

CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL HÁBITAT DEL UROGALLO (*Tetrao urogallus*) EN UN RODAL ÓPTIMO Y OTRO SUBÓPTIMO



CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL HÁBITAT DEL UROGALLO (*Tetrao urogallus*) EN UN RODAL ÓPTIMO Y OTRO SUBÓPTIMO

Administración contratante: Gobierno de Aragón
Órgano de contratación: Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad
Servicio gestor: Servicio de Biodiversidad
Expediente: HB92024

Autores del trabajo

Josep Sabaté Balsells
Oscar Schwendtner García
Barry Barnard Belenguer
Xavier Garcia Martí
Álvaro Tena Pagán

Coordinación técnica y dirección facultativa

José María Martínez González
Ramón Jato

Debido a la sensibilidad ambiental de las zonas estudiadas, en este documento se abrevian los nombres de alguno de los rodales y algunas figuras se presentan a baja resolución por restricción de los datos.

Foto de portada: Vista aérea del rodal de Mafeb. captada con el dron durante el trabajo de campo

Este informe ha sido elaborado en el marco de la acción 3.3 y 4.2 del proyecto Interreg POCTEFA – Habios: “EFA 079/15 Habios – Preservar y gestionar los hábitats de la avifauna bio-indicadora de los Pirineos”

El proyecto ha sido cofinanciado al 65% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Interreg V-A España-Francia-Andorra (PO CTEFA 2014- 2020). El objetivo del POCTEFA es reforzar la integración económica y social de la zona fronteriza España-Francia-Andorra. Su ayuda se concentra en el desarrollo de actividades económicas, sociales y medioambientales transfronterizas a través de estrategias conjuntas a favor del desarrollo territorial sostenible.



habios



ÍNDICE

ÍNDICE	3
TÍTULO I: INTRODUCCIÓN	4
1.1 Marco del trabajo	4
1.2 Composición y características estructurales del hábitat del urogallo.....	4
1.3 Extensión de las manchas de hábitat	5
1.4 Planteamiento general del estudio.....	5
1.5 Objetivos	5
1.6 Descripción de las áreas de estudio.....	7
1.7 Antecedentes históricos.....	11
TÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
2.1. OBTENCIÓN DE DATOS ESTRUCTURALES REMOTOS	14
2.2 OBTENCIÓN DE DATOS ESTRUCTURALES EN CAMPO	27
TÍTULO III: RESULTADOS	32
3.1 RODAL ÓPTIMO DE MAFEB.	32
3.2 RODAL SUBÓPTIMO: LERT.	49
TÍTULO IV: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	66
TÍTULO V: RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN.....	72
TÍTULO VI: CONCLUSIONES.....	75
TÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA	77
TÍTULO VIII:AGRADECIMIENTOS	79
TÍTULO IX:ANEJOS	80

TÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Marco del trabajo

Aragón participa junto con dieciséis socios más, españoles y franceses, en la ejecución del proyecto POCTEFA titulado: Preservar y gestionar los hábitats de la avifauna en el Pirineo; que tiene como acrónimo HABIOS (EFA/079/15). Se trata de un proyecto concedido por la autoridad de gestión de la Comunidad de Trabajo de los Pirineos quién se financia a través de INTERREG. POCTEFA tienen su fundamento en facilitar recursos para mejorar las diferentes políticas en ambos lados de los Pirineos.

El proyecto actual se inició en junio del año 2016 y según los criterios establecidos por la autoridad de gestión se enmarca en el eje prioritario de promover la protección, la valorización y el uso sostenible de los recursos locales; siendo la prioridad de inversión, la protección y restablecimiento de la biodiversidad y del suelo y el fomento de los servicios de los ecosistemas, inclusive a través de la red Natura 2000. Se trata, en resumen, de proteger y mejorar la calidad de los ecosistemas fronterizos.

HABIOS se estructura en 4 acciones y cada acción subdivide en actividades. En concreto el presente trabajo se enmarca entre la acción 3.3 “Acciones de seguimiento con nuevas tecnologías” y la acción 4.2 “Mejora de hábitats favoreciendo la integración de criterios de gestión favorables a las especies en la gestión de los espacios naturales”.

El trabajo está orientado a la caracterización y gestión del hábitat del urogallo (*Tetrao urogallus*) 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, incluida en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas (Real Decreto 139/2011) y en el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón (Decreto 49/1995, de 28 de marzo, modificado por Decreto 181/2005 de septiembre). El estudio se lleva a cabo en dos zonas distintas: en un rodal de bosque de pino negro (*Pinus uncinata*) de origen natural localizado en una zona óptima para el urogallo (zona de Mafeb.) y en un rodal de bosque de pino negro procedente de repoblación artificial localizado en una zona considerada como subóptima para la especie (zona de Lert.).

El objetivo es realizar una caracterización estructural de cada rodal. Para la caracterización se ha combinado la obtención de datos remotos y datos de campo con el fin de obtener cartografía a pequeña escala de variables estructurales del hábitat claves para la especie. A partir de los resultados obtenidos se ha elaborado material de apoyo para el seguimiento del hábitat de ambos rodales y, específicamente, para la planificación de acciones de silvicultura de precisión aplicables en el rodal subóptimo (Lert.).

1.2 Composición y características estructurales del hábitat del urogallo

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 se observa que este tipo de pinares se reduce en extensión y solo se encuentran en áreas de montaña, a mayores alturas, por lo que en la cordillera Pirenaica encontramos al urogallo (constreñido a los pisos altimontano y subalpino). Una notable excepción a este patrón es el hábitat ocupado en la Cordillera cantábrica (bosques mixtos caducifolios) por el urogallo, que en esa cordillera presenta una subespecie diferente (*Tetrao urogallus cantabricus*) a la nominal y a la pirenaica (*Tetrao urogallus aquitanicus*).

