



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-093

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Estimación de la producción de corcho a partir de datos LIDAR

LOBO SÁNCHEZ, A.¹, TOMÉ MORAN, JL¹, NAVARRO FERNÁNDEZ, J¹, SÁNCHEZ PELLICER, T¹ JA¹, CANTÓN MEGÍA, y OLIVAR SÁNCHEZ MOLINERO, J.¹

¹ Agresta S. Coop. C/ Duque de Fernán Núñez, 2, 1º 28012. Madrid

Resumen

La tecnología LiDAR está modificando sustancialmente la forma de generar información útil para la toma de decisiones en la planificación y la gestión forestal.

En el caso concreto de montes productores de corcho los métodos tradicionales de inventario se basan en la medición de variables dendrométricas en muestreos sistemáticos de campo, para aplicar modelos de árbol individual. Estas mediciones son muy costosas y en general presentan un error elevado a escala de rodal.

En la presente comunicación se describe como se ha calculado un modelo de masa que permita estimar el peso de corcho en verde a partir de estadísticos LiDAR. Para ello se han usado los datos procedentes de inventarios forestales por muestreo aleatorio simple (M.A.S.) en montes de los términos municipales de Mérida, San Pedro de Mérida y Cáceres.

Se obtienen estimaciones de producción de corcho a escala rodal a partir de los datos LiDAR y se comparan con las hechas a partir de M.A.S. También se analiza el grado de ajuste que presentan estos valores con respecto a los datos de producción real del último descorche.

Palabras clave

Inventario, *Quercus suber*, alcornoque, métodos de masa, peso de corcho.

1. Introducción

La distribución del alcornoque a nivel mundial se concentra en los países asociados a la región mediterránea occidental. Aunque las superficies de alcornocal concentradas de la Península Ibérica (España y Portugal) suponen más de la mitad de la superficie mundial, cabe destacar la presencia del alcornoque en otros países de la cuenca mediterránea, como son Marruecos, Argelia y Túnez, en la zona Norte de África, y Francia e Italia, en la zona suroeste de Europa.

En la actualidad España es tras Portugal el segundo productor mundial de corcho. Con una media de producción anual de 58.414 toneladas (MAPAMA, 2014) que representan alrededor del 30% de la producción de corcho a nivel mundial.

Dada la importancia de esta actividad económica y su relevancia en la conservación de los ecosistemas que la sustentan, resulta conveniente desarrollar herramientas que sirvan para mejorar la gestión de estas masas forestales, evaluar la evolución de las mismas y mejorar las previsiones de producción a diferentes escalas territoriales.

Una de las principales herramientas que contribuyen a estos objetivos son los modelos de estimación de corcho. Existen numerosos modelos tanto de árbol individual como de masa que permiten estimar la producción de corcho. Sin embargo en lo referente a modelos basados en información LiDAR no se ha encontrado información.

DE BENITO, 1989 indica la utilidad que tendría el desarrollo de modelos que relacionen la fracción de cabida cubierta (FCC) con la producción de corcho para realizar inventarios mediante teledetección.

A partir de los datos LiDAR procedentes del PNOA se pueden calcular con precisión los valores de FCC de las masas forestales. En el presente estudio se hace una primera aproximación para evaluar diferentes estadísticos LiDAR como posibles variables independientes de un modelo de masa para la estimación del peso de corcho.

Según VÁZQUEZ-PIQUE (2008), este tipo de modelos que utilizan como variables independientes la FCC van a ser un mejor reflejo de la producción de corcho por hectárea si:

- Se realizan en una zona homogénea en cuanto a las características de la estación.
- La zona geográfica donde se realizan las predicciones es la misma o muy similar a la utilizada para la toma de los datos empleados en el ajuste del modelo.
- Se realiza una gestión homogénea en toda la zona, traducida en la aplicación de una intensidad de descorche muy similar para todos los pies. Este hecho se puede aproximar más a la realidad en el caso de que la masa tenga una estructura regular.
- Los valores de la variable independiente están próximos al valor medio de la variable independiente utilizado en el ajuste.

Para este estudio se ha partido de una serie de parcelas de inventario levantadas para la ordenación de cuatro montes situados en las sierras situadas en el límite de las provincias de Cáceres y Badajoz por lo que previsiblemente las calidades de estación son similares.



Figura 1. Dehesa del área de estudio en época de descorche

Se trata de montes adehesados (Figura 1) de propiedad privada donde la actividad principal es la ganadera por lo que también es de esperar que la gestión se haya realizado tradicionalmente de forma similar.

