiento		Ab (m ² /ha) para n = 5					
Crecimiento		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Toda la masa	Desviación estándar*	Error estándar*
Periódico	ip ₂₆₋₃₄ (m ² /ha)	7,47	5,3	1,24	4,87	3,16	1,83
Corriente anual	ica ₂₆₋₃₄ (m ² /ha y año)	0,93	0,66	0,16	0,61	0,40	0,23
Medio anual	ima ₀₋₃₄ (m ² /ha y año)	0,60	0,44	0,09	0,39	0,26	0,15
Sobre el valor inicial	P% _i (%)	7,27	6,85	8,96	7,21	1,12	0,64

*Para toda la masa (zonas 1, 2 y 3 juntas)

4.11. Producción media anual de bornizo

Con los datos de las tablas 12 y 13 podemos estimar la producción media anual de bornizo entre los 26 y 34 años.

Para ello elaboramos la tabla 14 teniendo en cuenta los datos de densidad, número de pies, alturas de desbornizamiento medias para toda la masa (HDBmedia) y los pesos de bornizo desbornizado por metro cuadrado medios para toda la masa sobre bornizo (PBM2medio) (GALLARDO, 2022) para las distintas zonas dentro del alcornocal, datos procedentes de las sacas de 2019 y 2020 (no se refleja la zona 3 por tener pocos árboles desbornizados), junto con los crecimientos de perímetro basimétrico (tabla 12) y área basimétrica (tabla 13) del presente estudio:

Tabla 14. Producción media anual de bornizo entre los 26 años y 34 años (kg/ha)

	Densidad (pies/ha)	N (Número de pies)	Producción media anual de bornizo entre los 26 y 34 años (kg/ha) En función de Pb ó Ab		
			Pb*	Ab** (IDmedia1)	Ab*** (IDmedia2)
Zona 1	271,6	180	75,9	115,8	113
Zona 2	303,6	176	62,5	77,3	76,7
Zona 3	94,3	51	-	-	-
Toda la masa	228,2	407	54,8	74,2	72,8

Fórmulas empleadas (GALLARDO, 2022):

$$PBHA \left(\frac{kg}{ha} \right) = Pb \left(\frac{m}{ha} \right) * HDBmedia(m) * PBM2medio \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

y

$$PBHA \left(\frac{kg}{ha} \right) = Ab \left(\frac{m^2}{ha} \right) * IDmedia * PBM2medio \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Para la zona 1:

Pb de 6,77 m/ha y Ab de 0,93 m²/ha (n=5) (tabla 12 y tabla 13)

*Para HDBmedia de 1,51 m y PBM2medio de 7,42 kg/m² (n=74)

**Para IDmedia1 de 16,78 y PBM2medio de 7,42 kg/m² (n=74)

***Para IDmedia2 de 16,37 y PBM2medio de 7,42 kg/m² (n=74)

Para la zona 2:

Pb de 6,12 m/ha y Ab de 0,66 m²/ha (n=5) (tabla 12 y tabla 13)

*Para HDBmedia de 1,46 m y PBM2medio de 6,98 kg/m² (n=32)

**Para IDmedia1 de 16,77 y PBM2medio de 6,98 kg/m² (n=32)

***Para IDmedia2 de 16,65 y PBM2medio de 6,98 kg/m² (n=32)

Para toda la masa:

Pb de 5,07 m/ha y Ab de 0,61 m²/ha (n=5) (tabla 12 y tabla 13)

*Para HDBmedia de 1,49 m y PBM2medio de 7,26 kg/m² (n=109)

**Para IDmedia1 de 16,75 y PBM2medio de 7,26 kg/m² (n=109)

***Para IDmedia2 de 16,44 y PBM2medio de 7,26 kg/m² (n=109)

Gracias al cálculo del crecimiento de perímetro basimétrico y de área basimétrica, determinamos que el incremento de producción anual de bornizo, en este monte, está situado entre 62,5 y 115,8 kg/ha, según la zona estudiada, para alturas de desbornizamiento de 1,46 a 1,51 m y entre las edades de 26 y 34 años.