De acuerdo con uno de los principales estudiosos del urogallo, Storch (1995), la selección del tipo de hábitat parece estar basada en las características del sotobosque más que en la del propio bosque, principalmente en la cobertura de arándano (*Vaccinium myrtillus*). Esta especie, (siguiendo con la referencia del autor citado) se considera clave para la supervivencia de este galliforme, siempre que el bosque cumpla unos requisitos mínimos de cobertura y estructura. Sus ramas, hojas, flores y frutos son su alimento principal durante el verano y el otoño en poblaciones europeas. Además los insectos que se localizan sobre esta planta (especialmente las larvas de los lepidópteros) son un alimento básico para los juveniles durante las primeras semanas de vida.

Pero además de arándanos, el urogallo puede utilizar otras matas que dan frutos carnosos que sean más abundantes localmente (como frambuesas, *Rubus idaeus*, o acebos, *Ilex aquifolium*).

Aparte de los recursos tróficos, el urogallo tiene otras necesidades habitacionales en cuanto a protección frente a predadores, refugio frente a condiciones climáticas extremas, zonas de exhibición en época de cría (cantaderos), etc. por lo que identificar las características estructurales de las zonas que mantienen buenas poblaciones (áreas óptimas) es importante, especialmente si se pretende obtener información para modificar la estructura en aquellas zonas con problemas poblacionales constatados (áreas subóptimas).

A partir de estas notas previas, se observa que la estructura del pinar es importante, no solo por las características estructurales de los propios pinos y cómo se articulan en el espacio, sino por cómo esta estructura del dosel superior influye en el desarrollo del sotobosque (en nuestro caso matas de arándano y frambueso principalmente).

1.3 Extensión de las manchas de hábitat

La extensión del hábitat del urogallo está entre los más amplios de las aves forestales. Datos de telemetría del centro y Norte de Europa muestran un dominio vital medio anual de 550 ha para ambos sexos, aunque el uso del hábitat varía estacionalmente dependiendo de las diferentes clases de edad y sexo. De forma general los subadultos tienen áreas de campeo de mayor superficie que los adultos, y los machos adultos mayor que las hembras con polladas. Utilizan mayores áreas de campeo cuando la fragmentación forestal es elevada y las manchas se encuentran más alejadas unas de otras (Pollo et al., 2005, Storch, 1995).

1.4 Planteamiento general del estudio

El objeto de este proyecto no es caracterizar de manera extensiva (a escala de paisaje) las áreas donde habita el urogallo a lo largo del año, sino determinar el “grano fino” de la estructura en los lugares mejor conservados. De este modo, el enclave de la zona considerada como óptimo (Mafeb.) supone una zona de cría y alimentación muy buena, y se pretende que sirva como referencia de “hábitat adecuado” para las posibles actuaciones silvícolas que se pueden desarrollar en el enclave de Lert., considerado subóptimo.

De este modo se pretende identificar los elementos clave del hábitat para la supervivencia del urogallo y relacionarlos con la estructura y dinámica natural de los pinares de *Pinus uncinata* en la zona de estudio (es decir, a lo largo de la vida de uno de estos pinares, cómo va variando la estructura del bosque y van apareciendo unos u otros elementos clave), y en su caso plantear las actuaciones de mejora necesarias (Villero et al., 2016) para elevar la capacidad de acogida del hábitat para la especie objetivo y otras relacionadas (por ejemplo el mochuelo boreal) para las cuales el urogallo se comporta como “especie paraguas”.

1.5 Objetivos

El objetivo es realizar una caracterización estructural del hábitat del urogallo en dos rodales forestales, uno ubicado en una zona de alta calidad del hábitat del urogallo y otro ubicado en una zona de calidad subóptima en el cual hay previsto realizar acciones de mejora del hábitat en el marco del proyecto LIFE HABIOS.

Los objetivos específicos del trabajo son:

1. Obtener para cada rodal de estudio cartografía del hábitat a pequeña escala que evalúe las siguientes variables estructurales:
 - Fracción de cabida cubierta arbolada.
 - Densidad de arbolado.
 - Altura de la vegetación.
 - Abundancia de elementos clave para el urogallo (formaciones arbustivas, árboles posadero, hormigueros,...).
 - Nivel de visibilidad y transitabilidad interna del hábitat para el urogallo.
2. Identificar los elementos clave del hábitat para la supervivencia del urogallo y relacionarlos con la estructura y dinámica natural de los pinares en los rodales de estudio.

3. Comparar las variables forestales obtenidas de 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.

1.6 Descripción de las áreas de estudio

1.6.1 Rodal óptimo: Mafeb.

El rodal se localiza en el entorno denominado Mafeb. en el término municipal de Plan. El rodal forma parte de una extensa masas boscosa de pino negro (*Pinus uncinata*) y pino silvestre (*Pinus sylvestris*) de origen natural, de pendiente moderada (entre el 40% y 60%) y orientada al suroeste. Se localiza en el monte de Utilidad Pública *Selva Negra y las Coronas* (UP 2200097) y es propiedad del ayuntamiento de Plan. El área queda integrada dentro de la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) denominada *Cotiella - Sierra Ferrera* (código ES0000280).