2. Objetivos

Los objetivos del presente estudio son:

- Desarrollar un modelo de producción de corcho basado en la medición de variables de masa a partir de los estadísticos LiDAR.
- Estimar la producción de corcho en cuatro montes a partir del modelo desarrollado.
- Comparar la predicción mediante métodos clásicos y muestreo aleatorio simple (M.A.S.) con la obtenida a partir del modelo calculado y el nivel de ajuste de ambas predicciones con la producción real de los montes.

3. Metodología

3.1 Descripción del área de estudio

Para el desarrollo de este estudio se han utilizado los datos de inventario de los planes técnicos de ordenación realizados en cuatro montes (Tabla 1).

Tabla 1. Montes objeto de inventario

| Monte | Municipio | Provincia | Superficie (ha) |
|---------|------------------------------|-----------|-----------------|
| Monte 1 | Mérida | Badajoz | 245,24 |
| Monte 2 | Mérida | Badajoz | 515,56 |
| Monte 3 | Mérida y San Pedro de Mérida | Badajoz | 116,17 |
| Monte 4 | Cáceres | Cáceres | 959,75 |
| Total | - | - | 1.836,73 |

La superficie que se ha contemplado para el estudio se corresponde únicamente con aquellos estratos en los que el alcornoque está presente.

3.2 Descripción de los datos de campo

El trabajo de campo se realizó entre los meses de enero y abril de 2015. Los inventarios se realizaron con la metodología de M.A.S. Se levantaron 149 parcelas circulares distribuidas de forma sistemática por la zona de estudio en una malla cuadrada de 350 metros (Tabla 2).

Tabla 2. Caracterización de los inventarios

| Monte | Número de parcelas | Radio (m) |
|---------|--------------------|-----------|
| Monte 1 | 22 | 25 |
| Monte 2 | 41 | 30 |
| Monte 3 | 9 | 35 |
| Monte 4 | 77 | 30 |
| Total | 149 | - |

Con estas cifras se calcula una intensidad de muestreo de una parcela cada 12,33 ha

Trabajando con parcelas LiDAR lo ideal es levantar el centro de parcelas con precisión submétrica, sin embargo para este trabajo se aprovecharon los datos de campo de las ordenaciones de los montes en los que no está justificado el aumento de coste que supone usar estos dispositivos. Los centros de parcela se levantaron mediante un GPS Trimble Juno SD con precisión de 2 a 5 metros. Los límites de la parcela circular se replantearon con un hipsómetro VERTEX2.

En cada parcela se midieron entre otros, los siguientes parámetros de interés para el presente estudio:

- Diámetro normal (d) de todos los pies mayores ($>7,5$ cm),
- Circunferencia a la altura del pecho (cap) de todos los pies mayores de alcornoque (*Quercus suber*),
- Altura de descorche (hd) de todos los alcornoques descorchados. Cuando el alcornoque presentaba ramas descorchadas se tomó como altura de descorche la de la rama más larga.
- Espesor de corcho (ec) a la altura del pecho. Solo se midió en la submuestra de árboles modelo, siendo estos los dos más cercanos al centro de la parcela

3.3 Estimación de variables dendrométricas

Para el procesado de los datos se calcularon las principales variables dendrométricas de los pies mayores inventariados:

- Área basimétrica (G): se calculó a partir de los valores medidos de circunferencia a la altura del pecho (cap).
- Circunferencia bajo corcho (cbc): se calculó a partir de las mediciones de cap y el calibre medio medido en los dos árboles modelo de cada parcela (Ecuación 1):

$$1. \quad cbc = cap - 2 * \pi * ec$$

- Peso de corcho (pc): se han usado los modelos desarrollados por MONTERO et al. (1996) correspondientes a la zona 1 de las definidas en su estudio, localizada principalmente en las provincias de Badajoz (vertiente sur de las Sierra de San Pedro) y Cáceres (vertiente norte de la Sierra de San Pedro, Montánchez, Sierra de Miravete y La Vera). (Ecuación 2 y Ecuación 3):

$$2. \quad pc = -1,02 + 11 * cbc * hd \quad (si \quad cbc * hd > 2 \text{ m}^2)$$

$$3. \quad pc = 10,69 * cbc * hd \quad (si \quad cbc * hd > 2 \text{ m}^2)$$

- Superficie de descorche (sd): es el producto de la cbc por la hd .
- Intensidad de descorche (id): relación entre la superficie de descorche real y la sección normal, es adimensional y un indicador de la presión de descorche.