4.12. Producción total de bornizo a los 34 años

Igualmente calculamos la producción total de bornizo a los 34 años con los datos del apartado anterior y los datos de 2019 de los perímetros basimétricos (tabla 7) y las áreas basimétricas (tabla 8) del presente estudio, y elaboramos la tabla 15:

Tabla 15. Producción total de bornizo a los 34 años (kg/ha)

	Densidad (pies/ha)	N (Número de pies)	Producción total de bornizo a los 34 años (kg/ha) En función de Pb ó Ab		
			Pb*	Ab** (IDmedia1)	Ab*** (IDmedia2)
Zona 1	271,6	180	2885,8	2530,1	2467,9
Zona 2	303,6	176	2320,2	1752,3	1739,8
Zona 3	94,3	51	-	-	-
Toda la masa	228,2	407	2018,2	1618,9	1588,1

Fórmulas empleadas (GALLARDO, 2022):

$$PBHA \left(\frac{kg}{ha} \right) = Pb \left(\frac{m}{ha} \right) * HDBmedia(m) * PBM2medio \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

y

$$PBHA \left(\frac{kg}{ha} \right) = Ab \left(\frac{m^2}{ha} \right) * IDmedia * PBM2medio \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Para la zona 1:

Pb de 257,46 m/ha y Ab de 20,31 m²/ha (n=180) (tabla 7 y 8)

*Para HDBmedia de 1,51 m y PBM2medio de 7,42 kg/m² (n=74)

**Para IDmedia1 de 16,78 y PBM2medio de 7,42 kg/m² (n=74)

***Para IDmedia2 de 16,37 y PBM2medio de 7,42 kg/m² (n=74)

Para la zona 2:

Pb de 227,32 m/ha y Ab de 14,97 m²/ha (n=176) (tabla 7 y 8)

*Para HDBmedia de 1,46 m y PBM2medio de 6,98 kg/m² (n=32)

**Para IDmedia1 de 16,77 y PBM2medio de 6,98 kg/m² (n=32)

***Para IDmedia2 de 16,65 y PBM2medio de 6,98 kg/m² (n=32)

Para toda la masa, publicado por GALLARDO, 2022:

Pb de 186,57 m/ha y Ab de 13,31 m²/ha (n=407) (tabla 7 y 8)

*Para HDBmedia de 1,49 m y PBM2medio de 7,26 kg/m² (n=109)

**Para IDmedia1 de 16,75 y PBM2medio de 7,26 kg/m² (n=109)

***Para IDmedia2 de 16,44 y PBM2medio de 7,26 kg/m² (n=109)

La producción estimada total de bornizo, a los 34 años de edad de la masa, se sitúa entre 1.739,8 y 2.885,8 kg/ha, según la zona que consideremos del alcornocal estudiado y para alturas de desbornizamiento de 1,46 a 1,51 m.

5. Discusión

El crecimiento perimetral sobre bornizo incluye el crecimiento conjunto de madera, capa madre y bornizo. Este valor nos posibilita saber cuánto engrosarán los troncos de los árboles y así estimar los pies que irán pasando anual o bienalmente de una clase perimétrica a la siguiente. Conociendo un CSB determinado, mediante fórmulas podemos determinar, para este monte, el crecimiento futuro de un pie y por otro lado, determinar su CSB pasado.

El uso en subercultura de Pb es más intuitivo que Ab. Así, por ejemplo, en un monte alcornocal de alta densidad (Ab=18 m²/ha) (ver tabla 9) solo la experiencia profesional y el frecuente manejo de áreas basimétricas nos ayudará a convertir ese valor de 18 en un número aproximado de árboles que encontraremos en campo. Sin embargo, con un Pb de 244 m/ha, por ejemplo, para el mismo monte, rápidamente se puede calcular que serían

unos 244 árboles de 100 cm de perímetro normal, ó unos 122 árboles de 200 cm de perímetro normal.

Para nuestro estudio (n=407) el crecimiento medio anual del diámetro sobre bornizo es de 7,7 mm/año para edades entre 0 y 34 años y el crecimiento corriente anual del diámetro sobre bornizo de 7,1 mm/año para edades entre 26 y 34 años. Para MURILLO, 2020, con datos de Extremadura, Cádiz, Málaga y Gerona, el crecimiento diamétrico comienza con unos 10 mm/año en las etapas juveniles; y este crecimiento disminuye exponencialmente bajando hasta unos 4 mm/año a los 40-50 años.

