



2022
Lleida

27·1
junio · juny
julio · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Factores que permiten aumentar el rendimiento horario en el aserrado de la madera de frondosas procedentes de masas naturales

RIESCO MUÑOZ, G.¹, PULGAR LORENZO, J.A.¹

¹ Departamento de Ingeniería Forestal. Escola Politécnica Superior de Enxeñaría de Lugo. Universidade de Santiago de Compostela.

Resumen

Gran parte de la madera de roble europeo (*Quercus robur*) se destina al aserrado cuando la calidad de las trozas lo permite. El rendimiento volumétrico del aserrado de esta materia prima ya ha sido estudiado pero escasea la información sobre la productividad horaria del proceso. Para aumentar este conocimiento se analizó la influencia de las características de las trozas (dimensión, calidad, dureza y humedad) en el rendimiento horario y en la productividad del aserrado, medidos dichos indicadores en metros cúbicos de trozas consumidas/piezas aserradas por hora y como metros cuadrados de caras abiertas por hora respectivamente. Para efectuar el estudio se apearon, trocearon y aserraron 50 robles adultos, seleccionados en diversas zonas de Galicia. Rendimiento y productividad fueron muy variables entre los 17 aserraderos analizados, que eran instalaciones ubicadas en Galicia y con diferentes grados de adaptación al aserrado de madera de frondosas. Se comprobó que el rendimiento horario aumenta cuando es mayor la elipticidad de la sección transversal de las trozas y cuando es mayor el tiempo de secado de las trozas, en parque o en monte, antes de pasar a la línea de aserrado. La productividad horaria no mostró relación estadística significativa con ninguna de las variables analizadas.

Palabras clave

Madera de sierra, productividad horaria, *Quercus robur*, rendimiento de aserrado, roble, tecnología de la madera.

1. Introducción

La madera de roble europeo (*Quercus robur*) ocupa una posición destacada en España como materia prima en tonelería, carpintería de interiores, mobiliario, pavimentos y traviesas, además de su secular empleo como combustible. Las trozas de mayor dimensión, calidad y valor decorativo se destinan a la fabricación de chapa plana, que se utiliza como chapa natural de revestimiento en caras vistas de tableros contrachapados, de partículas, de alma alistonada y en pavimentos multicapa. Las trozas de calidades medias se destinan a producir madera aserrada para traviesas y material rodante de ferrocarriles, elementos resistentes en obras de restauración de edificaciones y en construcciones tradicionales, elementos de obras hidráulicas, carpintería, pavimentos en madera maciza, ataúdes, mobiliario y tonelería.

Durante el periodo 1996-2017, las cortas de madera de roble en España ascendieron a un promedio anual de 113.200 m³ con corteza, con una gran variación interanual pero con una tendencia sensiblemente creciente a lo largo de los 22 años del periodo considerado (figura 1). El volumen de cortas de *Quercus robur* representó solamente el 0,78 % de toda la madera aprovechada en España en el mismo periodo (MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 2020). Así mismo, en el decenio 2009-2018 se exportó madera en rollo del género *Quercus* a razón de 5.818 m³ con corteza anuales de media y se importaron en promedio 35.264 m³ con corteza cada año (EUROSTAT, 2020). La fuente estadística citada no desglosa la información por especies, aunque la estructura de la industria transformadora española permite suponer que la mayor parte de la

importación de madera de quercíneas correspondió a madera de calidad de *Quercus robur*, procedente de Europa Central con destino a la industria nacional de carpintería y mueble.

El 84 % de la madera de roble extraída en España procede de Galicia (INSTITUTO GALEGO DE ESTADÍSTICA, 2020; MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 2020). Según el Instituto Galego de Estadística (2020), de toda la madera que se corta anualmente en Galicia (en torno a 10.000.000 de m³ con corteza) solo el 2,8 % corresponde a frondosas caducifolias (datos de 2018 y 2019), donde *Quercus robur* representa la mayor parte.

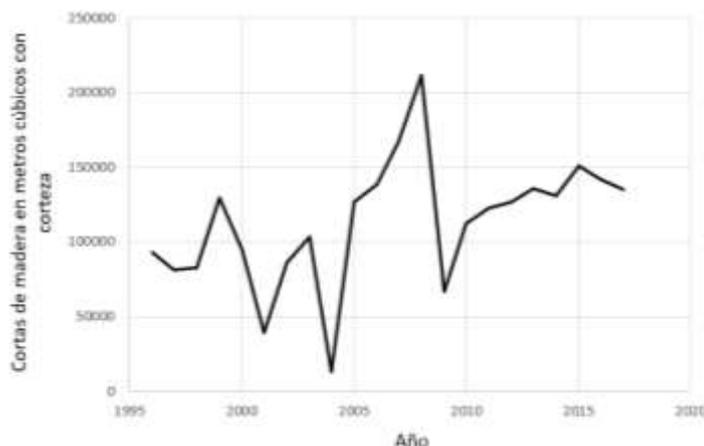


Figura 1. Volumen de cortas de madera de *Quercus robur* en España durante el periodo 1996-2017. Fuente: Elaborado a partir de datos del MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (2020).