3.4 Proyección de variables de masa

El procesado de datos de inventario es el característico de un M.A.S:

- Valores por parcela: el cálculo de los valores por parcela se ha obtenido por integración de todos los pies mayores medidos en la misma.

• Valores por rodal y monte: el cálculo de los valores de cada uno de las unidades dasocráticas se se ha realizado a partir de las parcelas incluidas en la las mismas. Además del cálculo de la media se calculó la desviación típica y el intervalo de confianza al 95 % (Ecuación 4),

$$4. \left(\bar{X} - \frac{Desvest}{\sqrt{n}} * 0,05 < \bar{X} < \bar{X} + \frac{Desvest}{\sqrt{n}} * 0,05 \right)$$

Donde n es el número de parcelas del rodal y X la media.

También se ha calculado la intensidad de descorche media de la masa a partir de los pies de alcornoque de las muestras de cada monte.

$$5. IDM = \frac{\sum_{i=1}^n SD_i}{\sum_{i=1}^n SN_i}$$

3.5 Descripción de la información LiDAR

Para el inventario LiDAR se utilizaron datos capturados dentro del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) en el Año 2010, con una densidad de 0,5 pulsos/m², precisión altimétrica de 20 cm, servidos por el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) con un primer procesado por parte del Instituto Geográfico Nacional (IGN): datos clasificados, con alturas ortométricas y coloreados con las propias ortofotos capturadas por el PNOA.

Para la generación de los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) de 2 m de paso de malla y el cálculo de estadísticos de estructura de vegetación (a partir de los retornos clasificados como vegetación en la nube de puntos) se utilizaron herramientas propias de Agresta trabajando sobre la plataforma de FUSION, desarrollado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (MCGAUGHEY y CARSON, 2003).

Para el procesado de la información LiDAR en continuo se ha optado por usar un tamaño de pixel coincidente con la superficie de la mayoría de las parcelas de campo de radio 30 metros (2827,43 m²) ya que es el más frecuente en la muestra. En consonancia con lo recomendado por otros autores (MAGNUSSEN y BOUDEWYN, 1998; CONDES et al, 2013), se ha utilizado por tanto un tamaño de celda equivalente de 53x53 metros (2809 m²) para realizar el análisis de los datos LiDAR.

Para el cálculo de los estadísticos de vegetación se utilizaron únicamente los retornos por encima de 2 metros del suelo, de esta forma se incluyeron en el cálculo únicamente los puntos de vegetación correspondientes al estrato arbolado, evitando incluir en el computo retornos del láser correspondientes a afloramientos rocosos o matorral. Se calculó una batería de más de 70 estadísticos relacionados con la distribución de alturas y coberturas de la celda. Los principales estadísticos calculados fueron los diferentes percentiles de alturas sobre el suelo L_{Pi} (NILSSON, 1996) y la estimación de la fracción de cabida cubierta L_{FCC} calculada como el porcentaje de primeros retornos por encima de 2 metros de altura (HOPKINSON & CHASMER, 2009).

3.6 Corte y cálculo de estadísticos de las parcelas de inventario

Con objeto de describir mediante la información LIDAR la estructura de la vegetación en cada parcela de campo, se cortaron las nubes de puntos del PNOA usando el centro de la parcela y el radio correspondiente. A partir de la nube de puntos del corte de cada parcela se calculó una batería de estadísticos de coberturas y distribución de alturas de la vegetación equivalentes a las calculadas en continuo para cada uno de los montes.

3.7 Estimación de las variables de masa de los montes a partir de los datos LiDAR

Para la ejecución del inventario LiDAR se seleccionó la metodología de métodos de masa, que consiste en el ajuste de regresiones, que relacionan estadísticos de la nube de puntos de las parcelas, con las variables de masa que necesitamos para la planificación y gestión forestal: altura dominante, número de árboles, área basimétrica, volumen, biomasa, etc. (HYYPÄ et al., 2008; FERNÁNDEZ Y RODRÍGUEZ, 2013) y en este caso peso de corcho. Aplicando estas regresiones a los estadísticos LiDAR procesados para todo el monte es posible generar una cartografía continua de peso de corcho para toda la superficie de los montes estudiados.