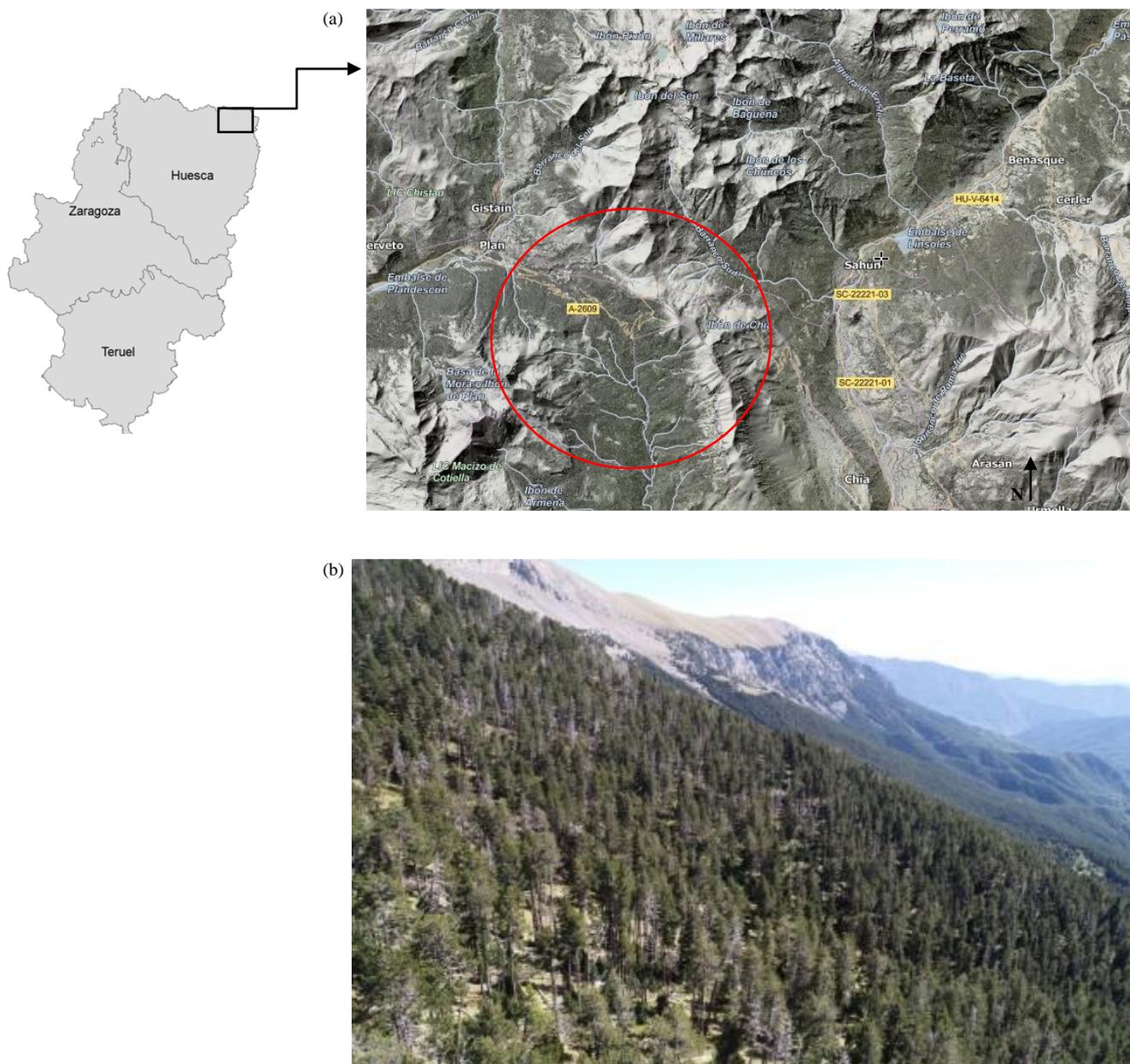


Figura 1. (a) Mapa con indicación de las principales poblaciones, topónimos y vías de comunicación del entorno en que se ubica el rodal de estudio (se indica con un círculo la localización del rodal de Mafeb.) y (b) fotografía aérea del rodal de Mafeb. tomada durante el trabajo de campo.

El área de Mafeb. es considerada como una de las mejores zonas del urogallo del pirineo aragonés. En la figura 2 se muestra el área óptima especificando los contaderos, las zonas de cría y las de alimentación. El rodal en el que se pretende realizar la caracterización estructural tiene una superficie de 9 ha, se localiza casi en contacto

con la zona supra forestal (entre la cota 1.990 m y 2.150 m) y corresponde a una de las áreas de cría conocidas en la zona (ver figura 2).