Aunque el roble es la frondosa de mayor producción en Galicia después del eucalipto, la oferta de madera de roble para la industria es escasa debido a la deficiente forma de los fustes, la dispersión de los pies maderables y la baja accesibilidad de las masas, que en muchas ocasiones se ubican en zonas en las que el aprovechamiento maderero de frondosas caducifolias está muy restringido por razones ambientales.

Gran parte de la madera de roble que se aprovecha en Galicia pasa la primera transformación en esta comunidad. Es importante, por lo tanto, que un número suficiente de aserraderos estén adaptados tecnológicamente para la primera transformación de esta materia prima, que en su mayor parte procede de bosques gallegos no intervenidos o intervenidos con fines distintos a la producción maderera, lo que da lugar a que la madera de roble que llega al aserradero sea poco uniforme y de baja calidad para sierra.

En Galicia la producción de frondosas es más baja e irregular que la de coníferas. Por ello, las frondosas, a excepción del eucalipto, son aserradas en instalaciones de pequeño tamaño (menos de 10 empleados). Los aserraderos son empresas a menudo familiares, que abastecen mercados locales, con gran capacidad para modificar su producción pero con instalaciones infrautilizadas. Tecnológicamente son plantas poco avanzadas aunque son muy relevantes en Galicia y están adaptadas a las características del monte gallego. De hecho, la gran implantación de la industria de sierra en Galicia se explica por la proximidad del suministro de materias primas, la disponibilidad laboral, un buen índice de aprovechamiento de la madera considerando la calidad de la misma, un régimen de trabajo flexible que permite adaptar la producción a las oscilaciones del mercado y una producción personalizada hacia los clientes.

A pesar de esta adaptación de las instalaciones industriales a su entorno existen aspectos negativos que condicionan el futuro del sector del aserrado: escasez de madera apta para sierra, mala relación calidad/precio, baja productividad, bajo volumen de producción con repercusión elevada de costes fijos, calidad comercial poco homogénea, producción principal de bajo valor

añadido y parque de maquinaria obsoleto y poco automatizado (PASTOR y SALGADO, 1999). Además, el margen de beneficio de la industria de aserrado se reduce progresivamente por el coste de la materia prima y el aumento de los costes salariales. El resultado es un estancamiento y reestructuración que lleva a la desaparición de aserraderos no rentables, quedando solo aquellos que aumentan su productividad (DGCONA, 1999).

Muchos aserraderos buscan el rendimiento en volumen pero no procuran la producción de piezas de calidad. Como resultado, la transformación de trozas de roble en aserraderos gallegos ofrece un rendimiento volumétrico del 48 %, que baja hasta el 8 % si se considera solamente la madera aserrada apta para su empleo con fines estructurales en construcción (RIESCO MUÑOZ et al., 2013). Se comprobó que el bajo rendimiento en piezas utilizables en estructuras se debía principalmente a la presencia de daños por insectos xilófagos (RIESCO MUÑOZ et al., 2014).

El tratamiento y la elaboración de la madera son escasos y no existe ni la normalización ni el control de calidad exigidos por ciertos mercados. En el peor de los casos las piezas no se clasifican y se venden al precio de la peor calidad (OLGIATI, 1996). No se clasifica debido, entre otras causas, a la escasez de madera de roble apto para sierra, lo que obliga a aceptar materia prima mediocre y el resultado es una transformación industrial reducida y poco competitiva. No hay una producción regular de roble en diferentes escuadrías puesto que o bien se sierra a medida o se siguen, con escaso rigor, ciertas dimensiones comerciales. Este aspecto condiciona sobremanera la colocación del producto en el mercado. Son almacenistas externos quienes compran madera gallega y la vuelven a clasificar según dimensiones y calidades, para venderla a un precio mayor.

Las dimensiones y la calidad de la troza condicionan el tipo de despiece, que influye decisivamente en el rendimiento final en piezas aserradas y en las características de los productos obtenidos (PERAZA, 1988). Un despiece radial estricto o a la malla, aquel en el que todas las piezas obtenidas son radiales, es poco práctico porque obliga a realizar numerosos giros y subdivisiones de las trozas y exige además que éstas sean de gran diámetro. Una alternativa son los sistemas de corte tangencial, de los que el más sencillo es el corte paralelo, corrido, en bloque o en cachones, pues no precisa girar la troza en el carro (BARY-LENGER y NEBOUT, 1993). Por último, existen despieces que no se ajustan a un patrón específico radial o tangencial por lo que algunas piezas serán radiales y otras serán tangenciales, no predominando un tipo sobre otro (RIESCO MUÑOZ et al., 2013). El despiece más habitual se efectúa mediante cortes tangenciales paralelos al eje longitudinal de la troza. De este modo, la diferencia de diámetros entre las testas de las trozas se reparte entre los costeros, que presentan forma de cuña debido a la conicidad del tronco (TUSET y DURÁN, 1986).