3.8 Calculo del modelo e indicadores de la bondad de ajuste

Del total de 149 parcelas levantadas para el inventario de los montes, 120 (80,5 %) tenían presencia de alcornoque y por tanto fueron preseleccionadas para el ajuste de los modelos de producción de corcho. El resumen de las principales variables dasométricas de las 120 parcelas de campo se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Caracterización de la muestra de parcelas preseleccionada

| Valores | Mínimo | Máximo | Promedio | Desviación típica |
|--|--------|----------|----------|-------------------|
| G (m ² /ha) | 0,18 | 22,86 | 6,58 | 4,97 |
| pc (kg/ha) | 40,24 | 4.622,12 | 1.123,38 | 919,94 |
| % G <i>Quercus suber</i> | 3% | 100% | 73% | 27% |
| Porcentaje de primeros retornos por encima de 2,00 m (FCC %) | 4,33 | 83,75 | 31,22 | 16,34 |

Los modelos obtenidos con esta primera base de datos no alcanzaban el grado de ajuste deseado, por lo que se seleccionó una submuestra de la base de datos utilizando únicamente aquellas parcelas con un G de alcornoque superior al 75% del total del G de la parcela. En total se usaron 70 de las 120 parcelas resumidas en la tabla anterior. En la Tabla 4 se resumen las principales variables dasométricas de las 70 parcelas de campo usadas para el ajuste de los modelos.

Tabla 4. Caracterización de la muestra finalmente utilizada para el ajuste de modelos

| Valores | Mínimo | Máximo | Promedio | Desviación típica |
|--|--------|----------|----------|-------------------|
| G (m ² /ha) | 1,55 | 22,86 | 8,99 | 4,76 |
| pc (kg/ha) | 244,26 | 4.622,12 | 1.550,78 | 920,64 |
| % G <i>Quercus suber</i> | 75% | 100% | 92% | 8% |
| Porcentaje de primeros retornos por encima de 2,00 m (FCC %) | 4,33 | 71,48 | 33,84 | 16,59 |

De las 70 parcelas usadas para el cálculo del modelo 62 (88,57%) tenían un radio de 30 metros 6 (8,57%) tenían un radio de 25 metros y solo 2 (2,86%) tenían un radio de 35 metros.

Partiendo de los valores por parcela de peso de corcho (pc) calculados en el inventario se ha ajustado un modelo de regresión potencial, que permite estimar la producción de corcho a partir de los estadísticos de estructura de vegetación calculados con la nube de puntos LIDAR.

Para ajustar el modelo de peso del corcho se ha usado la función *Nonlinear Least Squares* (nls) del paquete *stats* incluido en el software R (R CORE TEAM, 2013). Esta función utiliza el algoritmo de Gauss-Newton para estimar los parámetros del modelo no lineal por mínimos cuadrados.

Tanto en el ajuste del modelo como en la validación del modelo se han calculado el sesgo (Ecuación 6), la raíz del error cuadrático medio (Ecuación 7), el sesgo relativo (Ecuación 8) y la raíz del error cuadrático medio relativa (Ecuación 9) como estadísticos de contraste.

$$6. \quad b = \frac{\sum_1^n (pc_i - \widehat{pc}_i)}{n}$$

$$7. \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n (pc_i - \widehat{pc}_i)^2}{n}}$$

$$8. \quad b\% = \left(\frac{b}{\overline{pc}}\right) \times 100$$

$$9. \quad RMSE\% = \left(\frac{RMSE}{\overline{pc}}\right) \times 100$$

Para la validación del modelo se ha utilizado la técnica de remuestreo no-paramétrico de bootstrap. Esta técnica crea subconjuntos aleatorios en los que se ajusta de nuevo el modelo para estimar diferentes estadísticos de los residuos (HUET et al., 2003). En este caso se han creado 1000 subconjuntos y se ha obtenido para cada uno el RMSE de los residuos. El RMSE promedio de los residuos del bootstrap se usa como contraste para la validación del modelo.

4. Resultados y discusión

4.1 Modelo de producción de corcho a partir de datos LIDAR

El modelo ajustado con la submuestra de 70 parcelas es el siguiente:

$$pc \text{ (kg/ha)} = 58,72234 * P_{PRM}^{0,96615} * P_{01}^{0,50702}$$

Siendo:

P_{PRM} : porcentaje de primeros retornos por encima de la media

P_{01} : altura tal que el 1 % de los retornos están por debajo de ella.

