

Diseño de actuaciones de restauración de hábitat de urogallo (*Tetrao urogallus*) en el Pirineo aragonés.

Un proyecto piloto basado en nuevas tecnologías.

Sabaté, J.¹,
Schwendtner, O.²,
Barnard, B.²,
López, R.³,
Martínez J.M.⁴,
Tena, A.⁵,
Cárcamo, S.²,
Díaz, R.²,
Martínez-Zunzarren, N.²

¹ 4Datum, Investigación y Desarrollo S.L.

² Bioma Forestal Sociedad Microcooperativa

³ Dirección General de Medio Natural y Gestión Forestal.
Gobierno de Aragón.

⁴ Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio
Ambiente de Huesca. Gobierno de Aragón.

⁵ Grup de recerca de dinàmica fluvial RIUS. Universitat de
Lleida

Con objeto de restaurar el hábitat de urogallo pirenaico (*Tetrao urogallus aquitanicus*) en un área subóptima para la especie se plantea la necesidad de actuar selvicolamente. Se realiza una experiencia piloto en un pinar de pino negro repoblado (*Pinus uncinata*) que se compara con un rodal de pinar considerado óptimo en cuanto a la calidad de hábitat para el urogallo. La evaluación del hábitat se basa en caracteres clave (recursos tróficos, heterogeneidad estructural, madurez y naturalidad). La caracterización se realiza integrando tecnología dron y LiDAR terrestre al inventario dasométrico clásico. La cartografía de gran detalle generada mediante dron, permite el análisis de la heterogeneidad de las condiciones estructurales del rodal. El análisis estructural de gran detalle obtenido mediante LiDAR terrestre permite afinar en dos parámetros cruciales a pequeña escala: transitabilidad y ocultación. La combinación de ambas escalas de trabajo permite determinar la estructura buscada en el pinar a restaurar.

Palabras clave: Dron, LiDAR terrestre, silvicultura de conservación de procesos ecológicos, silvicultura de precisión, urogallo

INTRODUCCIÓN

El urogallo (*Tetrao urogallus*) es una especie de interés comunitario incluida en el anexo IV de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la

Biodiversidad, que recientemente ha visto incrementado su nivel de amenaza en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas, incluyéndolo como especie “En peligro de extinción” (BOE 07/04/2023).

En los últimos años, la situación de la subespecie pirenaica (*Tetrao urogallus aquitanicus*) es muy delicada debido a la evolución regresiva de su área de distribución y al declive continuo del tamaño poblacional, llegando al 58 % entre los años 2000 y 2017 en el Pirineo Central (Gil et al., 2020). Se considera urgente acometer actuaciones para mejorar el estado de conservación de sus poblaciones. Una de las vías consideradas es la restauración estructural del hábitat mediante gestión forestal orientada a su conservación.

El hábitat originario y principal en el área de distribución del urogallo es la taiga, el bosque climácico boreal del norte de Eurasia. Es un bosque caracterizado por amplias extensiones de bosques maduros de coníferas (principalmente *Pinus sylvestris* y *Picea abies*) con estructura abierta y una amplia cobertura del suelo por espesas extensiones de arándanos (*Vaccinium myrtillus*) y otras ericáceas, entre las que se intercalan algunos claros y manchas boscosas más jóvenes en diferentes estados de la sucesión vegetal (Pollo et al., 2005).

El hábitat descrito se encuentra ampliamente distribuido en el norte

del continente a altitudes moderadas, pero, según se avanza hacia el Sur de Europa, este tipo de pinares se reduce en extensión y solo se encuentran en áreas de montaña, a mayores altitudes, por lo que en la cordillera pirenaica encontramos al urogallo constreñido a los pisos altimontano y subalpino.

La estructura del pinar es importante, no solo por la disposición espacial de los propios pinos, sino por cómo influye en el desarrollo del sotobosque (en nuestro caso, especies nutricias para el urogallo).

OBJETIVOS

El objetivo general del estudio es realizar una caracterización estructural del hábitat del urogallo en dos rodales forestales, uno ubicado en una zona de alta calidad del hábitat y otro ubicado en una zona de calidad subóptima. La información obtenida se utilizará para la restauración del hábitat en el segundo rodal.

Los objetivos operativos del trabajo son:

1. Obtener para cada rodal una cartografía del hábitat a pequeña escala que evalúe las principales variables estructurales.
2. Identificar los elementos clave del

hábitat para la supervivencia del urogallo.

3. Comparar los valores de las variables forestales obtenidas en cada rodal con los requerimientos del hábitat del urogallo descritos en bibliografía.
4. Proporcionar material cartográfico de apoyo para la planificación de actuaciones de silvicultura orientadas a mejorar el hábitat del urogallo en el rodal subóptimo.

METODOLOGÍA

El estudio se lleva a cabo en dos zonas: en un rodal de bosque de pino negro (*Pinus uncinata*) de origen natural, localizado en una zona óptima para el urogallo en el Valle de Plan. La denominamos “rodal óptimo” o con el nombre supuesto “rodal Mafeb”). La otra zona es un rodal de bosque de pino negro procedente de repoblación localizado en una zona subóptima para la especie en el Valle de Benasque. La denominamos “rodal subóptimo” o con el nombre supuesto “rodal Lert”).

La caracterización de cada uno de los rodales se ha realizado combinando la obtención de datos remotos (aéreos y terrestres) y datos de campo.



Datos remotos aéreos: levantamiento fotogramétrico aéreo del rodal.

Mediante un dron de la marca comercial DJI (modelo Phantom 4) se ha obtenido un conjunto de fotografías aéreas en estructura de movimiento. Estas han sido procesadas mediante técnicas de fotogrametría digital automatizada (SfM-MVS), Sistemas de Información Geográfica (SIG) y teledetección con el fin de obtener cartografía de la estructura forestal relacionada con la fracción de cabida cubierta (FCC), alturas de la vegetación, localización y tipología de árboles del dosel de copas.

Datos de campo: inventario de elementos estructurales clave para el urogallo.

Se han levantado 15 parcelas en cada rodal en las que se ha abordado un inventario de campo de elementos estructurales clave del urogallo.

La elección de estos puntos de inventario se ha efectuado en gabinete de manera semidirigida, tratando de recoger toda la variabilidad interna del rodal de estudio. En cada uno de los puntos se realizaron dos tipos de parcelas:

- Parcelas de radio variable. En estas se ha tomado la especie, el diámetro y la clase sociológica de los pies vivos, así como del regenerado consolidado (diámetro normal [Dn] 2,5-7,5 cm). También se ha medido el diámetro de árboles muertos en pie ($Dn > 7,5$ cm) y de los muertos en suelo ($Dn > 17,5$). El radio de la parcela se determinó de manera que en todas se midieran al menos 20 pies vivos con $Dn > 7,5$ cm, para obtener una muestra sólida. Los radios de las parcelas oscilaron entre 8- 20 metros.
- Parcelas de radio fijo. Para el resto de variables se utilizaron parcelas de 25 m de radio. En ellas se midieron: arandaneras, frambuesos, otras especies de fruto carnoso, hormigueros de *Formica rufa*, árboles-posadero, estructuras-refugio, pies muy gruesos (tanto vivos como muertos), especies arbóreas acompañantes y otros elementos singulares de interés.

Datos remotos terrestres: levantamiento de parcelas mediante un escáner láser.

En cada una de las 15 parcelas levantadas en cada rodal, se ha obtenido un escaneo LiDAR terrestre utilizando la estación estática Leica BLK360. Se ha realizado un único escaneo en el centro de cada parcela obteniendo una nube de puntos 3D (Point Cloud).

Las nubes de puntos se han exportado a un SIG y se han postprocesado para obtener un modelo digital que evalúa el nivel de penetrabilidad del láser a través de bosque. A partir del nivel de penetrabilidad se ha desarrollado una metodología que cuantifica transitabilidad y capacidad de ocultación que ofrece la estructura forestal al ave. Los resultados se

Categoría	Estrato	Intervalo altura	Sup. (ha)	%
1	Herbáceo/ Arbustivo	0 m-0,2 m	4,75	53
2		0,2 m-0,5 m	0,33	4
3		0,5 m-1,5 m	0,30	3
4	Arbolado	1,5 m-4 m	0,28	3
5		4 m-6 m	0,22	2
6		6 m-8 m	0,30	3
7		8 m-12 m	1,00	11
8		12 m-15 m	0,97	11
9		15 m-20 m	0,79	9
10		>20 m	0,04	0
TOTAL			8,99	100

Tabla 1. Superficie (ha y %) ocupada por cada categoría de altura del dosel de copas en el rodal de Mafeb.

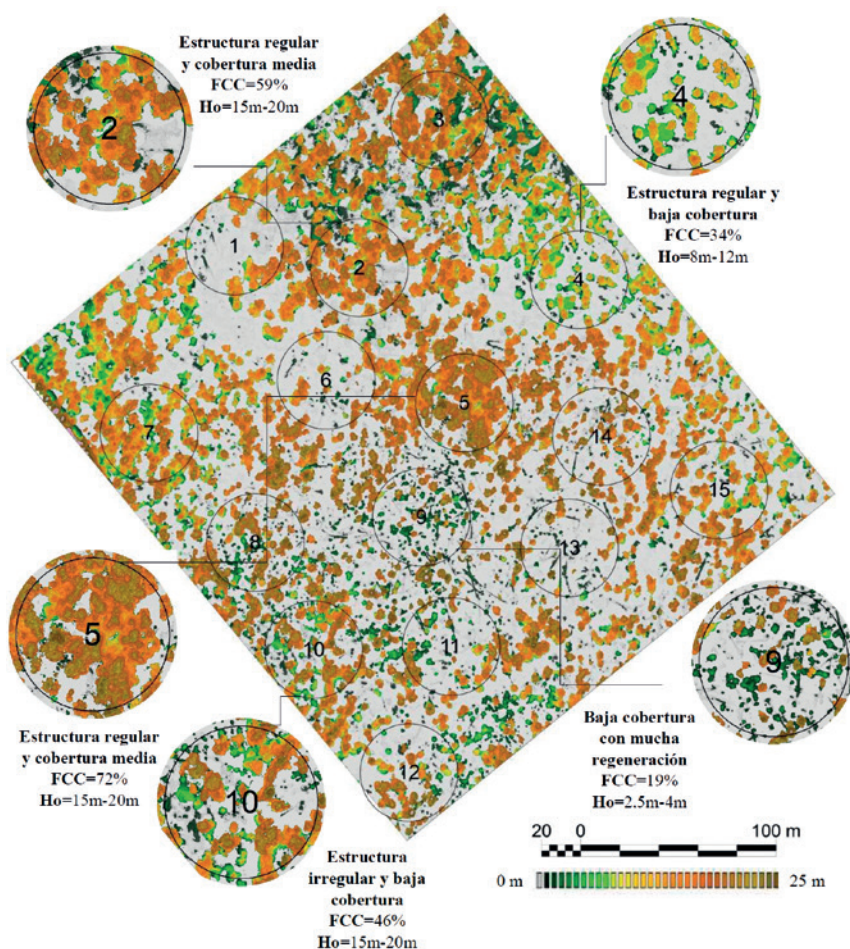


Figura 1. MDC en el rodal de Mafeb que representa la altura del dosel de copas.

Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo, ejemplificando con un zoom 5 de ellas.

expresan mediante mapas con dos variables:

1. Transitabilidad: correspondería al entorno visible desde el centro de la parcela y dentro de este la facilidad de movimiento del ejemplar desde el centro hacia otros entornos visibles (se establecen tres categorías de coste: baja, media y alta).
2. Ocultación: correspondería al entorno no visible desde el centro de la parcela y que, por tanto, sería

indicador del grado de ocultación que ofrece la estructura forestal.

Para la obtención de los mapas de transitabilidad y ocultación de cada parcela se ha utilizado un módulo SIG de análisis de costes mínimos de desplazamiento que utiliza el algoritmo de Dijkstra (Dijkstra, 1959). Este algoritmo determina el camino más corto (o facilidad al paso), desde un vértice origen (centro de la parcela), hacia el resto de entorno de análisis. Esta facilidad al paso está condicionada

a un modelo de fricciones que indica la resistencia al tránsito.

Para el cálculo del modelo de fricciones se ha transformado la nube de puntos de cada estacionamiento en un ráster, realizado dos operaciones de reducción y adaptación: una para normalizar la densidad de los datos brutos mediante el uso de voxels, obteniendo una nube de puntos menos propensa a errores por divergencia del haz láser (Cifuentes et al., 2014, Van der Zande et al., 2006) y otra para limitar el alcance del análisis a 40 metros de distancia horizontal del escáner, lo que permite reducir los efectos del sombreado que aumentan con la distancia (Katharina et al., 2019). A partir del modelo de fricciones se ha elaborado una cartografía de costes mínimos de desplazamiento que se ha reclasificado en cuatro categorías a partir de puntos de interrupción natural que identifica: áreas de ocultación y tres categorías de transitabilidad (alta, media y baja).

Categoría de altura	Número árboles	Pies/ha	%
<2,5 m	96	11	3
2,5 m-4 m	180	20	5
4 m-6 m	137	15	4
6 m-8 m	219	24	6
8 m-12 m	516	57	14
12 m-15 m	828	92	22
15 m-20 m	1.514	168	41
>20 m	221	25	6
Total	3.711	413	100

Tabla 2. Número de árboles, pies por hectárea y porcentaje de los árboles de dosel para cada categoría de altura en el rodal de Mafeb.

RESULTADOS

RODAL ÓPTIMO (Mafeb).

1) Resultados del levantamiento fotogramétrico con dron

Se ha obtenido un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), un ortomosaico de detalle y un modelo tridimensional del área de estudio a partir de los cuales se han calculado distintas variables forestales estructurales que a continuación se describen.

En la tabla 1 y figura 1 se muestran los resultados cuantitativos y gráficos referentes a las alturas del dosel de la vegetación y a la FCC arbolada. El rodal tiene una estructura abierta con una FCC arbolada media del 40 %. Se observa una gran heterogeneidad de las categorías de altura de la vegetación. Los datos muestran una estructura vertical y horizontal de la vegetación muy variada con el predominio de zonas abiertas y una estructura bastante irregularizada de las distintas clases de altura de la vegetación.

En la tabla 2 y figura 2 se muestran los resultados cuantitativos y gráficos sobre la densidad de ápices de copas de los árboles dominantes. En relación a la distribución espacial,

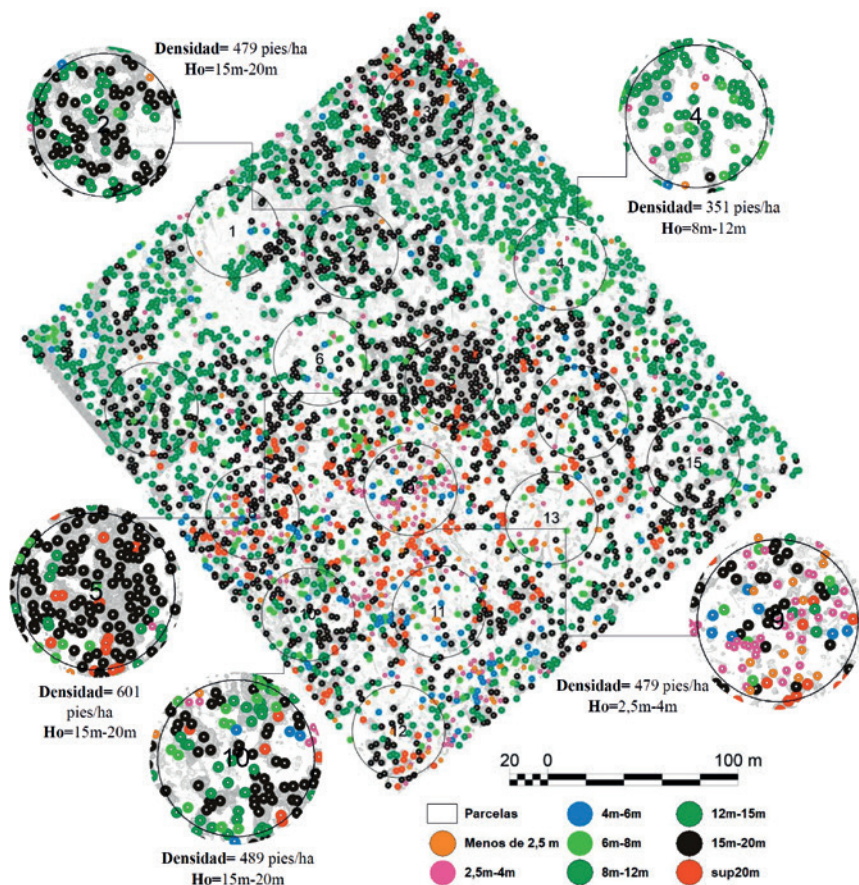


Figura 2. Cartografía de localización de árboles del dosel superior de copas en el rodal de Mafeb en función de la altura.

Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo, ejemplificando con un zoom 5 de ellas.

se observa una alta heterogeneidad, existiendo áreas moderadamente densas a áreas con escasa densidad de arbolado existiendo, por tanto, una gran cantidad de hábitat con efecto borde que separa las distintas estructuras existentes.

En la tabla 3 y figura 3 se muestran los resultados cuantitativos y gráficos sobre madera muerta respecto a la viva. El rodal presenta una gran abundancia de árboles muertos tanto en pie como en el suelo. En cuanto a las dimensiones, la altura media de los árboles muertos en pie es de 9 metros y la longitud media de los árboles muertos en el suelo es de 7 m. Puede observarse un patrón de distribución en agregados, observándose en algunos sectores grandes acumulaciones de madera muerta, especialmente en el suelo.

2) Caracterización dasométrica

La especie principal es *Pinus uncinata*, que forma masas mono-específicas con presencia de algunas especies acompañantes, como *Pinus sylvestris* o *Abies alba*. La estructura es irregular y heterogénea, sucediéndose zonas con una cobertura elevada con otras más abiertas. A nivel de rodal, los resultados se muestran en la tabla 4 y figura 4.

Los resultados muestran una masa clara con una distribución irregular y con presencia tanto de pies gruesos y muy gruesos (se han inventariado pies hasta la clase diamétrica [CD] 75) y de regenerado. La madera muerta es abundante tanto en pie como en suelo. Además, existe madera muerta fina, gruesa y muy gruesa, encontrando máximos en las clases diamétricas 20 y 25 y habiendo inventariado hasta la clase diamétrica 55. Se trata, por tanto, de un pinar con atributos de madurez, de estructura irregular y con una elevada dinámica natural en la que se observan las distintas fases del ciclo silvogenético de una masa forestal.

3) Caracterización de elementos de interés

Las dos especies arbustivas de interés localizadas son *Vaccinium myrtillus* y *Rubus idaeus*, con un recubrimiento medio de la superficie del 11,18 % y 4,58 %, respectivamente.

Categoría	Número árboles	Pies/ha	%
Vivos	3.489	388	84
Muertos pie	222	25	5
Muertos en suelo	719	49	11
Total	663	462	100

Tabla 3. Número de árboles detectados remotamente en el rodal de Mafeb (totales, por hectárea y en %).

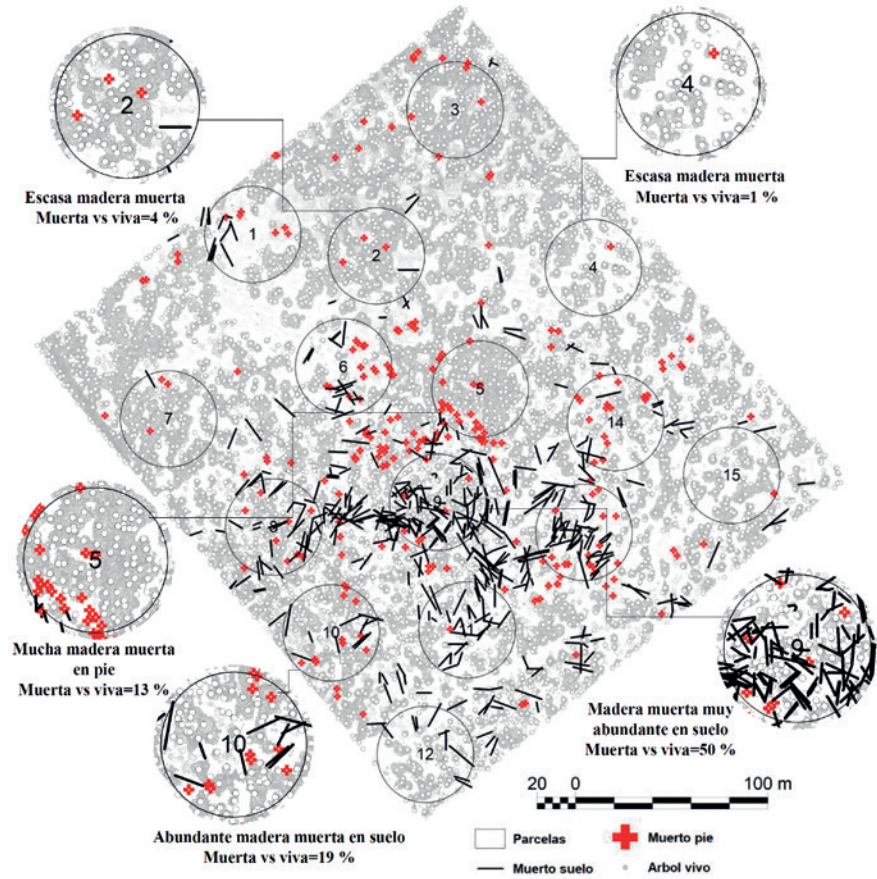


Figura 3. Cartografía de localización de árboles vivos y muertos en el rodal de Mafeb. Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo, ejemplificando con un zoom 5 de ellas.

Se han inventariado 30 hormigueros (10 hormigueros/ha; existencia en 14 parcelas) y 17 árboles con estructuras propicias como posaderos (6 árboles-posadero/ha).

En cuanto a la madera muerta gruesa ($D_n > 37,5$ cm) se han inventariado 31 *snags* (madera muerta en pie) y 22 *logs* (madera muerta en suelo), que en unidades relativas serían 14 pies/ha y 7 pies/ha, respectivamente.