La dureza y la humedad de la madera influyen en el rendimiento horario del proceso y en la productividad dado que la dureza condiciona la forma del diente a utilizar en la cinta de la sierra de cabeza. La forma del diente está relacionada con el paso entre dientes y ambos, forma del diente y paso, limitan la velocidad de alimentación de la madera y de avance de la cinta. El sobrealto a emplear (en forma de triscado o chafado) depende también, entre otros factores, de la dureza de la madera y de su humedad (GONZÁLEZ, 1968).

Los indicadores de productividad en el aserrado son instrumentos útiles para controlar, evaluar y mejorar la eficacia del proceso de transformación de la madera. Estos indicadores se calculan dividiendo la cantidad de madera procesada en el aserradero, o la cantidad de producto obtenido, entre el tiempo transcurrido en el proceso (NÁJERA-LUNA et al., 2011).

En la medida de tiempos se considera desde que la primera troza se coloca en el carro de la sierra hasta que la última pieza escuadrada sale de la sierra tras practicar el último corte. Siguiendo a Nájera-Luna et al. (2011), los tiempos de trabajo se dividen en:

- tiempos productivos
 - o tiempo de carga de la troza en el carro
 - o tiempo de avance del carro contra la sierra de cinta
 - o tiempo de retroceso del carro a la posición de partida
 - o tiempo de volteos de la troza en el carro
- tiempos improductivos
 - o necesarios (mantenimiento de equipos y atención a imprevistos)
 - o innecesarios (procesos ajenos al proceso de aserrío, como son los descansos del personal).

Un posible indicador de productividad es el que cuantifica la superficie de madera aserrada por unidad de tiempo. Para su cálculo se establece la relación entre superficie total de caras abiertas en el lote de trozas y el tiempo total de aserrado (TUSET y DURÁN, 1986). La relación se da en metros cuadrados por hora para cada instalación de aserrado y para cada sesión de trabajo, siendo un parámetro indicador del trabajo realmente realizado por la sierra. La superficie de aserrado por troza se calcula midiendo la longitud total de los cortes a la escala del plano de despiece, transformando esta longitud en metros reales y multiplicando por la longitud de la troza. De este modo se obtiene la superficie aserrada en cada troza, que se acumula al resto de las aserradas en la misma sesión para dividir el total por la duración de la sesión de aserrado. Cuando las trozas no son sensiblemente cilíndricas las superficies abiertas en cada corte no se asimilan a rectángulos sino a trapecios.

También se puede emplea el rendimiento horario en metros cúbicos de madera procesada por hora, por tratarse de un parámetro de uso frecuente en la industria, aunque no permite caracterizar un aserradero puesto que es muy dependiente de la escuadría de las piezas obtenidas y de factores ajenos a la capacidad de la sierra, como la calidad de las trozas aserradas y el sistema de despiece practicado en cada ocasión.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de las características de las trozas de madera de roble en la productividad del aserrado, expresada mediante tres indicadores: consumo de trozas en metros cúbicos con corteza por hora, rendimiento horario en metros cúbicos de piezas aserradas obtenidas por hora y productividad en metros cuadrados de caras abiertas por hora.

3. Metodología

La muestra de madera analizada procedía de 50 robles adultos (edades entre 41 y 141 años, diámetros normales entre 32 y 73 cm, volumen medio unitario con corteza de 826 dm³), que fueron apeados en masas forestales de las cuatro provincias gallegas. Para manejar materia prima con un rango de humedades suficientemente amplio, las trozas obtenidas tras el apeo permanecieron apiladas con corteza, al aire libre y sin cubierta durante un número de días variable (tabla 1).

En cada aserradero y en cada sesión se aserró un lote de trozas, de las que se determinaron las siguientes características, para valorar su posible influencia en el rendimiento horario y en la productividad del aserrado:

- tiempo de secado en rollo, en días (considerando que guarda relación con la humedad de la troza en la sierra)
- diámetro mínimo con corteza, en milímetros
- longitud de la troza, en milímetros
- elipticidad (cociente entre el diámetro mayor y el menor de la sección en la testa más pequeña, en porcentaje)

- conicidad (diferencia entre los diámetros extremos de la troza, expresada en porcentaje de su longitud)
- volumen medio con corteza de la troza aserrada (en decímetros cúbicos), obtenido a partir de funciones de perfil de fuste construidas mediante arcos de parábola
- dureza Monnin de la madera (IRANOR, 1977) obtenida sobre dos probetas de cada troza.