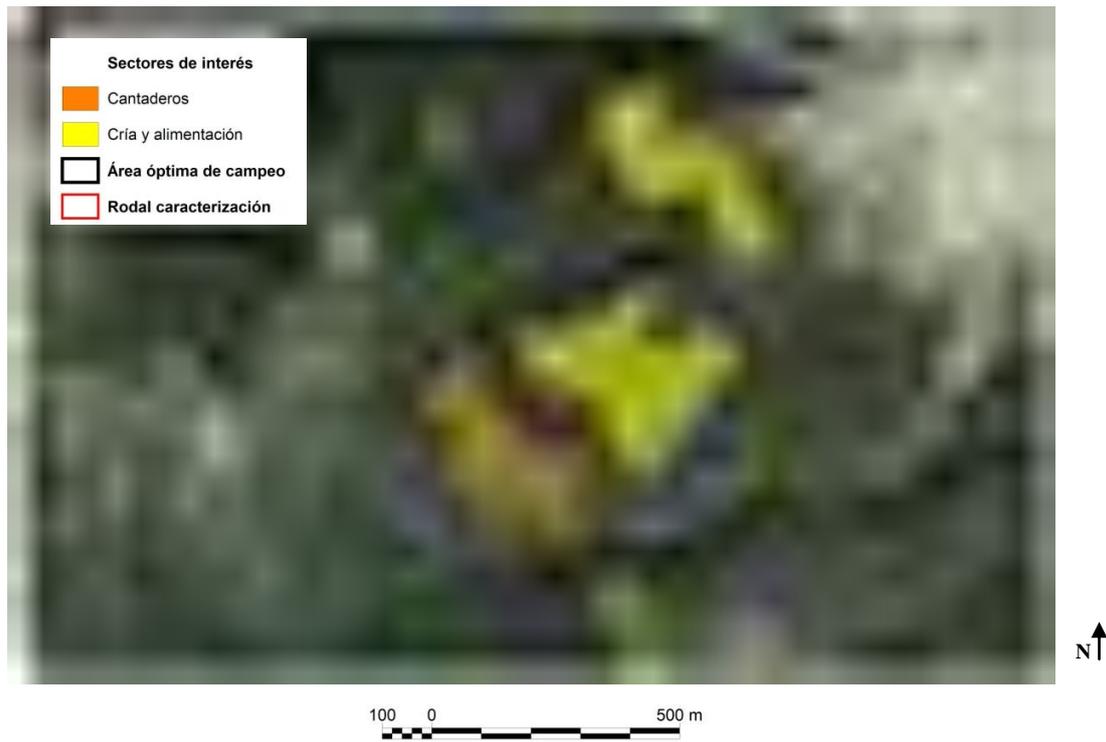


Figura 2. Mapa de la zona óptima del urogallo en el entorno de Mafeb. en el que se indica el ámbito del rodal a caracterizar (recuadro rojo). Se muestran en el mapa las áreas conocidas de contaderos, áreas de cría y alimentación (elaborado a partir de información facilitada por el Servicio de Biodiversidad del Gobierno de Aragón). NOTA: Se presenta esta figura a baja resolución (junto con otras siguientes) por la sensibilidad ambiental de los datos.

1.6.2 Rodal subóptimo: Lert.

El rodal subóptimo se localiza en la zona denominada Lert. en el término municipal de Benasque. El rodal forma parte de una extensa masas boscosa de pino negro (*Pinus uncinata*) y pino silvestre (*Pinus sylvestris*) procedente de repoblación artificial, de pendiente suave-moderada (entre el 20% y 40%) y orientado al noroeste. Toda la zona está incluida en el monte de Utilidad Pública (UP 2200030) propiedad del ayuntamiento de Benasque.

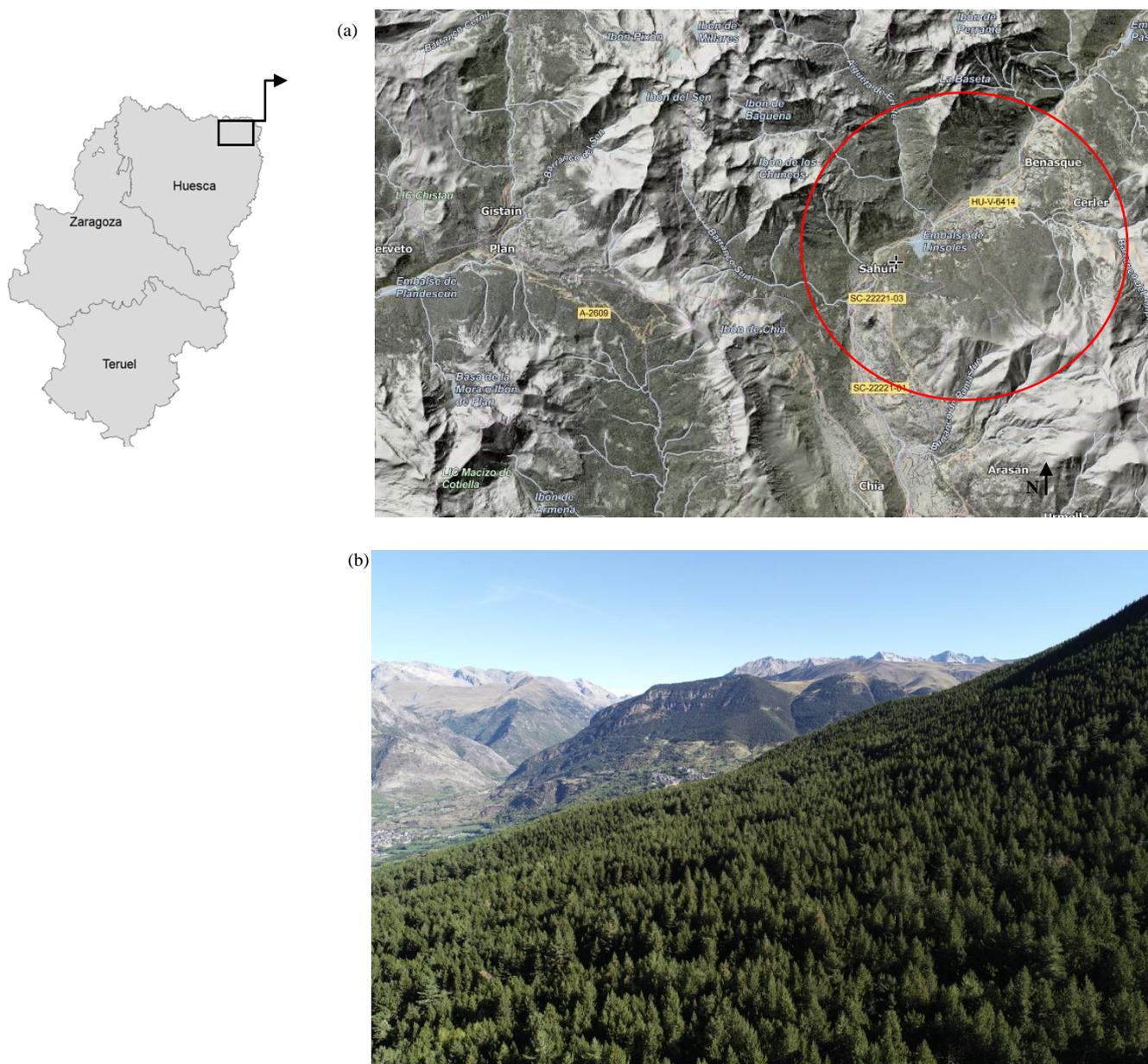


Figura 3. (a) Mapa con indicación de las principales poblaciones, topónimos y vías de comunicación del entorno en que se ubica el rodal de estudio (se indica con un círculo la localización del rodal de Lert.) y (b) fotografía aérea del rodal de Lert. tomada durante el trabajo de campo.