4) Caracterización de la capacidad de transitabilidad-ocultación mediante datos LiDAR terrestre

En las parcelas muestreadas la transitabilidad predomina respecto a

la ocultación, exceptuando la parcela 9. El porcentaje medio de la superficie disponible para la transitabilidad es del 64 % y para la ocultación del 36%. Se observa cierta variabilidad entre parcelas (con un rango intercuartil 21 puntos porcentuales). Las parcelas con mayor superficie disponible a la transitabilidad (por encima del $Q_3=75$ %) y, por tanto, las de menor ocultación son la 5, la 15, la 13, la 1 y la 14. No obstante, aunque presentan valores elevados de esta variable, se observa que en algunas de estas parcelas la transitabilidad efectiva (coste bajo al tránsito) es mayor en las parcelas 13 y 1 y menor en las parcelas 5, 15 y 14. Valores semejantes se observan en las parcelas 3, 2

N vivos	N logs	N Snags/ stand	N menores	Dg vivos	Dg muertos	AB vivos	AB logs	AB Snags/ stands	Vol vivos	Vol logs	Vol Snags/ stands
(pies/ha)				(m)		(m ² /ha)			(m ³ /ha)		
400	121	97	114	0,32	0,27	32,2	5,4	7,1	203	47,7	43,2

Tabla 4. Principales variables dasométricas de Mafeb. N: densidad; Dg: diámetro medio cuadrático; AB: área basimétrica; Vol: volumen

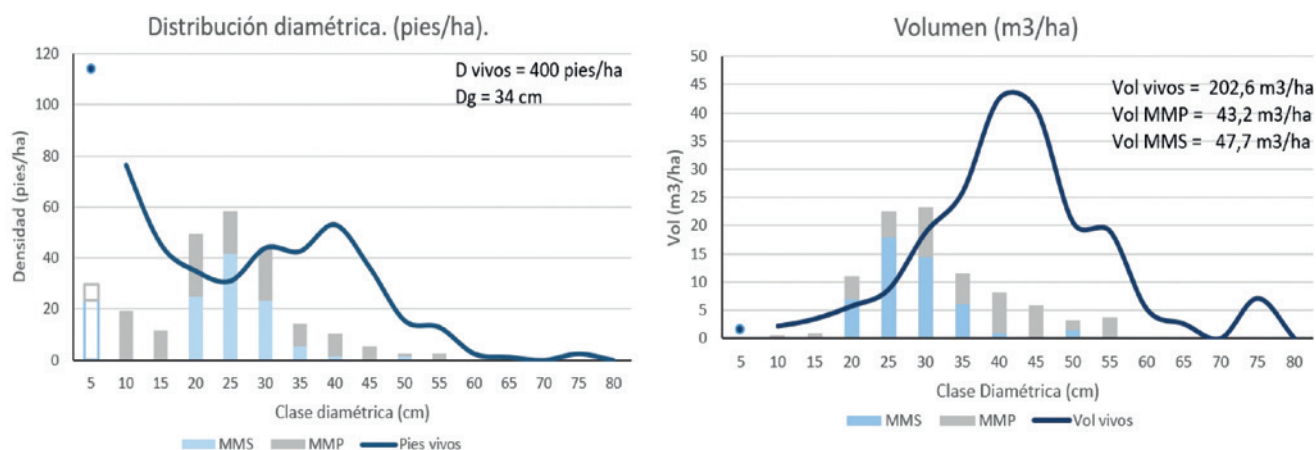


Figura 4. Distribuciones diamétricas de densidad y volumen en el rodal de Mafeb. MMS: muerto en el suelo, MMP: muerto en pie.

y 7, en que, pese a tener un alto porcentaje disponible a la transitabilidad (y poca ocultación) los valores transitabilidad efectiva son reducidos.

Las parcelas con mayor superficie disponible a la ocultación ($Q_3=45\%$) y, por tanto, las de menor transitabilidad son la 4, la 12, la 11, la 8 y la 9. A pesar de esto, para la mayoría de ellas los valores de transitabilidad efectiva son elevados ($>10\%$).

Otro aspecto remarcable es el patrón de distribución estructural que muestran dichas variables a lo largo de la parcela y que son indicativos de la complejidad estructural existente. De forma general, pueden observarse dos tipos de patrones de distribución: homogéneos y heterogéneos. El patrón homogéneo correspondería a distribuciones/representaciones con cierta regularidad con formas de tipo radial (como las existentes en las parcelas 2, 5, 7, 15 y 25) en las que predomina un tipo de estructura regular del arbolado y con coberturas por encima del 50 %. El patrón heterogéneo correspondería a distribuciones con formas no radiales (como las existentes en el resto de parcelas) en las que predomina un tipo de estructura irregular del arbolado y coberturas normalmente reducidas ($<50\%$).

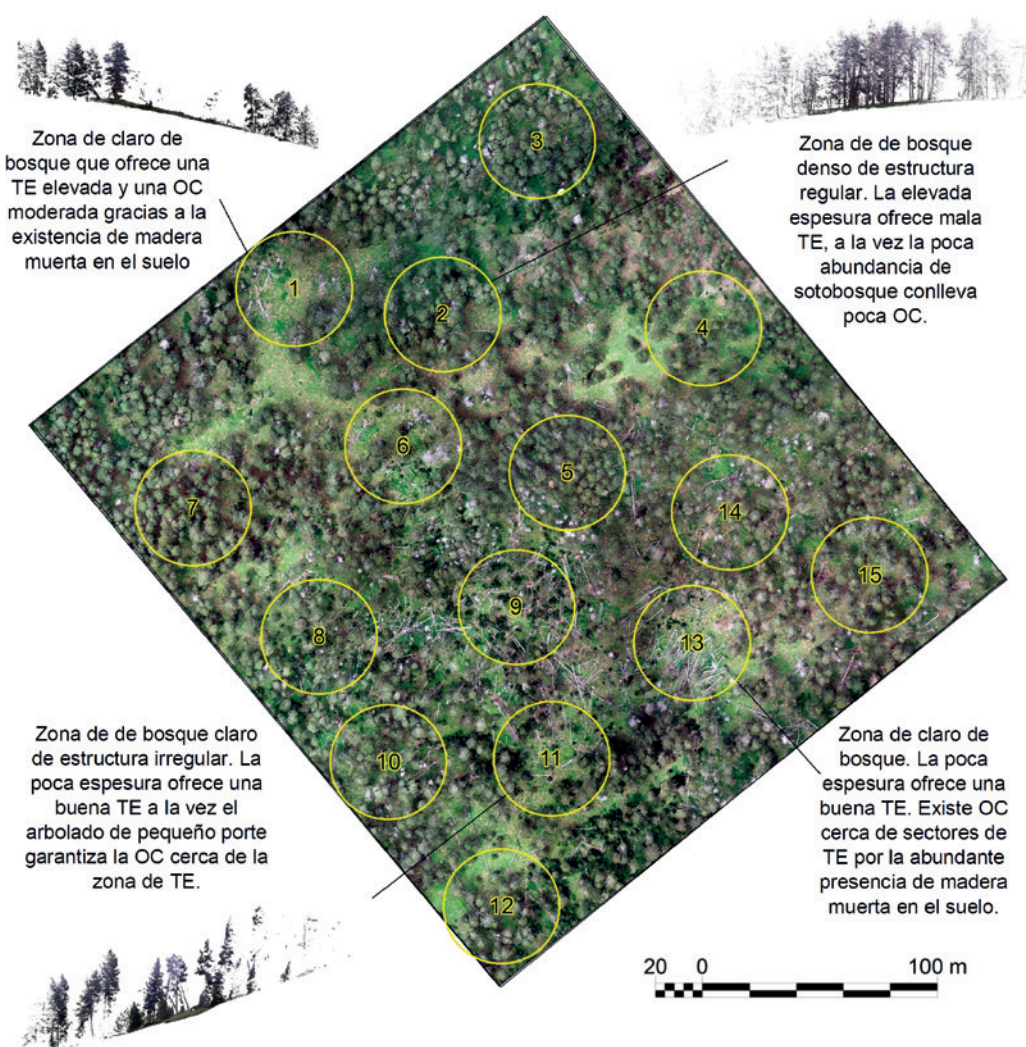


Figura 5. Ortomosaico con indicación de la localización de las parcelas y de perfiles de las nubes de puntos 3D obtenidos del LiDAR terrestre para las parcelas 1, 2 y 11 para el rodal de Mafeb. TE: Transitabilidad efectiva /OC: Ocultación.

Las figuras 5 y 6 muestran los mapas de penetrabilidad para cada parcela.

RODAL SUBÓPTIMO (Lert).

1) Resultados del levantamiento fotogramétrico con dron

Se ha procedido al cálculo de las mismas variables forestales estructurales que en el rodal Mafeb.

En la tabla 5 y figura 7 se muestran los resultados cuantitativos y gráficos sobre las alturas del dosel de la vegetación y FCC arbolada. El rodal Lert tiene una estructura generalmente cerrada con una FCC media del 87 %. El dosel de copas está configurado mayormente por dos categorías de altura (7 y 8 ver tabla 5). Los estratos de vegetación intermedia e inferior tienen poca representación superficial en el rodal. Debido a la elevada y homogénea cobertura de árboles existen pocas áreas con efecto borde, destacando algunas turberas que constituyen los mayores espacios abiertos del rodal.

En la tabla 6 y figura 8 se muestran los resultados cuantitativos y gráficos relacionados con la localización individual de árboles del dosel dominante. En relación a la distribución espacial, existe cierta regularidad en la densidad de arbolado, aunque si se analiza por categorías de altura se observan patrones de distribución en agregados. Solo se observan algunas regiones (turberas) en que el arbolado aparece formando estructuras menos densas y de portes pequeños.

En la tabla 7 y figura 9 se muestran los resultados cuantitativos y gráficos de la madera muerta respecto a la viva. El rodal presenta una abundancia moderada de madera muerta tanto en pie como en el suelo. La altura media de los árboles muertos en pie es de 6 m y la longitud media de los árboles muertos en el suelo es de 5,5 m. En relación a la distribución espacial, puede observarse un patrón de distribución en agregados tanto para la madera muerta en pie como en el suelo, presentando ambas una distribución espacial semejante a lo largo del rodal.