Para cada aserradero y sesión de aserrado se calculó la media de las variables anteriores, ponderando con el volumen con corteza de las trozas procesadas (salvo para la variable volumen). Así mismo, se calcularon las siguientes variables características del producto obtenido:

- número de piezas aserradas por troza
- volumen medio de la pieza aserrada (en decímetros cúbicos).

Las trozas se aserraron generalmente en aserraderos de pequeña dimensión y no siempre en las inmediaciones de la zona de corta, dado que no es fácil encontrar aserraderos próximos a los puntos de apeo que accedan a interrumpir su ritmo de producción para despiezar solo algunas trozas con un procedimiento de corte a medida.

Los aserraderos seleccionados fueron divididos en dos clases, siguiendo el criterio de Colmenares (1995):

- aserraderos de roble, que son aquellos en los que más del 60 % de la producción es roble
- aserraderos de coníferas y otras frondosas.

El procedimiento de despiece se inició girando la troza sobre el carro hasta que la orientación norte (marcada en la troza) quedaba completamente hacia abajo o completamente hacia arriba, con lo cual los primeros cortes llevaban la dirección norte-sur. En giros sucesivos de 90° en el carro se obtendrían por tanto cortes este-oeste y norte-sur. Por ello la troza no se colocó en el carro atendiendo a criterios como flecha, elipticidad, excentricidad y otros aspectos morfológicos que buscan el máximo aprovechamiento de la madera.

El despiece también vino condicionado por la intención de obtener el mayor número de piezas radiales. Aunque las tablas radiales secan más lentamente debido a que el agua migra mejor en sentido radial, el interés por este tipo de piezas se debe a que presentan la albura más localizada en un canto y son más estables dimensionalmente frente al secado (por efecto de la anisotropía de la madera las tablas radiales no se deforman y encogen menos).

Siempre que fue posible se empleó el aserrado radial con una o varias líneas de corte, que es un tipo de aserrado radial simplificado:

- a: radial con una línea de corte
- b: radial con dos líneas de corte y aserrado paralelo de un medio rollo
- c: radial con dos líneas de corte y aserrado paralelo de los dos medios rollos
- d: radial con tres líneas de corte (figura 2).

El aserrado radial completo no es aplicable en rollos de menos de 40-50 cm debido a las subdivisiones que hay que practicar sobre la troza y porque obliga a efectuar muchos enganches y voltear medios rollos, que son piezas inestables, además de giros y volteos de piezas parcialmente aserradas.

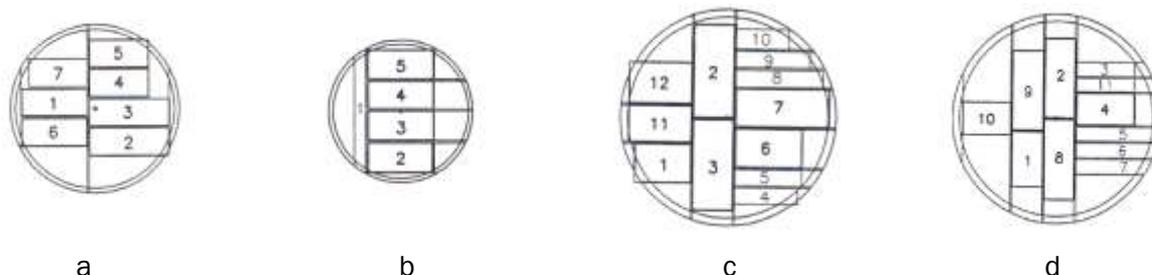


Figura 2. Ejemplos de los cuatro tipos de despiece efectuados.

Respecto a la continuidad de los cortes, en todos los casos se aserraron las trozas mediante cortes sucesivos, realizando un solo corte en cada desplazamiento del carro, volteando la troza para poder realizar cortes perpendiculares. No se practicó ningún corte durante el retroceso del carro.

Para cada lote de piezas se registró el tiempo total de aserrado, que abarca las operaciones que van desde la colocación del lote de trozas en el muelle de carga hasta la salida de la última pieza aserrada por el final de la línea. En el tiempo de aserrado se incluye el tiempo de sierra efectivo y tiempos muertos como el retroceso del carro y sus avances en falso, los giros de la troza, la limpieza o eliminación de corteza, los ocasionales atascos de las trozas en la línea de alimentación, el labrado con motosierra de las aletas en las trozas más anchas, la limpieza ocasional de la cinta en la sierra y su sustitución, el engrase manual de la misma, etc. además de otras pérdidas de tiempo de aserrado impuestas por el tipo de trabajo realizado: indicaciones al aserrador sobre el despiece que se desea, rotulación de los tablonos, mediciones en las trozas, etc.