En la zona de Lert. predominan los bosques de origen artificial. La mayor parte de la ladera corresponde a un área repoblada con pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y pino negro (*Pinus uncinata*). Se trata de un entorno sometido a fuerte manejo forestal. En la figura 4 se muestra una cartografía en que se identifican las distintas actuaciones realizadas o planificadas en la zona, así como la localización concreta del rodal de estudio que tiene una superficie de 13 ha (localizado entre la cota 1.751 m y 1.880 m).

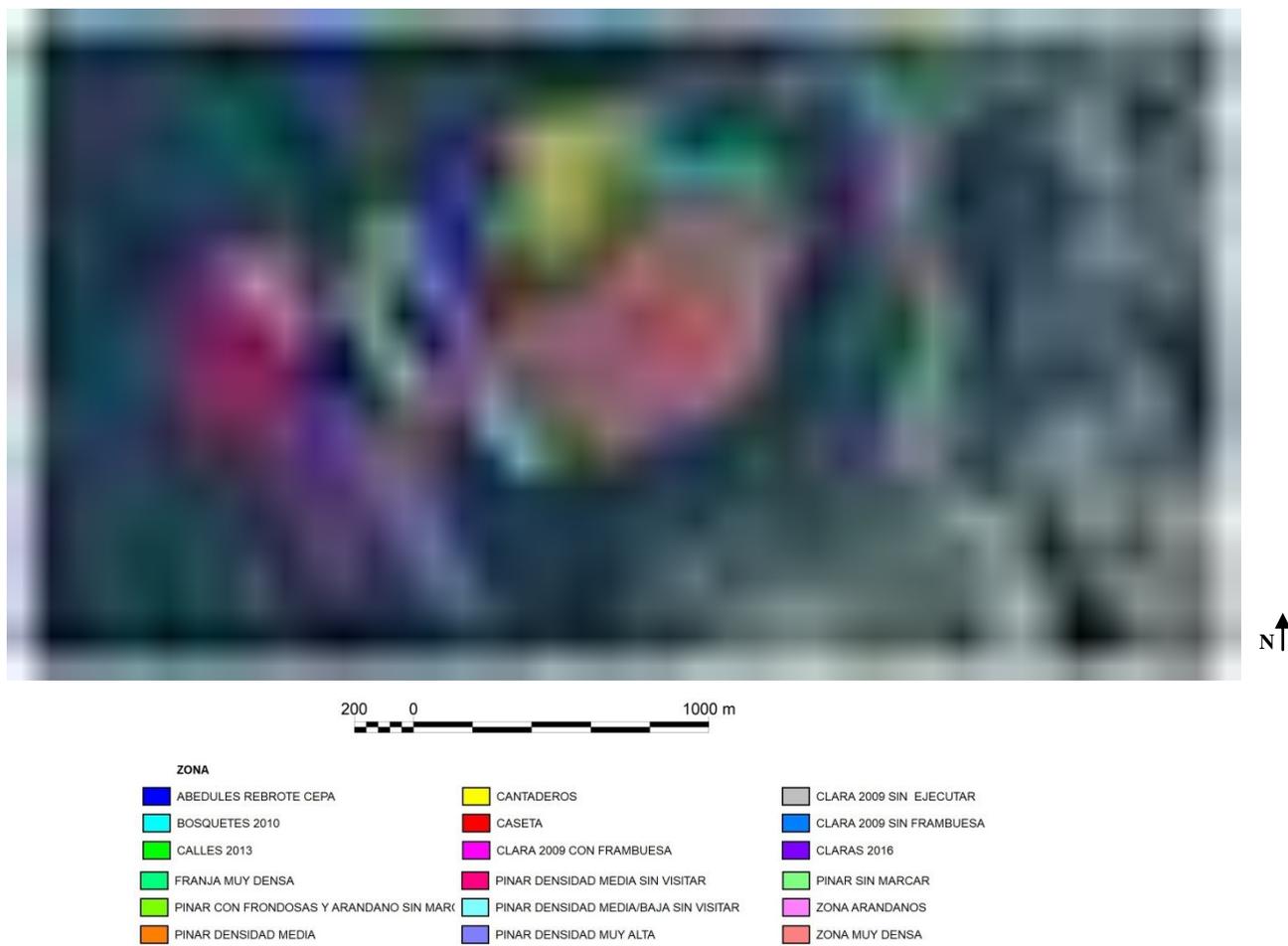


Figura 4. (a) Mapa de la zona de Lert. con indicación de las principales actuaciones realizadas o planificadas (línea blanca delimita el rodal de estudio).

1.7 Antecedentes históricos

En las siguientes figuras 5 y 6 se muestra una comparativa entre el ortomosaico del año 1956 y el ortomosaico del año 2010 para los dos rodales de estudio (Mafeb. y Lert.).