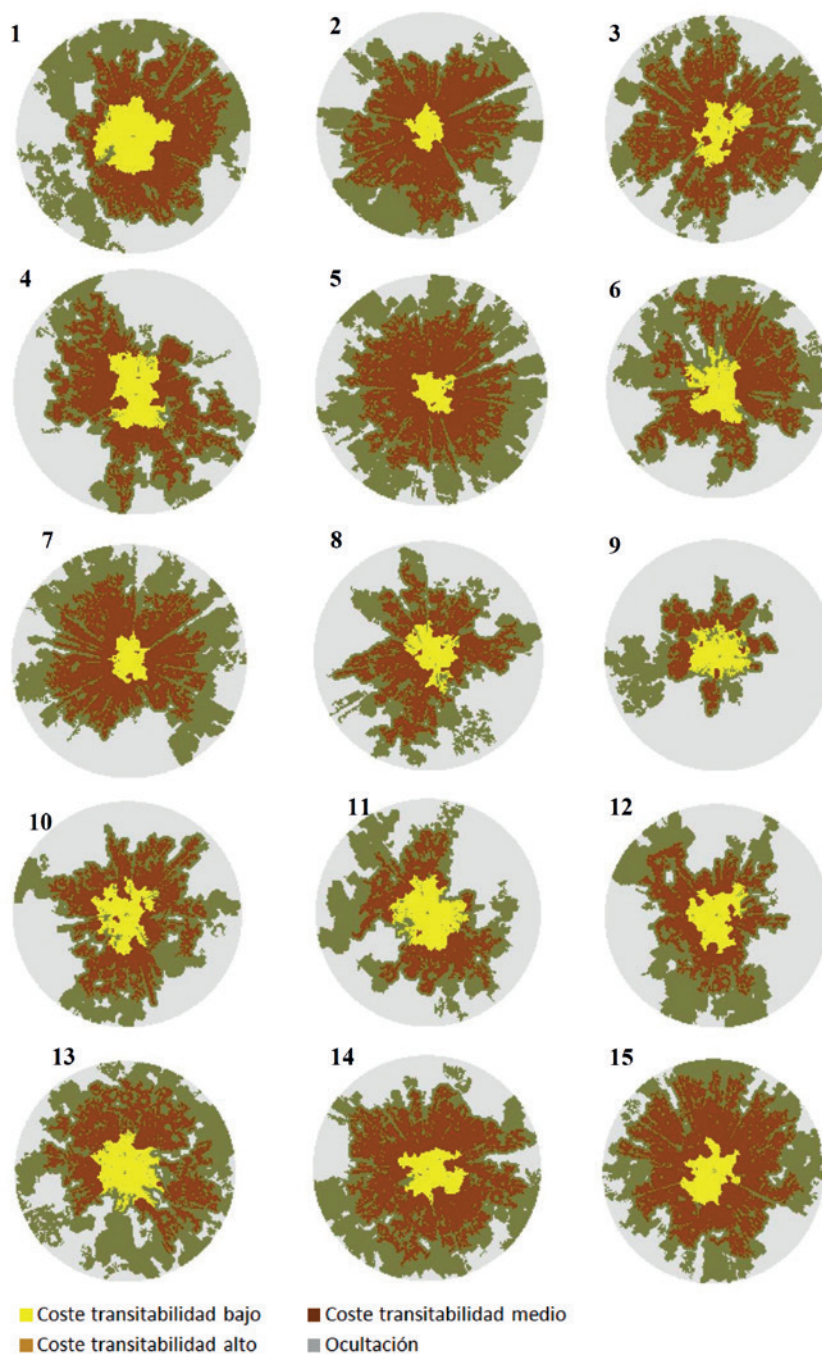


Figura 6. Mapas de transitabilidad vs. ocultación para cada parcela analizada en Mafeb. Transitabilidad efectiva (TE)= Amarillo y marrón.



Categoría	Estrato	Intervalo altura	Sup. (ha)	%
1	Herbáceo/ Arbustivo	0 m-0,2 m	1,09	8
2		0,2 m-0,5 m	0,22	2
3		0,5 m-1,5 m	0,39	3
4	Arbolado	1,5 m-4 m	0,29	2
5		4 m-6 m	0,35	3
6		6 m-8 m	0,71	5
7		8 m-12 m	4,45	33
8		12 m-15 m	5,13	38
9		15 m-20 m	0,80	6
10		>20 m	0,00	0
TOTAL			13,43	100

Tabla 5. Superficie (ha) ocupada por cada categoría de altura del dosel de copas en el rodal de Lert.

fruto de la fuerte competencia intraespecífica del pinar que provoca que los pies dominados mueran (Figura 10). Esta dinámica se observa en la curva de distribución diamétrica, que tiene un patrón similar en los pies vivos y muertos. Por otra parte, el diámetro máximo inventariado ha sido 45 cm. En cuanto al regenerado, se observan pies menores, ubicados en pequeños claros surgidos tras perturbaciones puntuales.

3) Caracterización de elementos de interés

Las especies arbustivas de interés presentes han sido *Rubus idaeus* y *Juniperus communis*, con un recubrimiento medio del 50,25 % y 3,27 %, respectivamente. Además, observando únicamente el recubrimiento de *R. idaeus* en las parcelas en las que está presente, el recubrimiento medio asciende al 62,8 %, lo que supone que prácticamente 2/3 de la superficie del suelo esté cubierta por esta especie.

Se han inventariado 12 hormigueros (4 hormigueros/ha; existencia en 6 parcelas) y 5 árboles con estructuras adecuadas como posaderos (2 árboles-posadero/ha).

En cuanto a la madera muerta gruesa ($D_n > 37,5$ cm) no se ha localizado ningún pie. Tampoco se han localizado pies vivos muy gruesos ($D_n > 57,5$ cm).

4) Caracterización de la capacidad de transitabilidad-ocultación mediante datos lidar terrestre

En las parcelas muestreadas la transitabilidad predomina respecto a la ocultación, excepto en la parcela 4 en que ambas se encuentran equilibradas al 50 %. El porcentaje medio de la superficie disponible para la transitabilidad es del 82 % y para la ocultación del 18%. De forma general, se observa cierta homogeneidad entre parcelas (con un rango intercuartil de 12 puntos porcentuales). Las parcelas con mayor superficie disponible a la transitabilidad (por encima del $Q_3=90$ %) y, por tanto, las de menor ocultación, son la 12, 10, 8 y 3. A pesar de ello, la transitabilidad efectiva en dichas parcelas es reducida (<5 % de la superficie transitable). Solo tres

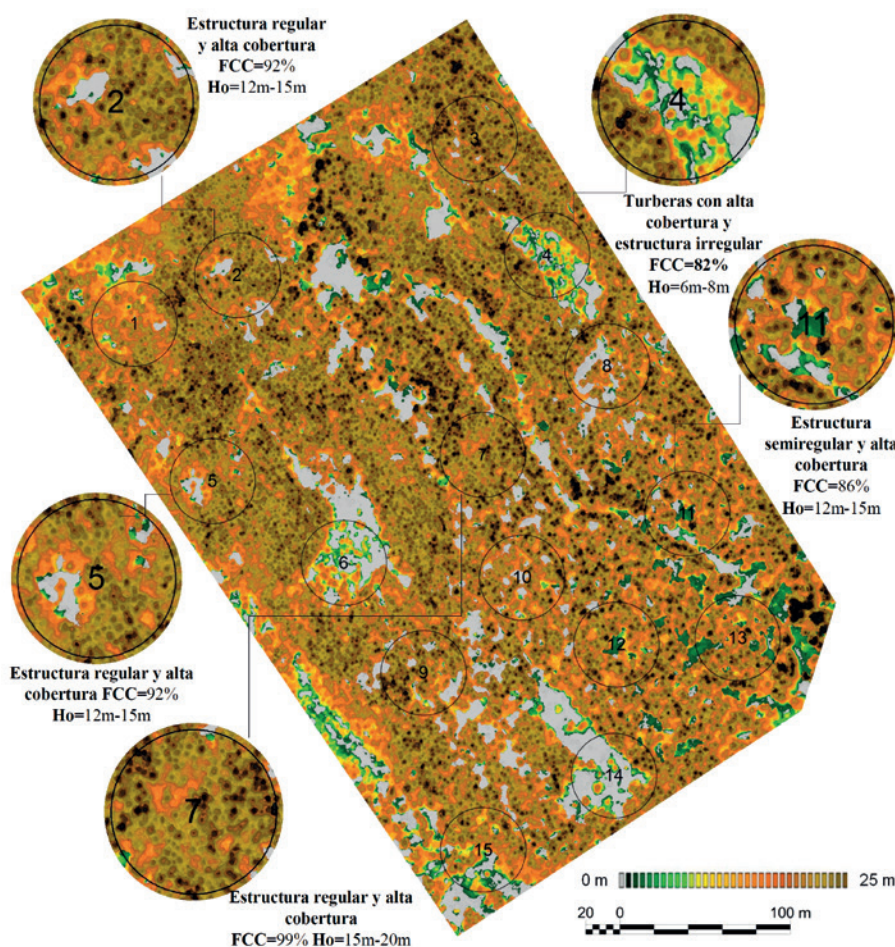


Figura 7. MDC en el rodal de Lert que representa la altura del dosel de copas. Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo, ejemplificando con un zoom 5 de ellas.

2) Caracterización dasométrica

La especie principal es *Pinus uncinata*, que forma masas mono-específicas con presencia de especies acompañantes, como *Pinus sylvestris* o *Fraxinus excelsior*. La estructura es regular, presentando una cobertura elevada y distribución homogénea. A

nivel de rodal, los resultados se ofrecen en la tabla 8.

Los resultados muestran una masa regular, homogénea, densa, en la que las clases diamétricas más abundantes son la 20, 25 y 30. La madera muerta aparece principalmente en las clases diamétricas 10, 15 y 20,

parcelas presentan valores elevados de transitabilidad efectiva (parcelas 14, 6 y 4, por encima del con Q3=6 %), que, a la vez, muestran valores de ocultación elevados en comparación al resto. Estas parcelas, que presentan un patrón de distribución de las variables de transitabilidad y ocultación heterogénea (no radial) propia de masa irregular y baja FCC, se corresponden a las localizadas en las zonas de turbera. El resto de parcelas disponen un patrón de distribución espacial de las variables bastante homogéneo (con patrones radiales) propias de masa regular y con una FCC elevada.

La figura 11 y 12 muestra los mapas de penetrabilidad para cada parcela.

DISCUSIÓN: COMPARACIÓN ENTRE RODALES Caracterización dasométrica.

Los valores de FCC para los dos rodales son significativamente distintos. En el rodal Mafeb se desarrollan estructuras muy variadas en cuanto a cobertura y generalmente poco espesas (Figura 13). Según distintos autores (Canut, et al., 2011, Storch, 1993) las exigencias del urogallo (en cuanto a cobertura arbolada) pueden verse satisfechas con una cobertura del dosel de 30-70 %, por lo que la fracción existente en el rodal podría considerarse óptima.

Por contra, el rodal Lert dispone un dosel arbolado mucho más cerrado y, a la vez, más homogéneo (Figura 13). Según Canut et al. (2011), los urogallos evitan el uso de las áreas forestales con una cobertura superior al 75 %, por lo que los valores registrados en el rodal Lert no se considerarían adecuados.

Categoría	Numero arboles	Pies/ha	%
<2,5 m	21	2	0,1
2,5 m-4 m	48	4	0,2
4 m-6 m	119	9	0,6
6 m-8 m	222	17	1,1
8 m-12 m	1466	109	7,4
12 m-15 m	4963	370	25,1
15 m-20 m	3534	263	17,8
>20 m	9	1	0,0
TOTAL	10.382	774	100

Tabla 6. Número total, pies por hectárea y porcentaje de los árboles de dosel para cada categoría de altura en el rodal de Lert.