En algunas ocasiones se realizó canteado y desdoblado fuera de la sierra de cabeza. La duración de estas operaciones no se incluyó en el tiempo de aserrado.

Con el despiece se obtuvieron 818 piezas aserradas de varias dimensiones nominales:

- 349 tablonos de 7 por 17 por 300 cm
- 205 tablonos de 7 por 12 por 200 cm
- 264 tablas de tres o más centímetros de grueso y ancho y largo variable.

En fábrica se realizó un croquis del despiece de cada troza, indicando en el mismo los cortes efectuados y la posición de las piezas obtenidas. Posteriormente, las piezas trasladadas a las instalaciones de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Lugo fueron cubicadas en verde midiendo su longitud, anchura y grosor con precisión de un milímetro. Se consideró en la medida que la longitud de la pieza es la distancia mínima entre testas, la anchura es la distancia mínima entre cantos (medida a más de 15 cm de las testas) y el grosor es la distancia mínima entre caras (medida a más de 15 cm de las testas).

A partir del croquis de despiece y con las dimensiones de la escuadría de cada una de las tablas y tablonos se procedió a delinear los planos de despiece a escala 1:10 de las trozas (ver cuatro ejemplos en la figura 2). La sección de troza que se representa en el plano es la correspondiente al diámetro medio en punta delgada, por ser el que condiciona el método de aserrado.

Con la información recopilada se calcularon las siguientes variables de proceso:

- consumo de trozas, en metros cúbicos con corteza por hora
- rendimiento en piezas aserradas, en metros cúbicos producidos por hora
- productividad, en metros cuadrados de caras abiertas por hora.

Para el cálculo de los estadísticos descriptivos de las variables y el análisis posterior se emplearon los programas Excel 2010 e IBM SPSS Statistics 25.

4. Resultados

Los estadísticos descriptivos de las variables características de la materia prima y del proceso, promediadas o agrupadas por aserradero y sesión de trabajo, se encuentran en la tabla 1.

Para el cálculo del rendimiento horario y de la productividad se aserró madera en 17 aserraderos: en catorce de ellos se aserró un lote y en cada uno de los otros tres se aserraron dos lotes. Por tanto, en total se dispone de 20 datos de rendimiento horario y productividad. De los 17 aserraderos, 11 eran fábricas de madera aserrada de roble, que ocasionalmente transformaban castaño y otras frondosas. Se aserraron entre 2 y 13 trozas por aserradero (de media cada troza cubicaba 410 dm³ con corteza), con un tiempo medio de aserrado de dos horas por lote. El tiempo de secado de las trozas antes del aserrado varió en un amplio rango: desde 0 días (apeo, troceado y aserrado en el mismo día) hasta casi once meses. Por cada troza se obtuvieron de media 8,1 piezas aserradas, de 23,6 dm³ de volumen medio cada pieza.

La forma, dimensiones y dureza de las trozas fueron relativamente homogéneas entre aserraderos. Además, en todos los casos se aserraron las trozas con sierra sinfín vertical simple. Sin embargo, a pesar de esta aparente uniformidad las tres variables indicadoras de rendimiento y productividad presentaron gran dispersión de resultados, a juzgar por el coeficiente de variación y el rango de valores de la muestra. Los rendimientos horarios y productividades variaron desde los 0,6 m³ de trozas procesadas por hora y 7 m²/h en un aserradero en el que la troza avanzaba sobre un galerín antiguo, hasta los 2,0 m³ de trozas procesadas por hora y 36 m²/h logrados en otro aserradero, bien manejado y mecanizado.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las variables cuantitativas propias de los aserraderos.

Variable y abreviatura	unidad	n	media	mínimo	máximo	CV %
Volumen de trozas procesado (vth)	m ³ /h	20	1,07	0,60	2,02	36
Rendimiento horario en volumen de tablas (rth)	m ³ /h	20	0,50	0,15	0,96	43
Productividad (pro)	m ² /h	20	19,0	7,0	35,7	38
Tiempo de secado en rollo (ts)	día	20	35,4	0,0	329,0	209
Diámetro mín. con corteza (d)	cm	20	38,8	27,5	55,3	17
Longitud de la troza (L)	cm	20	296,6	265,4	328,9	5
Elipticidad (elip)	%	20	113,7	104,0	126,0	5
Conicidad (con)	%	20	2,5	0,4	5,8	49
Dureza al 12 % (N ₁₂)		20	3,3	1,9	5,8	27
Volumen medio con corteza de la troza (vcc)	dm ³	20	410	193	845	39
Nº. de piezas por troza (n _t)		20	8,1	3,5	14,0	30
Volumen medio por pieza (v _p)	dm ³	20	23,6	9,9	37,6	31