A partir de la intersección de las funciones i_{ca} (crecimiento corriente anual) e i_{ma} (crecimiento medio anual) del perímetro normal, superado cierto CSB (67,7 cm en esta calidad de estación) entendemos que se produce una pérdida teórica de rentabilidad, porque a partir de ese punto, como se ve en la gráfica 11, el crecimiento calculado del bornizo, de 26 a 34 años, se encuentra por debajo del que sería el estimado durante sus primeros 34 años de vida. Dicho valor de 67,7 es cercano a la cifra de 65 cm, obligada por normativa como mínima para el desbornizamiento, y que sin embargo, rara vez se calculada en bibliografía o se estima empíricamente, y que en este estudio si hemos determinado.

Tiene su similitud, en la producción maderera, con el criterio de cortabilidad técnico-forestal denominado criterio de la máxima producción en especie, que define la madurez del árbol como aquella que es capaz de proporcionar la mayor cantidad de producto indefinidamente (JUNTA DE ANDALUCIA, 2004). Con la diferencia que en subercultura la saca cada 9 años no es equiparable a la corta final en producción maderera. Este criterio puede ser interesante de cara a la optimización de la primera saca, pudiéndose recomendar teóricamente el desbornizamiento en la intersección de ambas funciones. Sin embargo, hemos de pensar en las numerosas sacas que tendrá el alcornoque a lo largo de su vida. Y como ya se explicó anteriormente, el desbornizamiento temprano provoca envejecimiento prematuro del árbol, por lo que vemos más interesante un desbornizamiento en torno a 100 cm de CSB para esta calidad de estación.

Gracias al cálculo del crecimiento de perímetro basimétrico y de área basimétrica, determinamos que el incremento de producción anual de bornizo, en este monte, está situado entre 62,5 y 115,8 kg/ha, según la zona estudiada, para alturas de desbornizamiento de 1,46 a 1,51 m y entre las edades de 26 y 34 años. Producciones interesantes teniendo en cuenta que la media en España (146 kg/ha) y en Portugal (226 kg/ha) (CARRERO, 2015) son para alturas de descorche mayores.

6. Conclusiones

Los valores medios, de la masa sin desbornizar a los 34 años de edad (2019), para perímetro normal sobre bornizo (CSB), diámetro normal sobre bornizo (DSB), perímetro basimétrico (Pb, suma de todos los perímetros normales en una hectárea) y área basimétrica (Ab, suma de todas las secciones normales en una hectárea) se presentan en la tabla 16:

Tabla 16. Valores medios de las variables CSB (cm), DSB (cm), Pb (m/ha) y Ab (m²/ha) para toda la masa sin desbornizar en la edad 34 años (2019)

Variable	CSB (cm)	DSB (cm)	Pb (m/ha)	Ab (m ² /ha)
Valor medio a los 34 años	81,76	26,0	186,57	13,31

Mediante la intersección de la curva ica (crecimiento corriente anual) e ima (crecimiento medio anual) del perímetro normal podemos determinar el perímetro mínimo para la primera saca, que en este monte es de 67,7 cm; y a su vez podemos determinar la edad teórica óptima para la primera saca, que en este monte es de 28,2 años.

En la tabla 17 mostramos, para nuestro estudio, el crecimiento medio anual para edades entre 0 y 34 años y el crecimiento corriente anual para edades entre 26 y 34 años de las variables CSB, DSB, Pb y Ab.

Tabla 17. Crecimiento de las variables CSB (cm), DSB (cm), Pb (m/ha) y Ab (m²/ha) para toda la masa sin desbornizar entre edades de 26 y 34 años (n=5: 2011, 2013, 2015, 2017, 2019)

Crecimiento de la variable		CSB (cm)	DSB (cm)	Pb (m/ha)	Ab (m ² /ha)
Corriente anual	ica ₂₆₋₃₄	0,71	2,22	5,07	0,61
Medio anual	ima ₀₋₃₄	0,77	2,4	5,49	0,39

Con el crecimiento de Pb y Ab podemos estimar el incremento de producción anual de bornizo, situado en este monte, entre 62,5 y 115,8 kg/ha, según sea la zona estudiada, para alturas de desbornizamiento de 1,46 a 1,51 m y entre las edades de 26 a 34 años.