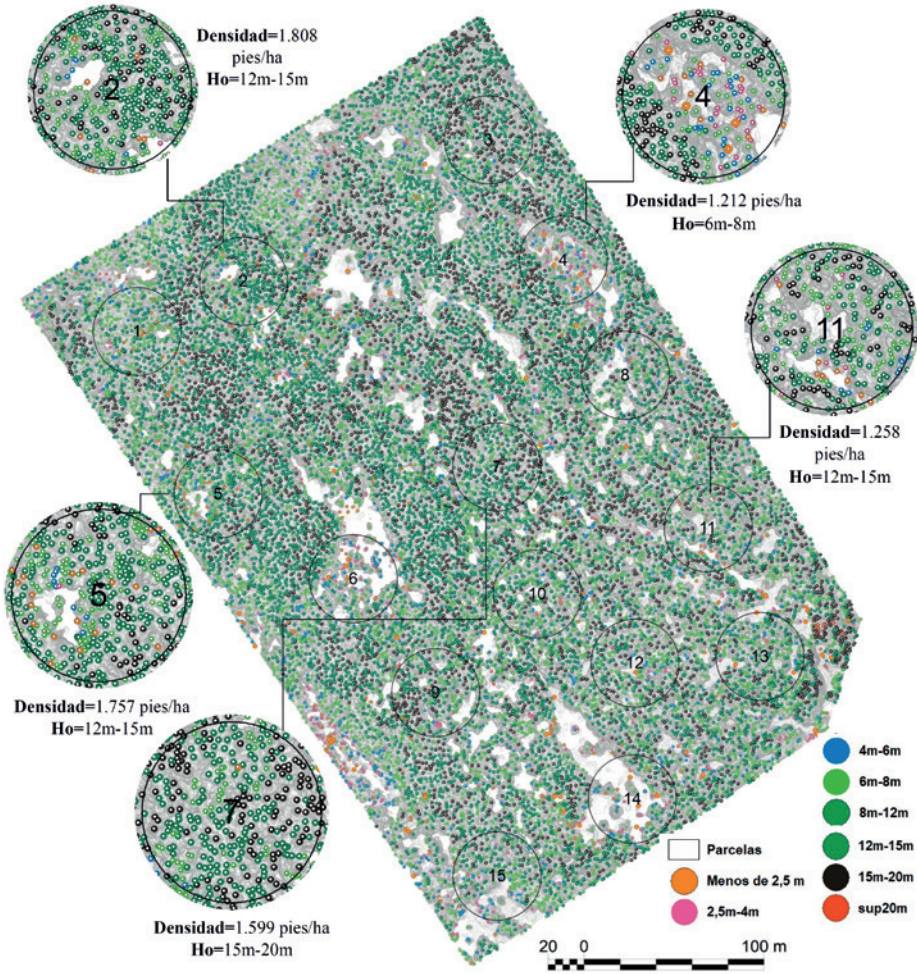


Figura 8. Cartografía de localización de árboles del dosel superior de copas en el rodal de Lert en función de la altura. Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo, ejemplificando con un zoom 5 de ellas.



Categoría	Número árboles	Pies/ha	%
Vivos	9.972	743	49
Muertos pie	410	31	2
Muertos en suelo	552	41	3
Total	10.934	815	100

Tabla 7. Número de árboles detectados remotamente en el rodal de Lert (totales, por hectárea y en %).

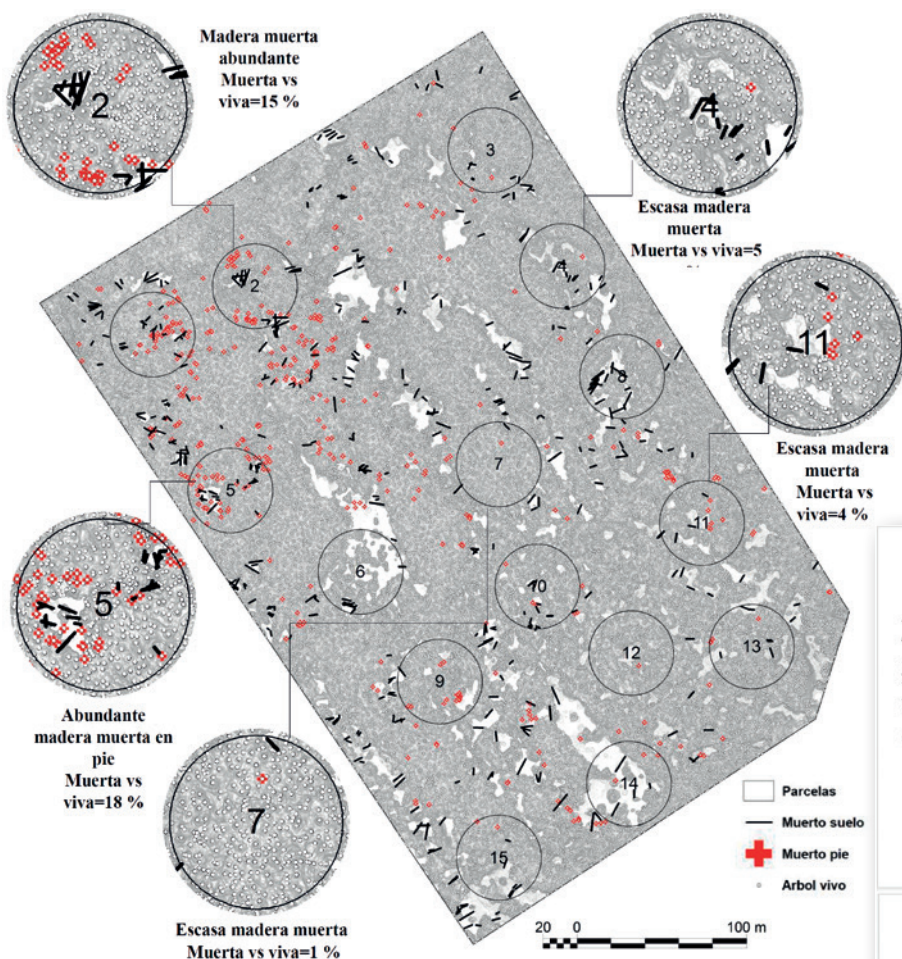


Figura 9. Cartografía de localización de árboles vivos y muertos en el rodal de Lert.

Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo, ejemplificando con un zoom 5 de ellas.

Los pocos claros existentes suelen corresponderse con turberas, donde la repoblación ha fracasado por las condiciones edáficas, o con focos escolíticos.

En cuanto a la estructura arbolada, puede observarse que el rodal Mafeb presenta una diversidad di-

mensional de arbolado mucho más elevada que Lert, así como un patrón de distribución muy distinto (estructura irregular en Mafeb y estructura coetánea en Lert) (Figura 13).

La distribución diamétrica observada en Mafeb tiene forma

de J invertida típica de masa irregular (Figura 14), aun con la particularidad de presentar una densidad de arbolada reducida. Este tipo de estructuras de bosque (doseles abiertos y baja densidad de árboles) son propias del piso subalpino de los Pirineos, influenciadas por procesos naturales de desestabilización que condicionan la dinámica del bosque. En el caso de Mafeb, se observa una estructura afectada por alguna perturbación que produjo una reducción drástica del dosel arbolado y una importante acumulación de madera muerta en pie y en suelo (Figura 14). Estos eventos pueden jugar un papel determinante en la selección del enclave por parte del urogallo, ya que fenómenos similares se han descrito en otros lugares como el macizo de Gar-Cagire (Haute-Garonne, Francia) en que una tormenta en 1980 creó claros y poco

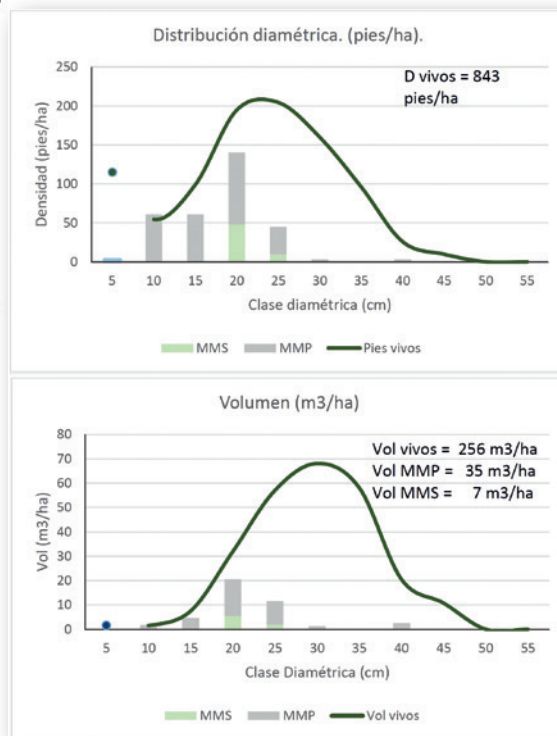


Figura 10. Distribuciones diamétricas de densidad y volumen en el rodal de Lert. MMS: muerto en el suelo, MMP: muerto en pie.

N vivos	N logs	N Snags/stand	N menores	Dg vivos	Dg muertos	AB vivos	AB logs	AB Snags/stands	Vol vivos	Vol logs	Vol Snags/stands
(pies/ha)				(m)		(m²/ha)			(m³/ha)		
843	57	255	115	0,26	0,19	43,6	2,0	6,8	256	7,2	35,3

Tabla 8. Principales variables dasométricas de Lert. N: densidad; Dg: diámetro medio cuadrático; AB: área basimétrica; Vol: volumen

después se incrementó la presencia de machos cantores de urogallo (Canut et al., 2011; Ménoni, datos no publicados).

Los resultados muestran una elevada presencia de madera muerta, de dimensiones variadas y con un patrón de distribución heterogéneo en Mafeb. Esto se refleja también en la identificación de árboles muertos realizada a partir del ortomosaico generado por las fotos tomadas con el dron, en que se observan grandes acumulaciones de árboles muertos en pie y en suelo. Una particularidad es que la mayor parte de la madera muerta encontrada tiene un nivel de descomposición semejante. Este tipo de distribución y tipología de la madera muerta refuerza la idea que se trata de un entorno que ha estado sometido a alguna perturbación de bastante virulencia que ha sido capaz de desestabilizar la estructura arbolada provocando la caída de numerosos árboles de portes considerables. A este fenómeno parece haberle seguido la acción de escolítidos, favorecidos por la abundancia concentrada en el tiempo de madera muerta en el suelo, que han afectado a numerosos árboles en pie, provocando la muerte de muchos de ellos.

Este tipo de estructuras altamente heterogéneas son de gran interés para el urogallo, ya que los tocones y árboles caídos son utilizados como lugares de exhibición por los machos durante la época de celo (Pollo et al., 2005). Otro aspecto interesante es la forma en que se han producido los derribos de muchos de los árboles (con el arranque de tocón y raíces incluidas), generando microhábitats interesantes en la base de los árboles en que los urogallos encuentran insectos y cobijo. En definitiva, el rodal correspondería a un pinar maduro, irregular, con una elevada dinámica natural en la que se observan las distintas fases del ciclo silvogenético de una masa, desde zonas en regeneración con arbolado joven, zonas en fase de exclusión de fustes, zonas con arbolado de grandes dimensiones e, incluso, fases de senescencia, con gran cantidad de madera muerta.