4.1. Análisis de correlaciones

En la matriz de correlaciones (tabla 2) interesan en primer lugar las correlaciones significativas entre consumos de materia prima, rendimiento horario y productividad respecto de las demás variables. Solamente se observan correlaciones significativas de esta clase entre consumo (metros cúbicos con corteza consumidos por hora) y rendimiento horario (metros cúbicos de piezas

aserradas producidas por hora) con respecto al tiempo de secado en rollo y con respecto a la elipticidad media de las trozas del lote.

Por el contrario, la variable productividad resultó ser linealmente independiente de las variables analizadas en las trozas (dimensiones, forma, dureza y tiempo de secado) y en los productos (número de piezas obtenidas por troza, volumen medio de las piezas obtenidas). Esta aparente falta de relación entre productividad y variables de trozas y productos se atribuye a que las características de trozas y productos afectan previsiblemente al tiempo de aserrado efectivo, en tanto que la productividad, al igual que el consumo y el rendimiento, se calcularon considerando el tiempo de aserrado total, en el que se incluye tiempo de aserrado efectivo y tiempos improductivos, estimándose el tiempo de aserrado efectivo en un tercio del tiempo total de aserrado (Peraza, 1988). De este modo, la esperable vinculación entre las características de la materia prima-producto y la productividad quedaría en parte oculta.

Sin embargo, es destacable que las piezas más secas y elípticas son aserradas más rápidamente, a juzgar por los valores significativos del coeficiente de correlación y a la vista de la distribución de valores en la figura 3. La influencia positiva de la elipticidad en la velocidad de proceso puede deberse a que la geometría elíptica permite obtener más fácilmente piezas rectangulares cuando el lado mayor de la pieza rectangular tiene la misma orientación que el diámetro mayor de la troza. Esta coincidencia entre orientaciones es ocasional y no se debe a un aserrado preferente según el eje mayor de la sección de la troza ya que, como se indicó en el capítulo de Metodología, la orientación inicial de los cortes se hizo sistemáticamente en la dirección norte-sur que tenía el árbol en pie.

Con todo, la figura 3 muestra que el incremento en el consumo y en el rendimiento horario solo es apreciable para valores muy altos de elipticidad, que son los que explican la alta significación de las correlaciones en la muestra analizada. Sería deseable disponer de más valores de elipticidad superiores a 120 % para confirmar la tendencia creciente y significativa de esta correlación.

En lo referente a la correlación, positiva, entre rendimiento horario y tiempo de secado en rollo cabe indicar que, si el tiempo de secado en rollo es un estimador de la humedad que presenta la madera en el momento del despiece, la relación entre rendimiento y tiempo de secado debería ser negativa: menos tiempo de secado en rollo supone madera más húmeda y, por tanto, madera más blanda y fácil de trabajar. Sin embargo, rendimientos y productividades se calcularon sobre tiempos de aserrado totales, que incluyen tanto tiempo de aserrado efectivo como tiempos muertos, que son la mayor parte, como se ha comentado. Por tanto, la madera que lleva más tiempo secando en rollo está más seca y es más dura, lo que aumentaría el tiempo de sierra efectiva, pero es también madera más ligera y menos resbaladiza, por lo que su mayor facilidad de manejo reduce los tiempos muertos y aumenta los rendimientos horarios.

La figura 3 muestra que la vinculación entre velocidad de proceso y tiempo de secado es apreciable cuando los tiempos de secado son suficientemente dilatados como para que la consiguiente reducción de humedad de las trozas, almacenadas con corteza y apiladas al aire, se traduzca en cambios de las características de la madera.

Se podría intentar construir un modelo predictor del consumo o rendimiento horario basado en tiempo de secado y elipticidad de la troza como variables predictoras, para mejorar la calidad de las predicciones respecto de un modelo basado en una sola variable. Sin embargo, se desestimó esa posibilidad ante la posible colinealidad entre ambas variables predictoras, ya que se encuentran significativamente correlacionadas (tabla 2).

No son objeto de análisis las correlaciones obvias entre las tres variables de proceso o las correlaciones entre variables dimensionales entre sí.

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre las variables analizadas en los aserraderos.^{(1), (2)}

	vth	rth	pro	ts	d	L	elip	con	N ₁₂	vcc	n _t	v _p
vth	1,00											
rth	0,89**	1,00										
pro	0,69**	0,66**	1,00									
ts	0,60**	0,52*	n. s.	1,00								
d	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	1,00							
L	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	1,00						
elip	0,53*	0,54*	n. s.	0,49*	n. s.	n. s.	1,00					
con	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	1,00				
N ₁₂	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	1,00			
vcc	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	0,93**	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	1,00		
n _t	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	0,74**	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	0,73**	1,00	
v _p	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	0,60**	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	0,53*	n. s.	1,00

(1) El significado de las abreviaturas se encuentra en la tabla 1.