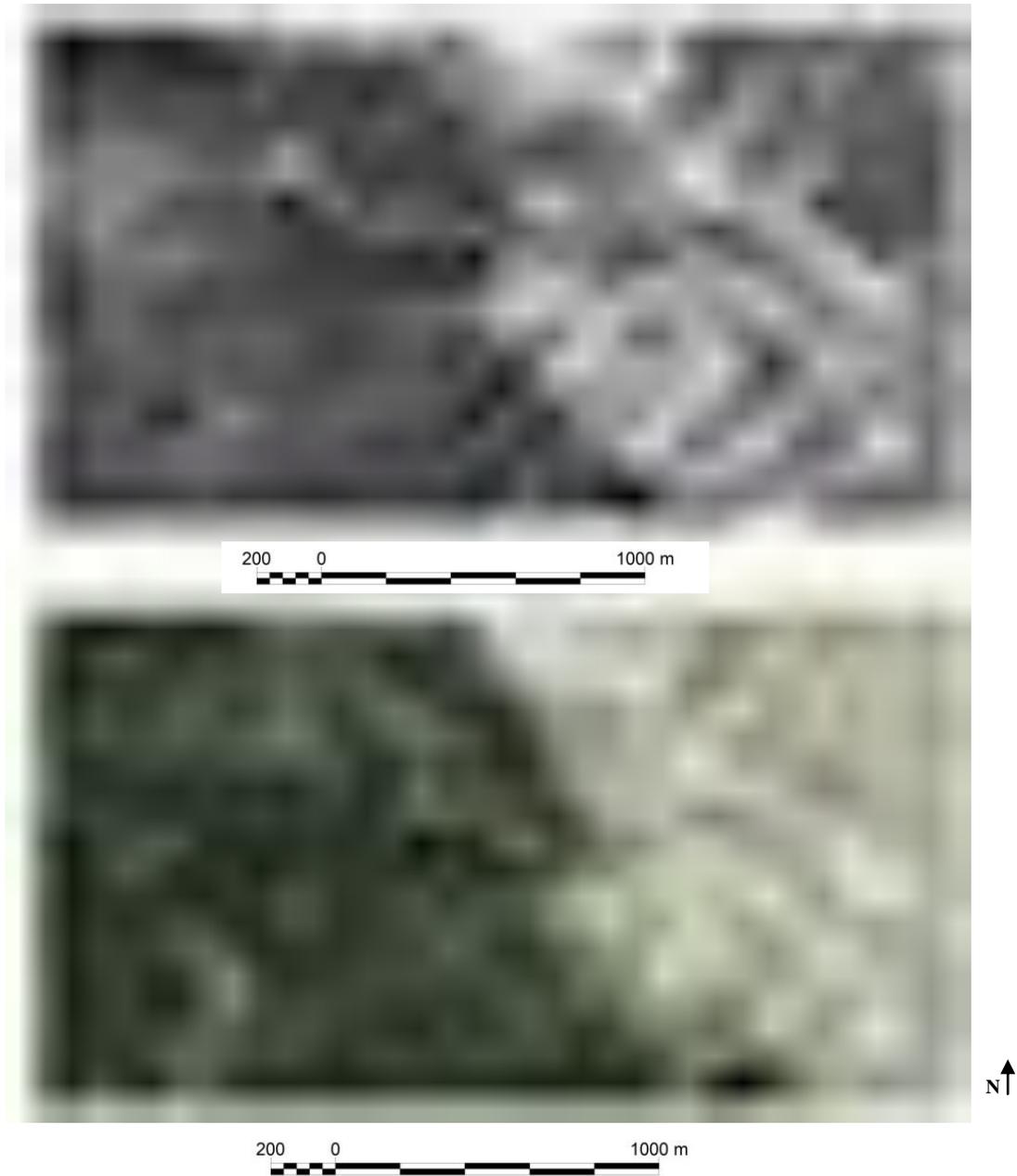


Figura 5. (a) Ortomosaico del año 1956 (vuelo americano) y (b) ortomosaico del año 2010 para la zona de Mafeb.. Se indica la localización del rodal de estudio. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