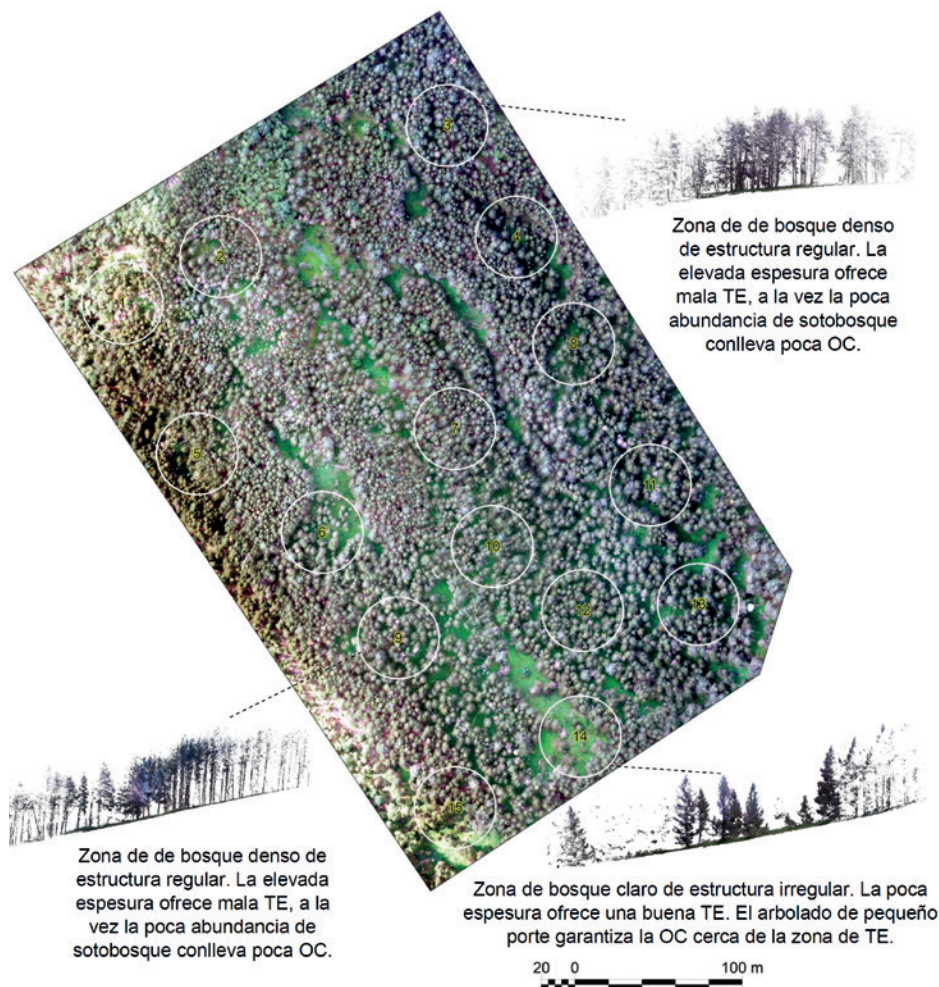


Figura 11. Ortomosaico con indicación de la localización de las parcelas y de perfiles de las nubes de puntos 3D obtenidos del LiDAR terrestre para las parcelas 3, 9 y 14 para el rodal de Lert. TE: Transitabilidad efectiva / OC: Ocultación..

Respecto a Lert, la distribución diamétrica tiene forma de campana de Gauss típica de una masa regular (en realidad coetánea, ya que tiene origen en una repoblación artificial) (Figura 14). Asimismo, presenta una densidad de arbolado elevada y una distribución espacial muy homogénea. Este tipo de estructuras tan cerradas no son adecuadas para el urogallo (Storch, 1995a), pues no permite que un ave tan pesada pueda alzar el vuelo de forma rápida (Canut, 2001).

La madera muerta presente en este rodal considerado subóptimo se debe a fenómenos de competencia intraespecífica que hacen que los árboles dominados del dosel vayan muriendo. Así lo muestra la curva de distribución (Figura 14) en la que se observa un patrón similar tanto de los pies vivos como de la madera muerta, pero desplazada a una clase diamétrica inferior en la segunda. Pese a que buena parte de la madera muerta de este rodal se atribuye a factores de

competencia por exclusión de fustes, en algunos sectores, formando agregados, se observan pies muertos de mayores dimensiones consecuencia de perturbaciones naturales que han generado aperturas del dosel. Estos procesos de dinámica natural aportan diversidad estructural, por lo que pueden considerarse interesantes de cara a la mejora del hábitat para el urogallo.

Elementos de interés

Los árboles-posadero son mucho más abundantes en el rodal Mafeb (Figura 15). La existencia de estos árboles es debida a la menor densidad del bosque y, por tanto, menor autopoda, estructura más heterogénea con presencia de huecos en el dosel de copas, permitiendo el desarrollo de ramas laterales, y mayor presencia de arbolado de clases diamétricas superiores. Por el contrario, en el rodal Lert existen pocos árboles-posadero (Figura 15). La elevada densidad de arbolado impide

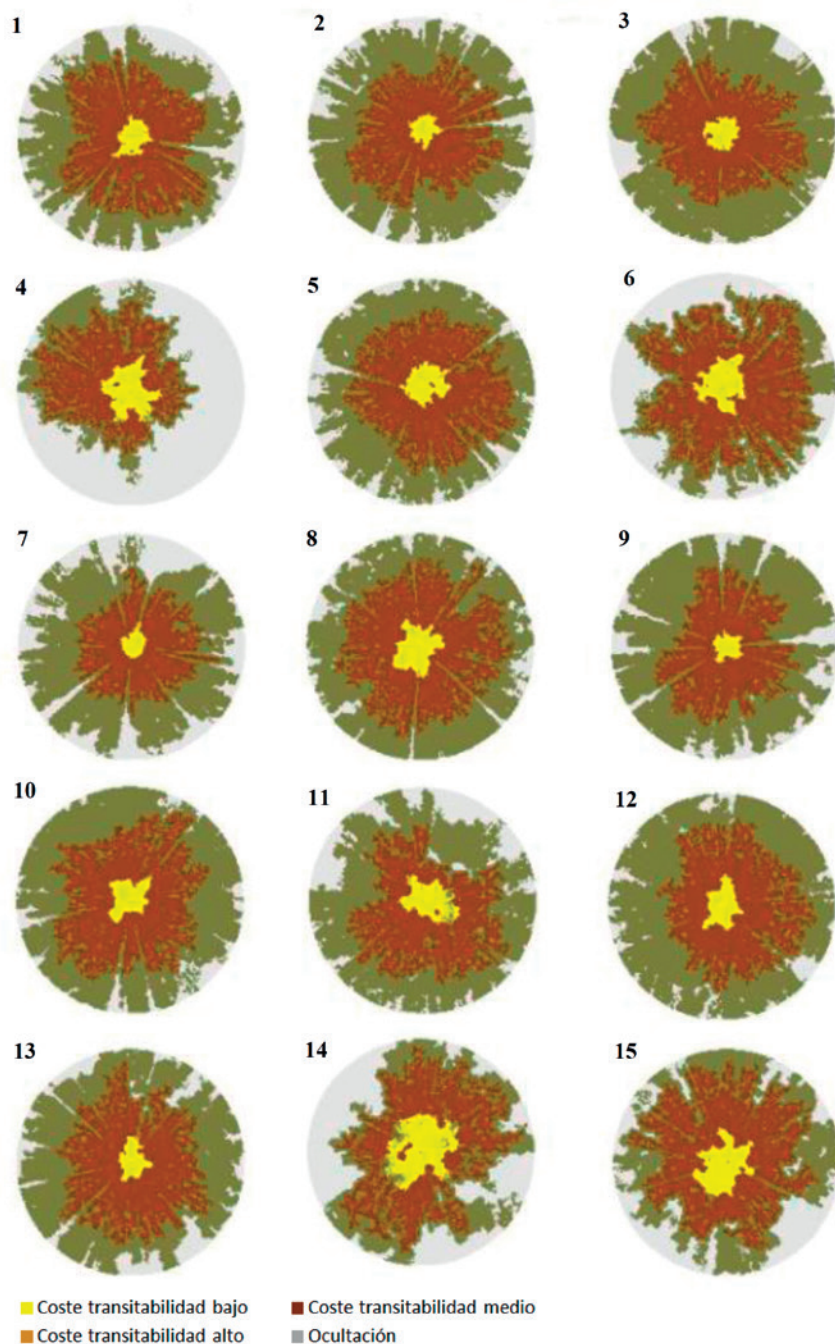


Figura 12. Mapas de transibilidad vs. ocultación para cada parcela analizada en Lert. Transibilidad efectiva (TE)= Amarillo y marrón.

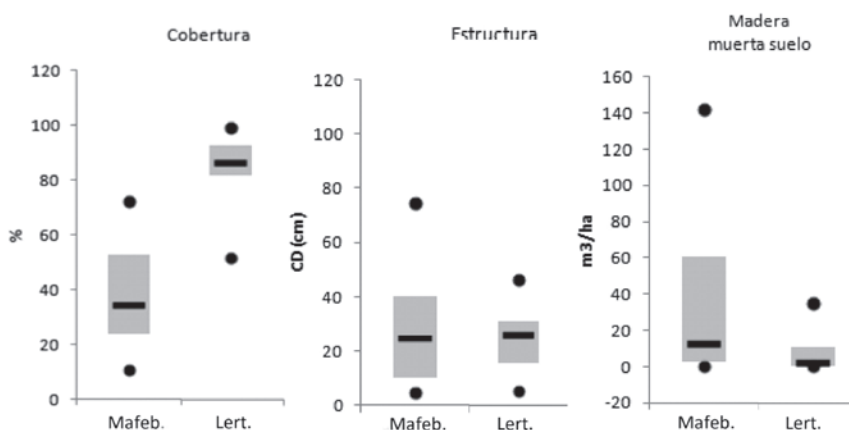


Figura 13. Comparativa de los resultados obtenidos en ambos rodales en cuanto a grado de cobertura del dosel, estructura dimensional del arbolado y abundancia de madera muerta en el suelo.

el crecimiento de ramas laterales gruesas por la elevada autopoda propia de estas estructuras de masa.

La presencia de arbustos es uno de los elementos indicadores de la calidad del hábitat para el urogallo, ya que ofrecen alimento y refugio. Es determinante la existencia de una estructura horizontal de distribución del sotobosque que alterne zonas de cobertura densa con zonas más despejadas y ricas en herbáceas (e.g. Canut et al., 2011). El arándano es la formación más rica en términos de recursos tróficos (Olmo-Vidal, 2004) si bien otras especies como la frambuesa (*Rubus idaeus*), rododendro (*Rhododendron ferrugineum*) o la gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*) pueden igualmente jugar un papel de protección e incluso, en algunos casos, como fuente de alimento (Canut et al., 2011). Según estas consideraciones, en el rodal Mafeb existe una alternancia espacial de cobertura arbustiva adecuada tanto en abundancia como en composición. La especie arbustiva con mayor presencia es el arándano, seguida de la frambuesa, existiendo también otras especies como el rododendro (no evaluada en el trabajo de campo). En cuanto a distribución, puede observarse que la existencia de estas especies está fuertemente ligada a las áreas sometidas a perturbaciones y, por tanto, a zonas con FCC arbolada reducidas y abundante madera muerta en el suelo (parcelas 9, 8, 12, 11 y 13). El derribo de parte de los árboles y la muerte de una fracción de la masa remanente han favorecido la entrada de luz y, por tanto, la regeneración de arbolado y del estrato arbustivo. A la vez, los propios troncos caídos limitan el paso de herbívoros y cobijan el estrato arbustivo facilitando su desarrollo. En las zonas del rodal no afectadas por dichas perturbaciones la cobertura arbustiva es más reducida, lo que permite una adecuada alternancia de áreas despejadas con áreas con abundancia de arbustos lo que conforma una estructura de sotobosque adecuada para el urogallo.

Respecto a Lert, en zonas en que recientemente se han realizado claras (parcelas 10, 11, 12 y 13) y en las que ha entrado algo de luz, se ha producido una colonización muy elevada de

Rubus idaeus, que alcanza, en ocasiones, alturas considerables (>1 metro de altura). Estas comunidades arbustivas enriquecen la oferta trófica, aunque su excesiva cobertura y altura pueden no ser del todo adecuadas, ya que en condiciones óptimas deben existir manchas con estrato arbustivo de una altura inferior a los 30-40 cm para que no limiten los campos de visión y el tránsito cómodo (Storch, 1993; Storch, 1995b).