(2) **: significativo al 1 %; *: significativo al 5 %; n. s.: no significativo.

4.2. Análisis de la varianza

El análisis de la varianza no muestra diferencias significativas en cuanto a consumo, rendimiento o productividad en función del tipo de aserradero (aserradero de roble o aserradero de otras especies). La figura 3 ilustra esta afirmación. La especialización de algunos aserraderos en transformar madera de frondosas no implica que presenten mayores rendimientos o productividades en el aserrado de los robles de la muestra. De hecho, los cuatro peores valores de productividad corresponden a aserraderos de frondosas y el primero y tercer puestos corresponden a aserraderos de pino más tecnificados. Por tanto, el grado de tecnificación del aserradero y la correcta adecuación de las máquinas para el trabajo encargado (cambiar cinta de sierra de pino por otra para madera dura, empleo de marcador láser, etc.) tienen más influencia en el rendimiento que la clase de madera generalmente procesada en la instalación. En efecto, el primero, segundo y cuarto aserraderos por productividad estaban bien tecnificados en tanto que los dos últimos eran instalaciones obsoletas.

Así mismo, no se aprecian diferencias que destacar en los rendimientos y productividades por la ubicación del aserradero en una u otra provincia gallega.

5. Discusión

La gran dispersión de los resultados de productividad entre aserraderos ya fue indicada por Nájera-Luna et al. (2011), en un estudio basado en cinco aserraderos. El rendimiento horario en volumen de producto (0,50 m³ de piezas obtenidas por hora, tabla 1) es muy inferior a los 7,27 m³/h obtenidos por Nájera-Luna et al. (2011) en el aserrado de trozas de 3 a 5 m de longitud de especies de los géneros *Pinus* y *Quercus*. Así mismo, los valores de productividad obtenidos en promedio (19 m²/h) son muy inferiores a los 153 m²/h para eucalipto en Australia con sierra sinfín de carro, según referencia de Tuset y Durán (1986), lo cual informa de la lentitud del aserrado de la muestra de robles en el presente estudio, debido a las especiales circunstancias en que se produjo. Como se indicó en el capítulo de Metodología, los resultados de productividad obtenidos corresponden a tiempos totales de aserrado incluyendo tiempos muertos (tiempo de enganche y posicionado de la troza, obtención de secciones de las testas de las trozas, reorientación de las escuadras del carro en piezas muy cónicas, etc.), razón por la cual no son resultados exactamente comparables con los rendimientos usuales en la industria ni con los resultados que ofrece la bibliografía consultada. En la

fase de aserrado del presente estudio no se ha pretendido maximizar la productividad. En efecto, la productividad y el rendimiento se calcularon en unas condiciones de trabajo (tamaño de troza, tipo de despique, clase de madera, flujo de operaciones) diferentes de las ordinarias en los aserraderos visitados. Por otra parte, los valores obtenidos para rendimientos y productividad corresponden a aserraderos de pequeñas dimensiones, puesto que es en éstos en los que se trabajó, y dichos resultados no son extrapolables a aserraderos de mayor tamaño, donde el procesado de la madera es diferente.