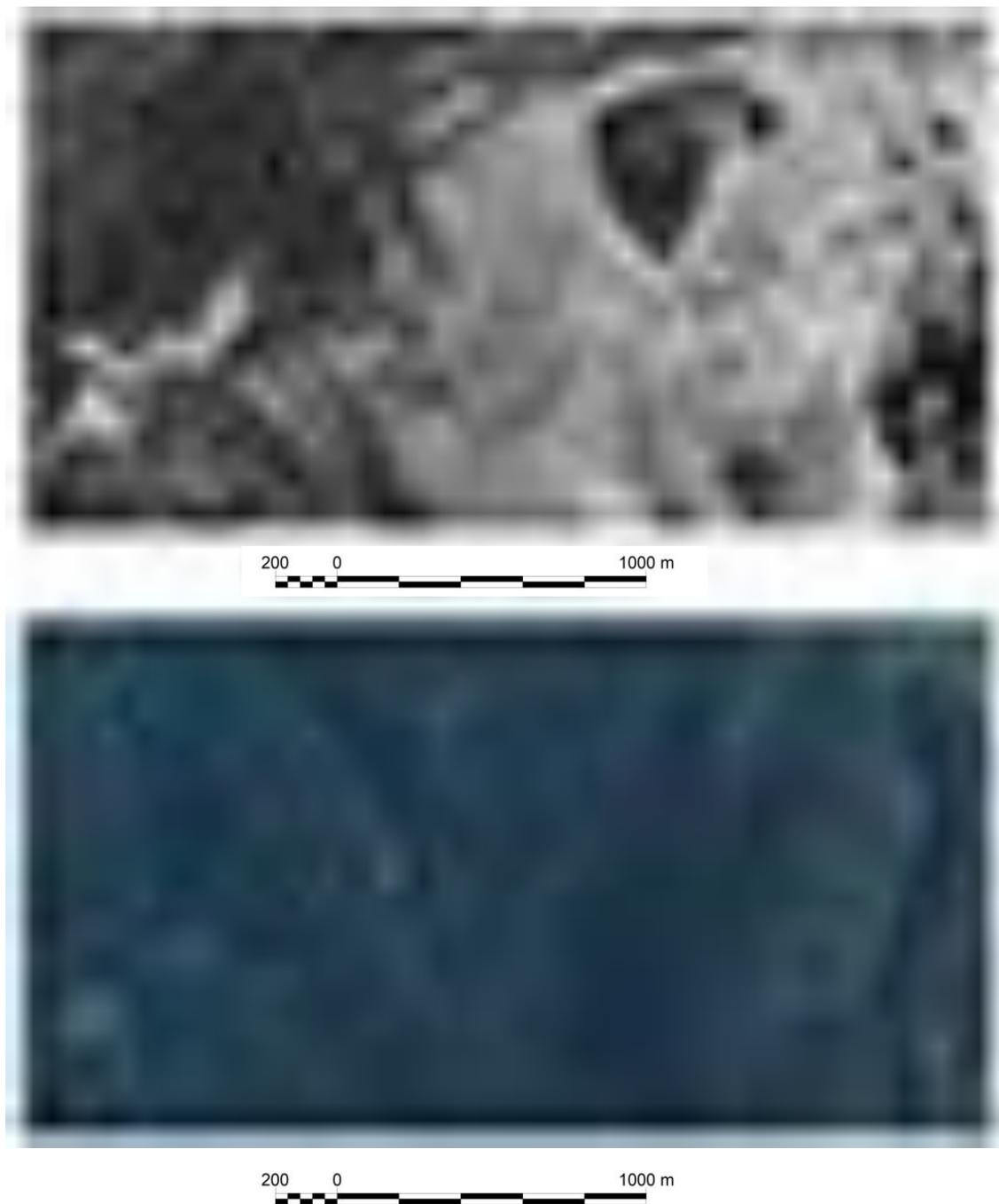


Figura 6. (a) Ortomosaico del año 1956 (vuelo americano) y (b) ortomosaico del año 2010 para la zona de Lert.. Se indica la localización del rodal de estudio. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Como se aprecia en las ortofotografías, en Mafeb. existía una masa boscosa cerrada en 1956 que aunque en la actualidad ocupa más superficie, principalmente en su límite superior, ya parece tener una estructura similar a la actual. El caso de Lert. es radicalmente distinto ya que en la situación del rodal no existía apenas arbolado en 1956, habiendo ganado mucha superficie arbolada fruto de las repoblaciones realizadas en la zona. En 1956 probablemente era una zona destinada al uso ganadero, desprovista de arbolado y con zonas con una elevada erosión, especialmente en la parte superior del rodal (sur), como se ve a simple vista en la ortofoto.

TÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS.

En este apartado se presenta toda la información relacionada con el desarrollo metodológico del trabajo: adquisición de datos, el post proceso de éstos y su tratamiento para la obtención de las variables de estructura del hábitat a caracterizar.

La caracterización de cada uno de los rodales se ha realizado combinando la obtención de datos remotos y datos de campo. El objetivo es obtener cartografía a pequeña escala de las características estructurales del hábitat prestando especial atención a los elementos clave para el urogallo (*Tetrao urogallus*). A continuación se resume mediante qué proceso se han obtenido los datos remotos y los datos de campo en cada rodal.

DATOS REMOTOS AÉREOS: Levantamiento fotogramétrico aéreo del rodal.

Mediante la utilización de un dron o RPAS (*Remote Pilot Aircraft System*) se ha obtenido un conjunto de fotografías aéreas en estructura de movimiento. Estas fotografías han sido post procesadas mediante técnicas de fotogrametría digital automatizada (*Structure from Motion-Multi View Stereo*), Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Teledetección con el fin de obtener cartografía de la estructura forestal relacionada con la fracción de cabida cubierta, alturas de la vegetación y localización y tipología de árboles del dosel de copas.

DATOS REMOTOS TERRESTRES: Levantamiento de parcelas mediante láser scanner.

Mediante la utilización de una estación T-LiDAR (*Terrestrial Light Detection and Ranging*) de tipo estática se ha obtenido información topográfica de alta precisión en un total de 15 parcelas (de 40 metros de radio) para cada rodal. Se ha realizado 1 estacionamiento T-LiDAR en el centro de cada parcela y se ha utilizado el nivel de penetrabilidad del haz láser y distintas variables estructurales de la nube de puntos 3D (*PointCloud*) para realizar una caracterización estructural orientada a la valoración de la transitabilidad y ocultación del entorno para el urogallo.

DATOS DE CAMPO: Inventario de elementos estructurales clave para el urogallo.

En cada una de las 15 parcelas levantadas con la estación T-LiDAR se ha abordado un inventario de campo de elementos estructurales clave del urogallo (elementos que no son posibles caracterizar mediante los datos remotos). Este inventario ha consistido en registrar elementos estructurales del bosque como la densidad de arbolado, árboles de la especie dominante muy gruesos (dbh sup. a 60 cm) o con portes o estructuras propicias como posaderos, árboles de especies acompañantes, formaciones arbustivas propicias para el refugio y/o alimentación, hormigueros de más de 2 m² de superficie,...

Una vez obtenidos los datos se ha procedido a realizar un análisis para su integración en busca de conseguir una caracterización estructural detallada de cada uno de los dos rodales.