Por otro lado, la cobertura media de arándano ha sido prácticamente inexistente en el rodal de estudio, si bien fuera de los límites del mismo se han observado zonas con una presencia considerable. Respecto a esta cuestión, hay que indicar que existe un importante componente edáfico: en esta zona se alternan las zonas de sustrato básico y ácido. El rodal Lert no corresponde a un suelo de carácter ácido, por lo que la composición de arbustos está condicionada por ello. En este rodal no existe arándano, pero el frambueso solventa, en parte, esta carencia.

En cuanto a los hormigueros, son más abundantes y se distribuyen más uniformemente en el rodal Mafeb. La presencia de hormigueros puede jugar un papel muy importante en la supervivencia de los pollos de urogallo (Storch, 1994), ya que los invertebrados son muy importantes para la dieta de los polluelos y las hormigas son un recurso constante e independiente de las condiciones climatológicas. A pesar de que en el rodal Lert también se han localizado hormigueros, estos son menos abundantes.

Niveles de transitabilidad y ocultación

El rodal Mafeb presenta unas condiciones estructurales que se consideran adecuadas para el urogallo: una FCC no muy elevada, un patrón de distribución del arbolado heterogéneo, una estructura irregular de edades, una cobertura de arbustos adecuada y una alta abundancia de madera muerta en pie y en el suelo. En los resultados del análisis con LiDAR terrestre estas condiciones se traducen en unos valores elevados tanto en transitabilidad efectiva como

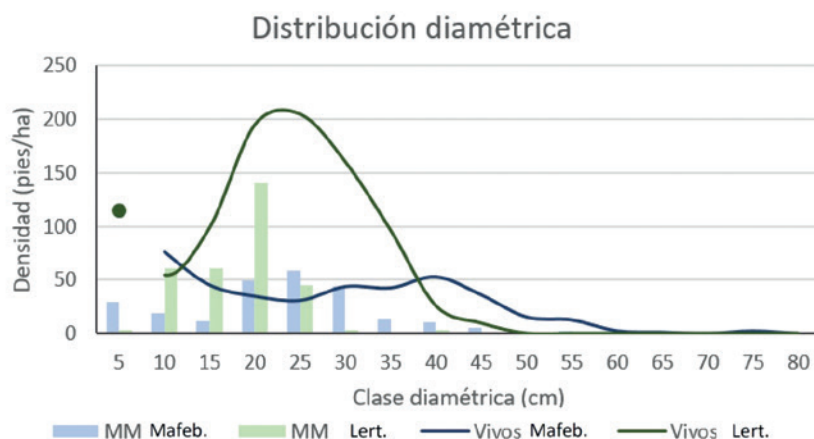


Figura 14. Comparación de las distribuciones diamétricas de los pies vivos y madera muerta (en pies/ha y volumen) de los rodales de Mafeb y Lert.

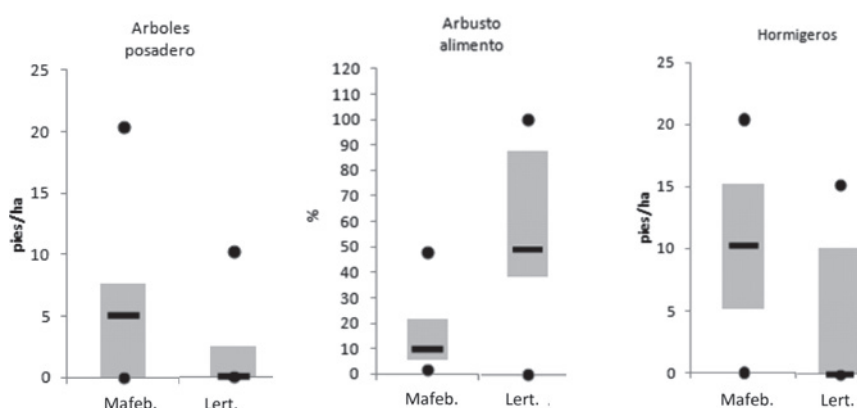


Figura 15. Comparativa de los resultados obtenidos en ambos rodales en cuanto a árboles-posadero, cobertura arbustiva fuente de alimento y presencia de hormigueros.

en ocultación (Figura 16). Por un lado, la no excesiva cobertura y densidad del arbolado permiten que el bosque disponga una buena transitabilidad, lo que se traduce en mayores oportunidades tanto en desplazamiento por el suelo como en el vuelo. Estas condiciones permiten que el ave disponga de numerosos espacios para el cortejo o la escapatoria en caso de ataque de depredadores. Por otro lado, la abundancia de madera muerta en el suelo, la existencia de cierto grado de regeneración, golpes de arbolado joven y particularmente matas de arbustos formando agregados otorgan al rodal unas buenas capacidades de ocultación. Los resultados obtenidos muestran que las buenas condiciones de transitabilidad y ocultación en muchos casos se dan instantáneamente en un mismo lugar. Este hecho se considera de suma importancia, ya que significa que el ave puede gozar de un entorno que ofrece, a la vez, un

tránsito ágil y una buena capacidad de ocultación.

Respecto al rodal Lert, los resultados de las variables estructurales indican que las condiciones del hábitat no son muy apropiadas para el urogallo: FCC muy elevada, un patrón de distribución del arbolado muy homogéneo, estructura coetánea de edades, poca variedad de especies minoritarias, presencia de cobertura de arbustos inadecuada, escasez de árboles muertos de grandes dimensiones, etcétera. En los resultados del análisis LiDAR estas condiciones se traducen con unos valores reducidos tanto en transitabilidad efectiva como en ocultación (Figura 16). Por un lado, la excesiva cobertura y densidad del arbolado conlleva que el bosque proporcione una mala transitabilidad efectiva, lo que se traduce en menores oportunidades tanto en desplazamiento por el suelo como en el vuelo. Estas condiciones hacen

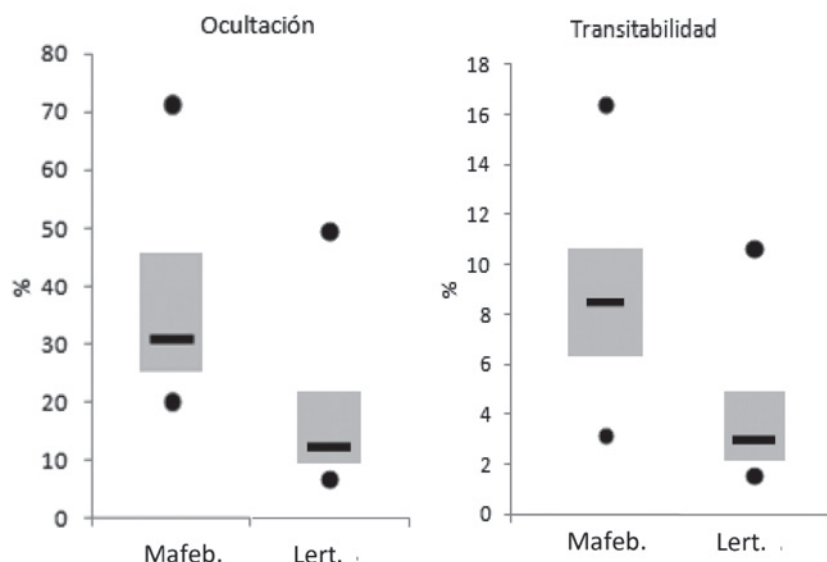


Figura 16. Comparativa de los resultados obtenidos en ambos rodales en cuanto a la evaluación de la transitabilidad efectiva y grado de ocultación que ofrece la estructura forestal.

que el ave no disponga de espacios adecuados bien para el cortejo o bien para la escapatoria en caso de ataque de depredadores. Por otro lado, la escasez de estructuras de sotobosque en la mayor parte de parcelas, la práctica inexistencia de arbolado joven y de madera muerta gruesa en el suelo otorgan al rodal unas malas capacidades de ocultación. Particularmente, algunos enclaves presentan estructuras sumamente diferentes al resto de la masa, coincidiendo con zonas de turbera o pequeños espacios abiertos generados como consecuencia de perturbaciones menores seguidas de actividad posiblemente de escolítidos. En estos sitios los valores de transitabilidad y ocultación mejoran respecto al resto de superficie, lo que remarca la necesidad de preservar y favorecer este tipo de ambientes en el marco de la gestión del rodal.

Leclercq & Ménoni (2018) resaltan precisamente la importancia de los aspectos arriba comentados: la heterogeneidad del bosque y una estructura “suficientemente abierta” en los pinares subalpinos los viejos árboles, algunos de los cuales van a morir en pie, el estrato arbustivo de plantas nutricias, la necesidad de ocultación frente a los predadores a la vez que el medio se mantiene lo suficientemente abierto para permitir el desplazamiento de esta ave. En definitiva, corroboran la trascendencia de la estructura del bosque para mantener la capa-

cidad de acogida del hábitat y la supervivencia de una especie que en los últimos tiempos está viendo declinar fuertemente su población, en buena parte debido a importantes cambios en la dinámica del paisaje. Se pueden acometer acciones directas para intentar revertir dicho proceso de degradación de la estructura óptima para el urogallo, medidas que se repasan en el siguiente apartado referente a la gestión y mejora del hábitat.

RECOMENDACIONES DE GESTIÓN PARA LA MEJORA DEL HÁBITAT EN EL RODAL LERT

Según las recomendaciones de Lucio et al. (2005), es prioritario invertir esfuerzo en la gestión en zonas sin presencia regular de urogallo, evitando la intervención en las zonas de hábitat óptimo especialmente en las áreas críticas (aquellas en las que se reproduce e hiberna la especie; Campión et al., 2011). En este contexto, el rodal subóptimo Lert, en el que no hay presencia regular de la especie, puede ser un lugar interesante en el que aplicar medidas de conservación del hábitat, favoreciendo estructuras forestales que propicien la aparición de elementos clave para el urogallo. De hecho, se trata de un entorno en el que ya se han realizado distintos tratamientos selvícolas y en el que, según los resultados obtenidos, se aconseja continuar con una gestión orientada a la conservación de la especie.

Para el diseño de estas actuaciones se pretende utilizar la cartografía de alta resolución de las variables estructurales obtenidas para el rodal que, integradas en un análisis SIG, permitirán zonificar y cuantificar distintos tratamientos bajo un enfoque que podría denominarse silvicultura de precisión.

Esta silvicultura ha de ir orientada a la consecución de una estructura con mayor grado de naturalidad y madurez forestal, propiciando una transición gradual hacia un tipo de masa más propia de los bosques naturales. Específicamente se recomendaría:

- Incrementar la heterogeneidad estructural del dosel arbolado en cuanto a densidad, FCC, estructura diametral y variedad de especies.
- Incrementar la transitabilidad y la ocultación en los estratos bajos, garantizando la alternancia de áreas extensas sin obstáculos con estructuras de sotobosque que ofrezcan refugio.
- Preservar ciertos microrrodales y elementos puntuales que ya aparecen en el rodal como: turberas, cursos de agua, hormigueros, árboles muertos en pie de distintos tamaños que aparecen formando agregados.