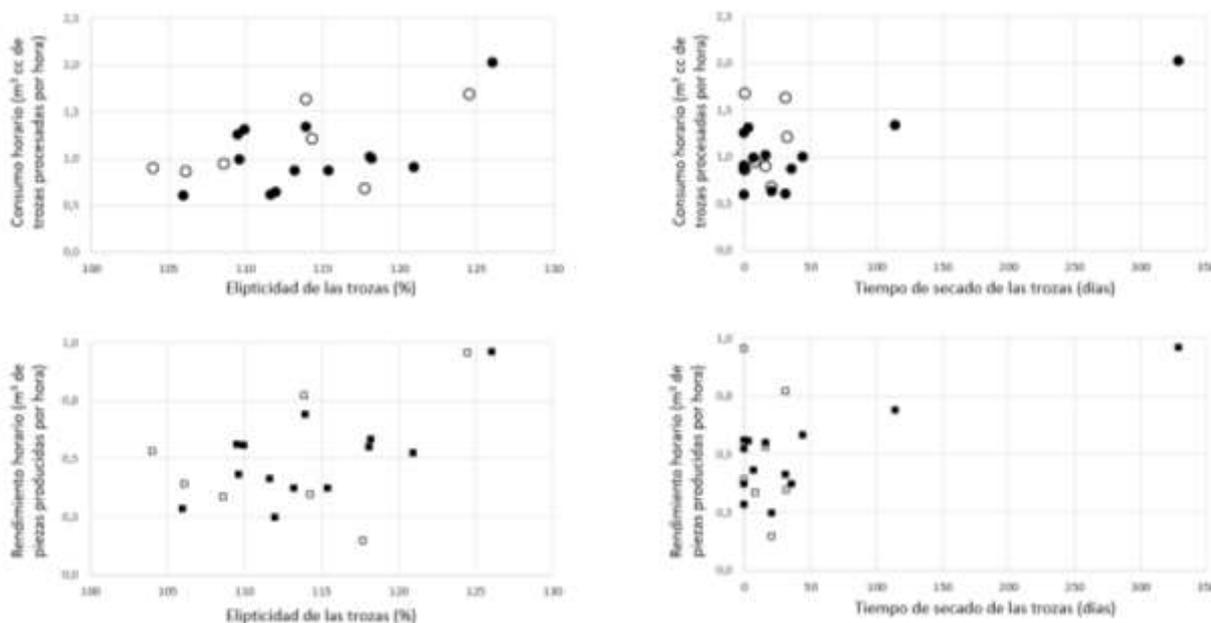


Figura 3. Gráficas de dispersión para las variables correlacionadas de mayor interés. Los puntos negros fueron resultados obtenidos en aserraderos de frondosas. Los puntos blancos corresponden a aserraderos de coníferas. cc: con corteza.

En este análisis se asume que las especiales circunstancias en las que se efectuó el aserrado fueron comunes a todos los aserraderos con los que se ha trabajado y, por tanto, se considera que todos ellos vieron reducido su ritmo de trabajo habitual en igual medida.

6. Conclusiones

Las trozas de madera más seca y con sección más elíptica dan lugar a mayor rendimiento horario, sin que la especialización de algunas fábricas como “aserraderos de frondosas” suponga una mejora significativa de la velocidad del proceso de aserrado.

A pesar de la creciente mecanización de los aserraderos, en futuros estudios sobre productividad del proceso debería incorporarse como variable explicativa de los resultados el número de operarios que intervienen, para obtener indicadores de rendimiento y productividad por hombre y hora.

7. Bibliografía

BARY-LENGER, A.; NEBOUT, J. P.; 1993. Les chênes pédonculé et sessile en France et en Belgique. Gerfault Club. Editions du Perron. 120-173. Allier-Liège.

COLMENARES, M.; 1995. Estudio del sector forestal en la provincia de Lugo (el sector del aserrío). Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación de la Provincia de Lugo. 65 pp. Lugo.

DGCONA; 1999. Estrategia forestal española. Ministerio de Medio Ambiente. 297 pp. Madrid.

EUROSTAT; 2020. Complete database. Oficina Europea de Estadística. Luxemburgo.

GONZÁLEZ, M. A.; 1968. Manual para el afilado y conservación de sierras de cinta y circulares. AITIM. 100 pp. Madrid.

INSTITUTO GALEGO DE ESTATÍSTICA; 2020. Análise da cadea forestal madeira. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.

IRANOR; 1977. UNE 56534:1977. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la dureza. IRANOR. Madrid.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN; 2020. Anuario de estadística. Subdirección General de Análisis, Coordinación y Estadística. Madrid.

NÁJERA-LUNA, J. A.; AGUIRRE-CALDERÓN, O. A.; TREVIÑO-GARZA, E. J.; JIMÉNEZ-PÉREZ, J.; JURADO-YBARRA, E.; CORRAL-RIVAS, J. J.; VARGAS-LARRETA, B.; 2011. Tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México. Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Ambient, 17(2). 199-213.

OLGIATI, J. P.; 1996. Optimización del rendimiento de la materia prima. Boletín de Información Técnica AITIM, 183. 27-29.

PASTOR, J. C.; SALGADO, M.; 1999. El fomento de la transformación de productos forestales en Galicia. Actas del Congreso de Ordenación y Gestión Sostenible de Montes, vol. II. 329-336. Santiago de Compostela.

PERAZA, C.; 1988. Comunicación personal.

RIESCO MUÑOZ, G.; REMACHA GETE, A.; GASALLA REGUEIRO, M.; 2013. Variation in log quality and prediction of sawing yield in oak wood (*Quercus robur*). Annals of Forest Science, 70 (7). 695-706.

RIESCO MUÑOZ, G.; REMACHA GETE, A.; GASALLA REGUEIRO, M.; 2014. Sawing yield in oak (*Quercus robur*) wood affected by insect damage. International Biodeterioration & Biodegradation, 86. 102-107.

TUSET, R.; DURÁN, F.; 1986. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Hemisferio Sur. 697 pp. Montevideo.