La producción estimada total de bornizo, a los 34 años de edad de la masa, se sitúa entre 1.739,8 y 2.885,8 kg/ha, según la zona que consideremos del alcornocal estudiado y para alturas de desbornizamiento de 1,46 a 1,51 m.

Futuras líneas de trabajo pueden ser continuar realizando inventarios bienales, estudiar las variables y ecuaciones de crecimiento, tanto de bornizo, como de corcho secundario y de reproducción, complementando valores a este estudio y generando otros nuevos.

7. Agradecimientos

A Victoria Frensel, Juan Ponce y Lourdes Nogales. La financiación para la realización de

los inventarios y la redacción del artículo corre a cargo de la propiedad (Fernando Gallardo), sin subvenciones públicas ni privadas. No se ha utilizado Inteligencia Artificial en el tratamiento de los datos ni en la redacción del artículo.

8. Bibliografía

ALAEJOS, J.; TORRES, E.; SÁNCHEZ, M.F.; 2009. Estudio del turno óptimo de descorche en alcornocales andaluces. Actas 5º Congreso Forestal Nacional. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Ávila.

BENITO LÓPEZ, J.; GONZÁLEZ-ADRADOS, J.R.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; 2022. Monitorización del crecimiento diametral del alcornoque diferenciando el crecimiento de la madera y del corcho. Actas 8º Congreso Forestal Nacional. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Lleida.

BERNAL, N.; OJEDA, J.P.; 2008. Manual de buenas prácticas sobre la regeneración del monte alcornocal. Edita Acción conjunta de cooperación Leader Plus. Valorización de la producción corchera de Andalucía. 117 páginas. Cádiz.

CARRERO, A. J; 2015. Los aprovechamientos del monte en el Suroeste Peninsular: el corcho. Tesis doctoral. Departamento de Historia II y Geografía. Universidad de Huelva.

CUEVAS, J.M.; 1995. Ecuaciones de cubicación para el alcornoque del Este de Argelia. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 4 (1).

DEHANE B.; 2019. Caracterización del crecimiento y de la calidad de corcho de los alcornocales del Noroeste de Argelia (región de Orán). Ecosistemas 28(1): 97-105.

FIRMINO, P.N.; TOMÉ, M.; PAULO, J.A.; 2023. Do Distance-Dependent Competition Indices Contribute to Improve Diameter and Total Height Tree Growth Prediction in Juvenile Cork Oak Plantations?. Forests 2023, 14, 1066.

GALLARDO, F.; 2019. Cría del alcornoque en Constantina. Revista de verano de Constantina. Pág. 97 a 101. Sevilla.

GALLARDO, F.; 2022. Métodos para la estimación del peso de bornizo en monte alcornocal joven en la Sierra Morena sevillana. Actas 8º Congreso Forestal Nacional. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Lleida.

GOOGLE; 2015. Foto de Street View de Google del alcornocal estudiado: <https://www.google.es/maps/@37.885256,-5.6001785,3a,37.5y,357.19h,92.11t/data=!3m6!1e1!3m4!1sN-UAX0iugUTgc5w45ZkGfA!2e0!7i13312!8i6656>

GOOGLE; 2020. Foto aérea de Google Maps del alcornocal estudiado: <https://www.google.es/maps/@37.8858175,-5.5995587,147m/data=!3m1!1e3>

ICNF; 2019. Relatório Final do 6 Inventário Florestal Nacional; Instituto da Conservação da Natureza e Florestas: Lisboa, Portugal, pp. 113–118.

JUNTA DE ANDALUCÍA; 1988. Orden de 26 de septiembre de 1988, por la que se dan instrucciones para la ejecución de determinados trabajos en montes, en régimen privado, poblados de encinas y alcornoques.

JUNTA DE ANDALUCÍA; 2004. Manual de Ordenación de Montes de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla

JUNTA DE ANDALUCÍA; 2022. Orden 13 de mayo de 2022, por la que se aprueban las Instrucciones Generales para la Ordenación de Montes de la Comunidad Autónoma de Andalucía (IGOMCAA).

JUNTA DE ANDALUCÍA; 2024. Decreto 131/2024, de 23 de julio, por el que se aprueban los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales y los Planes Rectores de Uso y Gestión de los Parques Naturales Sierra de Aracena y Picos de Aroche, Sierra Morena de Sevilla y Sierra de Hornachuelos.