Para implementar estas recomendaciones puede resultar de interés la aplicación del modelo silvícola de conservación de procesos ecológicos, fundamentado en base a la aplicación de dos principios fundamentales:

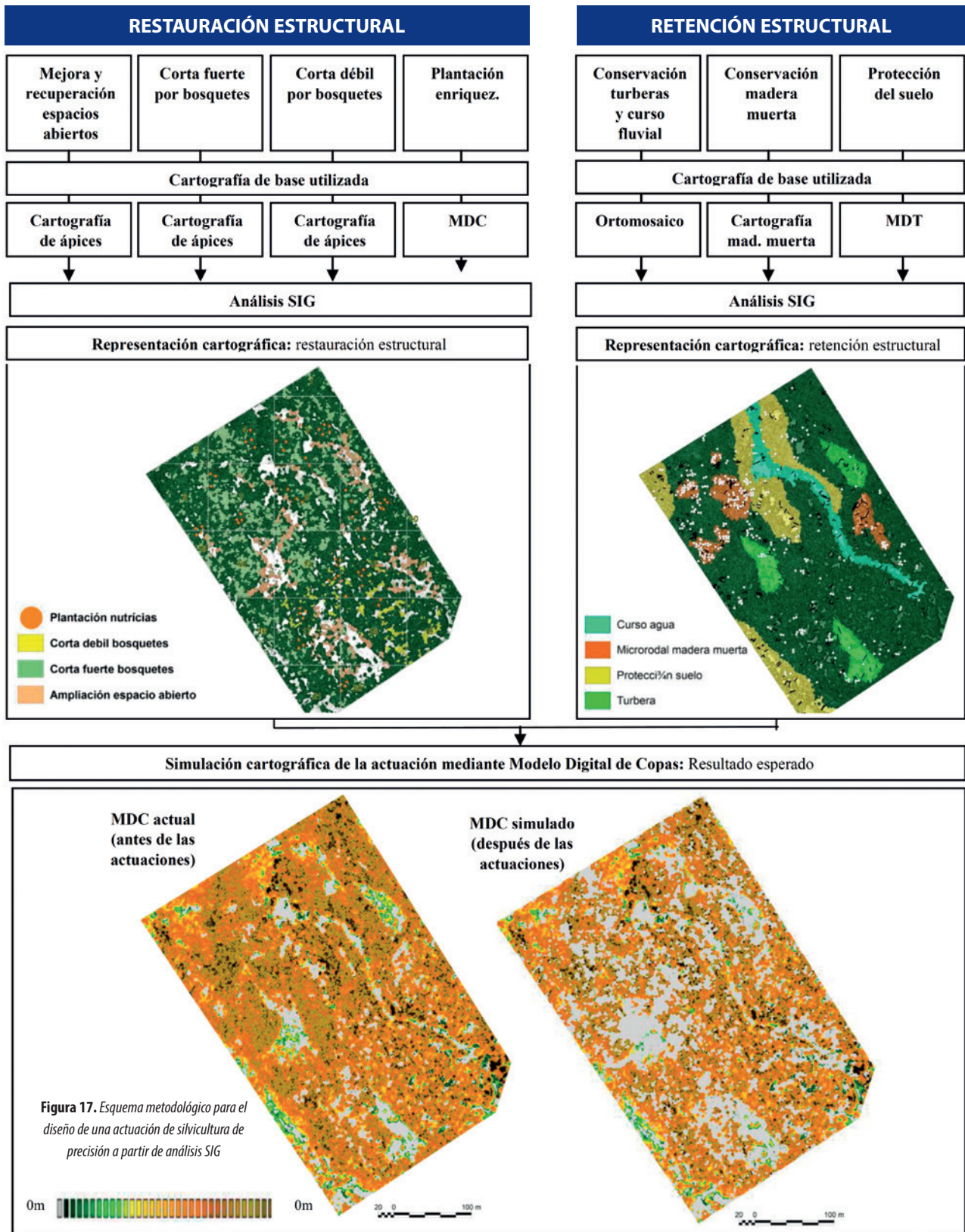
- Restauración estructural: Se trata de medidas de carácter proactivo a través de la aplicación de técnicas selvícolas que buscan incrementar la complejidad estructural de la masa con especial atención a la promoción de elementos clave y estructuras objetivo.
- Retención estructural: Se trata de medidas de carácter preventivo que pretenden el mantenimiento de elementos estructurales y de biodiversidad que ya están presentes en la masa y que contribuyan a la protección del suelo, la naturalidad, la heterogeneidad y la madurez forestal.

Según a las recomendaciones y principios mencionados se ha confeccionado una metodología para planificar tratamientos silvícolas de precisión. Esta metodología se fundamenta en la realización de un análisis SIG multicriterio (Figura 17)

que permite en base a las condiciones estructurales actuales, zonificar y cuantificar de forma semiautomatizada los distintos tratamientos silvícolas, pudiendo incluso simular el resultado final de la actuación planificada.

CONCLUSIONES

Para realizar el análisis estructural ha sido de gran utilidad la obtención de datos remotos mediante dron y LiDAR terrestre, junto con los datos de campo. La utilización combinada de estas técnicas permite cuantificar



variables de forma continua en el espacio obteniendo productos cartográficos de mayor exactitud y detalle que las evaluaciones clásicas de muestreo. Una de las particularidades del trabajo ha sido la integración del LiDAR terrestre como herramienta para medir la complejidad estructural del bosque y cómo esta puede traducirse como indicador de la capacidad de transitabilidad y ocultación que ofrece el ecosistema para el urogallo. La utilización de escaneos individuales ha demostrado producir resultados plausibles que distinguen una variedad de situaciones de manera eficiente y objetiva. El análisis LiDAR no ha abordado un análisis de complejidad en función de los distintos estratos verticales del bosque por lo que sería una importante tarea de investigación futura.

El rodal de Mafeb presenta unas características estructurales que se consideran adecuadas para el urogallo: una FCC no muy elevada, un patrón de distribución del arbolado heterogéneo, una estructura irregular de edades, una cobertura de arbustos adecuada y una elevada presencia de madera muerta en pie y en el suelo. El rodal de Lert presenta unas características estructurales que, por lo general, no son apropiadas para el urogallo, ya que presenta una densidad de arbolado muy alta, con una FCC muy elevada y homogénea. Exceptuando pequeños enclaves, los estratos herbáceo y arbustivo son escasos. A la vez, existe una alta monoespecificidad y coetaniedad del dosel arbolado, inexistencia de arbolado de grandes dimensiones y escasez de madera muerta gruesa.

Estas características, junto a que el rodal se encuentra en un área de elevado potencial ecológico para la especie, hacen que el enclave de Lert pueda ser un lugar interesante en el que aplicar medidas de conservación del hábitat para el urogallo. En este contexto, utilizando como base los productos cartográficos obtenidos, este trabajo plantea una aproximación metodológica de diseño de actuaciones de conservación del hábitat bajo un enfoque de silvicultura de precisión, ofreciendo una herramienta de apoyo que ayude a los gestores a optimizar la toma de decisiones en futuros trabajos

de planificación y gestión forestal de estos rodales.

Este estudio es una propuesta de actuación a pequeña escala, pero la mejora del hábitat del urogallo pirenaico requerirá actuaciones de mejora de hábitat en superficies mayores, para lo que se estima muy necesario recopilar información previa sobre las características del hábitat y sobre cómo trabajar selvicolamente para mejorar sus condiciones, como la obtenida en este proyecto piloto.

AGRADECIMIENTOS

Esta comunicación se basa en un trabajo financiado por FEDER a través del programa Interreg POCTEFA 2014-2020 en el marco del proyecto “HABIOS. Preservar y gestionar los hábitats de la avifauna bioindicadora

de los Pirineos” y fondos propios del Gobierno de Aragón. Agradecemos a la dirección facultativa de este proyecto por todo el apoyo, discusiones para la mejora y consejos recibidos a lo largo de la realización del mismo. A los técnicos y APN de la Dirección General de Sostenibilidad del Gobierno de Aragón, especialmente a Ricardo Jaquet, por su interés y apoyo en las labores de campo. A Damià Vericat Querol del Grup de Recerca de dinàmica fluvial RIUS de la Universidad de Lleida por los consejos en la utilización de la estación LiDAR terrestre. A Iosu Antón, por sus consejos sobre el hábitat de urogallo y de mochuelo boreal y por prestar las fotografías que ilustran el artículo, realizadas en Andorra con los correspondientes permisos administrativos.

Bibliografía

- BOE 7/4/2023. Orden TED/339/2023, de 30 de marzo, por la que se modifica el anexo del Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas
- Campión, D., Olabe, F. & Val, Y. (2011). Gestión de nuevos bosques de pino silvestre para el aumento de la capacidad de acogida del urogallo. En: Canut, J., García-Ferré, D. & Afonso, I. 2011. *Manual de conservación y manejo del hábitat del urogallo pirenaico*. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Serie manuales de gestión de especies amenazadas. Madrid.
- Canut, J., García-Ferré, D. & Afonso, I. (2011). *Manual de conservación y manejo del hábitat del urogallo pirenaico*. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Serie manuales de gestión de especies amenazadas. Madrid
- Cifuentes, R., Van der Zande, D., Farifteh, J., Salas, C. & Coppin, P. (2014). Effects of voxel size and sampling setup on the estimation of forest canopy gap fraction from terrestrial laser scanning data. *Agric. For. Meteorol.*, 194: 230-240.
- Gil, J.A., Gómez-Serrano, M.A. & López-López, P. (2020). Declive poblacional del urogallo *Tetrao urogallus aquitanicus* en los Pirineos Centrales. *Ardeola* 67 (2).
- Leclercq, B. & Ménoni, E. (2018). Le Grand tetras. *Biotope*, Méze. 352 p.
- Lucio, A.J., Pollo, C.J., Robles, L. & Ballesteros, F. (2005). Diagnóstico del estado de conservación del hábitat. En: Ballesteros, F. & Robles, L.

- (Eds.) 2005. *Manual de Conservación y Manejo del Hábitat del Urogallo Cantábrico*. Pp 43-56. Dirección general para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid
- Olmo-Vidal, J. M. 2004. *Les poblacions d'artròpodes com a preses potencials a la dieta dels polls de gall fer (Tetrao urogallus)*. Màster. Universitat de Barcelona. pp. 43.
- Pollo, C., Robles, L., Ballesteros, F. & Obeso, J.R. (2005). El hábitat del urogallo en la cordillera cantábrica. En: Ballesteros, F. & Robles, L. (2005). *Manual de conservación y manejo del hábitat del urogallo cantábrico. Serie manuales de gestión de especies amenazadas*. Ministerio de Medio Ambiente.
- Storch, I. (1993). Habitat selection of Capercaillie in summer and autumn: is bilberry important? *Oecologia* 95: 257-265.
- Storch, I. (1994). Habitat and survival of capercaillie *Tetrao urogallus* nests and broods in the Bavarian Alps. *Biological conservation*, 70: 237 - 243.
- Storch, I. (1995a). Habitat requirements of the capercaillie. *Pro. Int. Symp. Grouse*, 6: 151-154.
- Storch, I. (1995b). The role of bilberry in central European capercaillie habitats. *Proc. Int. Symp. Grouse*, 6: 116-120.
- Van der Zande, D., Hoet, W., Jonckheere, I., Van Aardt, J. & Coppin, P. (2006) Influence of measurement set-up of ground-based LiDAR for derivation of tree structure. *Agric. For. Meteorol.*, 141, 147-160.
- Willim, K., Stiers, M., Annighöfer, P., Ammer, C., Ehbrecht, M., Kabal, M., Stillhard, J. & Seidel, D. (2019). Assessing Understorey Complexity in Beech-dominated Forests (*Fagus sylvatica* L.) in Central Europe — From Managed to Primary Forests. *Sensors* 19 (7), 1684.