Los indicadores de la bondad del ajuste del modelo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Indicadores de la bondad del modelo

| b | RSME | b% | RSME% | RSME bootstrapping | RSME% bootstrapping |
|------|--------|------|-------|--------------------|---------------------|
| 4,58 | 475,43 | 0,30 | 30,66 | 469,91 | 30,21 |

El ajuste del modelo es razonablemente bueno, con un orden de magnitud de RSME relativo similar al obtenido por otros autores en variables como el área basimétrica con LiDAR (RODRIGUEZ et al 2014; MONTEALEGRE et al., 2015) aunque para su aplicación, hay que tener en cuenta que solo se han usado las parcelas con un G de alcornoque superior al 75%. Esto se debe a que, en el caso de utilizar parcelas con un G de alcornoque igual o inferior al 75%, la influencia de las otras especies en la distribución de la nube de puntos impedía un ajuste aceptable del modelo.

4.2 Estimación de pc a partir del modelo

Una vez obtenido el modelo matemático se puede estimar el valor del peso de corcho de cada uno de los cuatro montes a partir de los estadísticos calculados en todos los píxeles de 53x53 metros de la imagen LiDAR.

La información LiDAR contenida en celdas de 53x53 se interseccionó con la división dasocrática de los montes para calcular los valores de pc a nivel de rodal, multiplicando el peso del corcho de cada tesela (en kg/ha) por la superficie de los misma y sumando los valores para cada rodal.

Los montes objeto de estudio presentan distintos grados de mezcla con la encina (*Quercus ilex* L.). Además, existen alcornoques que no están desbornizados y por tanto la cobertura de los mismos tampoco se debe de tener en cuenta a efectos del cálculo del pc. Para garantizar el buen funcionamiento del modelo solo se han utilizado los datos del inventario por M.A.S. para identificar aquellos rodales que están dentro del rango del modelo.

4.3 Resultados del inventario por M.A.S.

A partir de los datos de los inventarios realizados, se estimaron las diferentes variables dasométricas para cada una de las unidades dasocráticas. En la tabla 6 se muestra la proporción de cada una de las especies presentes en los montes.

Tabla 6. IDM y G (m²/ha) media de las especies presentes en cada monte

| Monte | <i>Q. ilex</i> | <i>Q. suber</i> | <i>Q. suber</i> (bornizo) | Total | % <i>Q. suber</i> | IDM |
|--------|----------------|-----------------|---------------------------|-------|-------------------|-------|
| Monte1 | 2,74 | 3,26 | 0,07 | 6,06 | 53,70 | 25,16 |
| Monte2 | 1,06 | 5,05 | 0,55 | 6,65 | 75,84 | 18,75 |
| Monte3 | 3,54 | 1,86 | 0,03 | 5,42 | 34,23 | 17,26 |
| Monte4 | 2,22 | 6,42 | 0,79 | 9,43 | 68,06 | 19,08 |

También se ha incluido la estimación del IDM como indicador de la gestión realizada en los montes.

Según MONTERO G. y CAÑELLAS I.; 2003, el IDM debe oscilar entre 22-24 para masas muy densas y 34-36 para alcornocales adeshados. Se observa por tanto que la intensidad de descorche de los montes refleja una gestión similar y que por tanto la muestra cumple la premisa de VÁZQUEZ-PIQUÉ, 2008 para que el modelo resultante sea un buen estimador de la producción de corcho.

Según los datos de composición específica de la tabla 6, el único monte donde sería estrictamente aplicable el modelo desarrollado sería el monte 2. Sin embargo, aunque la media del monte está dentro del rango del modelo, muchos rodales quedan fuera del mismo, por lo que finalmente se ha aplicado el modelo únicamente en aquellos rodales de los montes en los que el porcentaje de área basimétrica de alcornoque supera el 75 %, garantizando así que estamos trabajando dentro del rango del modelo, con objeto de analizar el potencial de los datos LiDAR como estimadores de la producción de corcho.

Tabla 7. Descripción del ámbito de aplicación del modelo. Porcentajes relativos del estrato Qs>75 respecto a los totales por monte

| Monte | % superficie | %sd |
|---------|--------------|-------|
| Monte 1 | 42,00 | 80,52 |
| Monte 2 | 57,99 | 74,40 |
| Monte 3 | 19,23 | 64,57 |
| Monte 4 | 40,20 | 75,18 |

En la tabla 7 se muestra el porcentaje de superficie donde finalmente se ha podido aplicar el modelo y los porcentajes de superficie de descorche que concentran los rodales donde se cumple el criterio de porcentaje de área basimétrica de alcornoque. Estos rodales formarían un estrato de inventario que hemos llamado estrato Qs>75 y para el que se han calculado las diferentes variables dasométricas que serán utilizadas en la validación.