LANZO, R.; 2015. Buenas prácticas suberícolas en masas jóvenes de alcornoque. CITYTEX. Gobierno de Extremadura.

LÓPEZ, C.; 2018. Tarifa de cubicación de una entrada con Excel: https://www.youtube.com/watch?v=9QImDm_Twjw&list=PL6heMCv-rv69yFjhb_BoB8eLUKMYf19Li&index=2

LÓPEZ, C.; 2019. Epidometría VI. Definiciones de crecimientos en terminología forestal. Como prever el desarrollo de árboles y masas forestales:

https://www.youtube.com/watch?v=75_oBDUaUoI&list=PL6heMCv-rv68CEEEYKMYEzjDawxyzsOf&index=4

MECHERGUI, T; PARDOS, M; BOUSSAIDI, N; JACOBS, D.F; CATRY, F.X.; 2023. Problems and solutions to cork oak (*Quercus suber* L.) regeneration: a review. iForest 16: 10-22.

MONTERO, G.; 1987. Modelos para cuantificar la producción de corcho en alcornocales (*Quercus suber* L.) en función de la calidad de estación y de los tratamientos selvícolas. Colección tesis doctorales. INIA. Núm. 75. Madrid.

MONTERO, G.; VALLEJO, R.; 1992. Variación del calibre del corcho medido a distintas alturas. Invest. agrar.: Sist. recur. for. Vol 1 (2).

MONTERO, G.; CAÑELLAS, I.; 1999. Manual de reforestación y cultivo del alcornoque (*Quercus suber* L.). INIA. Madrid.

MONTERO, G.; CANELLAS, I.; 2003. Selvicultura de los alcornoques en España. Silva Lusitana 11 (1) 1-19.

MONTERO, G.; LÓPEZ, E.; 2008. Selvicultura de *Quercus suber* L. Pág. 779 a 830. En: Compendio de Selvicultura aplicada en España (Serrada, R.; Montero, G.; Reque, J.A.).

INIA.

MONTERO, G.; TORRES, E.; CAÑELLAS, I.; ORTEGA, C.; 1996. Modelos para la estimación de la producción de corcho en alcornoques. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 5 (1).

MONTERO, G.; TORRES, E.; SUÁREZ, M.A.; ORTEGA, C.; 1993. Influencia de la densidad de la masa en la calidad y producción de corcho en los alcornoques de Cortes de la Frontera (Málaga). Actas 1º Congreso Forestal Nacional. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Lourizán, Pontevedra.

MURILLO, M.; MONTERO, A. J.; CARDILLO, E.; BERDÓN, J.; LANZO, R.; MAYA, V.; SANTIAGO, R.; 2020. Selvicultura adaptativa para la gestión de los alcornoques en Extremadura. CITYTEX. JUNTA DE EXTREMADURA.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M. 2006. Modelo de crecimiento y producción para monte alcornocal. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; CAÑELLAS, I.; MONTERO, G.; 2007a. Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 16 (1).

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; SÁNCHEZ, M.; CAÑELLAS, I.; 2007b. Modelo de predicción del calibre de bornizo mediante funciones de perfil del tronco. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 23: 239-243.

SUÁREZ, M.A.; TORRES, E.; TAPIAS, R.; VÁZQUEZ, J.; CALZADO, A.; 2005. Influencia de la poda en el crecimiento diametral del alcornoque (*Quercus suber* L.). Actas 4º Congreso Forestal Nacional. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Zaragoza.

TORRES, E.; MONTERO, G.; VAZQUEZ, F.J.; 1997. Clasificación ecológica y caracterización selvícola y productiva del Parque Natural de los Alcornoques (Cádiz y Málaga). Actas 2º Congreso Forestal Nacional. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Pamplona.

VERDUM, M.; PRADES, C.; GONZÁLEZ-ADRADOS, J.R.; BEJARANO, M.; LEZCANO, G.; SÁNCHEZ GÓNZALEZ, M.; 2020. Miniguía nuevas aplicaciones del corcho.: <https://www.icsuro.com/wp-content/uploads/2015/08/MiniGuia-Aplicaciones-Version-Web.pdf>