4.4 Validación de resultados

Con objeto de evaluar el ajuste de las metodologías usadas para el cálculo de la producción de corcho, se compararon los valores de pc obtenidos en el inventario mediante M.A.S. y mediante el modelo de datos LiDAR, con los de la producción real de los montes proporcionados por los propietarios de los mismos.

La producción total de corcho de cada monte se prorrateo para el estrato Qs>75 en función de la superficie de descorche relativa del mismo respecto a la total del monte cuyos valores se muestran en la tabla 7.

En la tabla 8 se muestran los sesgos relativos de las dos estimaciones para los rodales de más del 75 % de área basimétrica en cada monte.

Tabla 8. pc (kg/ha) real y estimado y sesgo de las estimaciones

| Monte | Real | M.A.S | LiDAR | Sesgo % M.A.S. | Sesgo % LiDAR |
|---------|----------|----------|----------|----------------|---------------|
| Monte 1 | 1.041,76 | 962,70 | 1.410,33 | -7,59 | 35,38 |
| Monte 2 | 1.030,24 | 1.048,33 | 1.116,72 | 1,76 | 8,39 |
| Monte 3 | 1.329,52 | 861,47 | 1.121,19 | -35,20 | -15,67 |
| Monte 4 | 1.399,05 | 2.171,70 | 1.898,77 | 55,23 | 35,72 |

4.4 Intervalo de confianza

A partir de los valores de pc (en kg/ha) estimados por M.A.S. a partir de las parcelas del estrato Qs>75, donde se aplica el modelo, se calcula la media de las estimaciones, así como los intervalos de confianza de la estimación por ese método (tabla 9)

Tabla 9. pc (kg/ha) real y estimado y sesgo de las estimaciones

| Monte | Nº de parcelas | Promedio | Desviación estandar | Intervalo de confianza | Mínimo | Máxima |
|---------|----------------|----------|---------------------|------------------------|----------|----------|
| Monte 1 | 9 | 962,70 | 674,94 | 440,95 | 521,75 | 1.403,66 |
| Monte 2 | 23 | 1.048,33 | 632,50 | 258,49 | 789,84 | 1.306,82 |
| Monte 3 | 2 | 861,47 | 20,65 | 28,63 | 832,85 | 890,10 |
| Monte 4 | 30 | 2.171,70 | 1.072,59 | 383,81 | 1.787,89 | 2.555,52 |

5. Conclusiones

Se observa que existe una buena correlación entre la información LiDAR y la variable pc en aquellas masas con una proporción de alcornoque mayor del 75%, Según los resultados de este estudio los estadísticos LiDAR P_{PRM} y P_{01} son las variables que presentan la mejor correlación con el pc.

Los resultados del inventario LiDAR tienen un sesgo relativo del mismo orden de magnitud que los determinados mediante el M.A.S. si los comparamos con los datos de producción de los montes prorrateados para los rodales en rango del modelo. Esto viene a sugerir que es posible trabajar en masas puras de alcornoque con datos LiDAR del PNOA y métodos de masa, siendo interesante profundizar en esta línea de investigación con estudios específicamente diseñados al efecto.

En los montes 2 y 4 los resultados del inventario LiDAR se encuentran dentro del intervalo de confianza determinado mediante el M.A.S. En el monte 1 los resultados LiDAR se encuentran ligeramente por encima de máximo definido por el intervalo de confianza. Por último en el monte 3 el pc calculado con LiDAR está total mente fuera del intervalo de confianza aunque se aproxima más al

valor de producción real que el M.A.S. En este último caso la superficie del estrato $Q_s > 75$ es muy pequeña y no se considera suficiente para que la muestra sea representativa.

Excepto en el monte 3, se observa que el modelo sobrestima en todos los casos el pc. En el monte 4 según la propiedad, la producción llegó a estar un 28% por encima de la actual, valor que reduciría en sesgo de la predicción LiDAR hasta el 6,03 %. Esto podría indicar que la predicción mediante modelos LiDAR por métodos de masa, está más cerca de la producción potencial de los montes que de la real. En este sentido hay factores como la intensidad de descorche o el estado sanitario de los alcornos que no se pueden evaluar con la información LiDAR. Sin embargo podría ser un buen índice para determinar el estado del monte como productor de corcho y su situación con respecto a la posibilidad del mismo.

Los resultados sugieren que el porcentaje de área basimétrica de alcornos es un factor clave a la hora de aplicar el LiDAR, por lo que para trabajar con métodos de masa sería necesario complementar la información LiDAR con variables procedentes de otros sensores multispectrales que nos permitan cuantificar la composición específica de los montes de alcornos.

Otra aproximación interesante para abordar el problema sería trabajar a nivel de árbol individual donde los retos están en la identificación de especies y las limitaciones que tiene la densidad de puntos del PNOA para trabajar con métodos de árbol individual.

6. Agradecimientos

Se agradece la labor de los técnicos de la empresa Arex que realizó los trabajos de inventario para la obtención de los datos usados en el presente estudio.

7. Bibliografía

CONDÉS, S.; FERNANDEZ-LANDA, A.; RODRIGUEZ, F.; 2013. Influencia del inventario de campo en el error de muestreo obtenido en un inventario con tecnología LiDAR. 6º Congreso Forestal Nacional. 6CFE01-432.

DE BENITO, N.; 1989. Ordenación de los alcornocales del macizo del Aljibe (Cádiz-Málaga). *Sci. Ger.* 15, 103-109.

FERNANDEZ-LANDA, A.; Y RODRIGUEZ, F.; 2013. La tecnología LiDAR en la planificación y gestión forestal: nuevas formas de cálculo de existencias y generación de cartografía de masas forestales. *Actas de la VIII Reunión sobre Ordenación de Montes. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 37: 67-73

HOPKINSON, C.; CHASMER, L.; 2009. Testing LiDAR models of fractional cover across multiple forest ecozones. *Remote Sensing of Environment* 113: 275-288.

HUET S; BOUVIER A; POURSAT M-A; JOLIVET E; 2003. Statistical tools for nonlinear regression: a practical guide with S-PLUS and R examples. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

HYYPPÄ, J.; HYYPPÄ, H.; LECKIE, D.; GOUGEON, F.; YU, X.; MALTAMO, M.; 2008. Review of methods of small footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests. *International Journal of Remote Sensing* Vol. 29 (5), pp. 1339-1366.

MAGNUSSEN, S.; BOUDEWYN, P.; 1998. Derivations of stand heights from airborne laser

scanner data with canopy-based quantile estimators. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1016-1031.

MAPAMA; 2014. Avance Estadística Forestal 2014. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio ambiente. Madrid.

MCGAUGHEY, R. J.; CARSON, W.W.; 2003. Fusing LIDAR data, photographs, and other data using 2D and 3D visualization techniques. In: *Proceedings of Terrain Data: Applications and Visualization-Making the Connection*, October 28-30, 2003. pp. 16-24.

MONTEALEGRE, A.L.; LAMELAS, M.T.; DE LA RIVA, J.; GARCÍA-MARTÍN, A. Y ESCRIBANO, F.; 2015. Estimación de variables dasométricas en masas de *Pinus halepensis* Mill. mediante datos LiDAR-PNOA y trabajo de campo. XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección: Teledetección: Humedales y Espacios Protegidos.

MONTERO G.; TORRES E.; CAÑELLAS I.; ORTEGA C.; 1996. Modelos para la estimación de la producción de corcho en alcornoques. *Inves Agrar: Sist Recur For* Vol. 5 (1) 97-127.

MONTERO G.; CAÑELLAS I.; 2003. Selvicultura de los Alcornocales en España. *Silva Lusitana* 11(1): 1 - 19

NILSSON, M.; 1996. Estimation of tree heights and stand volume using an airborne lidar system. *Remote Sensing of Environment* 56: 1-7.

R CORE TEAM; 2013. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>

RODRIGUEZ, F., FERNANDEZ, A. Y TOME J.L.; 2014. Resultados y reflexiones tras cinco años de inventario forestal con tecnología LiDAR. *Foresta*. N° 61, Pg 28-33.

VÁZQUEZ-PIQUÉ J.; PEREIRA H.; 2008. ¿Qué hay que tener en cuenta para elaborar modelos de producción de corcho?: revisión bibliográfica y consideraciones estadísticas. *Invest Agrar: Sist Recur For* Vol. 17(3) 199-215