2.1. OBTENCIÓN DE DATOS ESTRUCTURALES REMOTOS

2.1.1 Material

2.1.1.1 Plataforma y sensor para la captura de fotografías aéreas

Para la realización de las fotografías aéreas se ha utilizado un dron de pequeño tamaño de la marca DJI modelo Phantom 4 Profesional. El dron está equipado con una cámara fotográfica Sony de 18 Mp, un estabilizador de cámara de 3 ejes, un sistema iOSD mini, un transmisor para el control de telemetría del dron en tiempo real y un módulo *Wireless DataLink* para la programación de vuelos automáticos a través de puntos pre establecidos. La estación de control de tierra está formada por una emisora RC y una tableta iPad con el software *Ground Station Professional* que permite la programación de auto pilotajes del dron. En la siguiente tabla se describen las características principales del sistema RPAS (*Remote Pilot Aircraft System*).

Tabla 1. Características del sistema RPAS (RPA, sensores, estación de control y estabilizador).

RPA utilizado	Phantom 4 Professional (DJI)	Sensor	Sony EXMOR 1/2.3"
Peso	1280 g	Resolución del sensor	Píxeles efectivos: 18 M
Dimensiones	29x29x18 cm	Lente del sensor	FOV 94° 20 mm (35 mm formato equivalente) f/2.8, enfoque a ∞
Vel. máxima	16 m/s	Formato de captura	*jpg
Estación de control	Emisora de 7 canales 2.400 GHz-2.483 GHz	Estabilizador del sensor	3 ejes (mov. horizontal, mov. vertical y rotación)

(a)



(b)



Figura 7. RPAS utilizado en la operación de vuelo en los rodales de estudio y componentes. (a) Modelo de RPA y (b) estación de control formada por una emisora RC y iPad. Fuente: www.dji.com.

2.1.1.2 Sensor T-LiDAR para la captura de datos topográficos

Para la realización del levantamiento LiDAR de las parcelas se ha utilizado la estación terrestre estática de escaneo láser Leica BLK 360. Las ventajas de esta estación láser son su reducido tamaño y alto rendimiento de escaneo (3 minutos por cada escaneo estático) lo que facilita su utilización en áreas remotas o de difícil acceso. Por el contrario, requiere de condiciones meteorológicas muy propicias si se trabaja en espacios forestales (por no disponer por ejemplo de elementos protectores del sensor). A continuación (ver tabla 2 y figura 8) se describen las características principales de este equipo.

Tabla 2. Características técnicas de la estación Leica BLK 360 (Fuente: www.leica.com).

Modelo	Leica BLK 360	Sistema de medición distancias	Medición del tiempo de vuelo a velocidad rápida mejorada con la tecnología Waveform Digitising (WFD)
Peso	1 kg	Clase de láser	1 (de acuerdo con IEC 60825-1:2014)
Dimensiones	165 mm altura 100 mm diámetro	Longitud de onda	830 nm
Alimentación	Batería de litio Leica GEB212	Campo visual	360° (horizontal) / 300° (vertical)
Cámara	Sistema de 3 cámaras de 15 megapíxeles, captura a cúpula completa de 150Mpx, HDR, imagen esférica calibrada con flash LED, 360° x 300°	Alcance	mín. 0,6 - hasta 60 m
		Tasa de medición de puntos	hasta 360.000 puntos/segundo
Velocidad de medición	< 3 min para un escaneo a cúpula completa, imagen esférica e imagen térmica	Precisión de puntos 3D	6mm @ 10m / 8mm @ 20m

(a)



(b)



Figura 8. (a) Estación de escaneo láser Leica BLK 360 (Fuente: www.leica.com) y (b) Funcionamiento de la estación sobre trípode durante el trabajo de campo.

El sensor T-LiDAR BLK 360 se caracteriza por ser una estación de tipo estática lo que significa que durante el escaneo la estación se encuentra fijada en un punto concreto (montada sobre un trípode que asegura que el

sensor no se mueve). Esto conlleva que el barrido del láser obtenga información de la escena que queda a la visual del sensor, de forma que todos aquellos elementos ocultos a la visual no son recogidos durante el escaneo. Concretamente la estación realiza un barrido láser sobre los 360° horizontales y 300° verticales adquiriendo unos 360.000 puntos/segundo. Una de sus particularidades es que en paralelo captura una fotografía esférica de toda la escena con objetivo, entre otros, de asignar un color (en RGB) a cada uno de los puntos captados por el barrido láser lo que permite obtener una nube de puntos 3D (*PointCloud*) coloreada.

2.1.2 Levantamiento fotogramétrico aéreo

2.1.2.1 Aspectos previos en la planificación del vuelo

El objetivo concreto del vuelo es hacer un conjunto de fotografías estereoscópicas para que puedan ser integradas en un proyecto fotogramétrico y obtener así productos topográficos y cartográficos de detalle. El vuelo y la adquisición de las fotografías se han tomado en cada rodal de estudio definido en el apartado 1.2 (ver figura 9). Es importante destacar que, de acuerdo con la normativa establecida en la Red Natura 2000 y también de circulación aérea en general, ha sido necesario realizar una planificación minuciosa del vuelo para garantizar que la operación sea plenamente compatible con los objetos de conservación del espacio protegido (áreas de nidificación, uso público, etc).

La planificación de un proyecto de vuelo fotogramétrico no es una tarea sencilla, debido al elevado número de factores que se deben tener en cuenta (recubrimientos, escalas de los fotogramas, altura de vuelo, influencia de las cotas del terreno, etc.) y la importancia del empleo de sistemas de control que automatizan el propio vuelo fotogramétrico, siendo la planificación previa un aspecto fundamental. Por ello, para realizar el vuelo sobre cada una de las zonas de estudio, se ha hecho una primera fase de planificación de la operativa con el dron en gabinete (Plan de vuelo). Esta fase incorpora diferentes aspectos de cálculo de la trayectoria, alturas de vuelo y también medidas de seguridad en relación con el ámbito y localización de la zona (presencia de infraestructuras, arbolado, riscos, áreas de nidificación de aves, etc.). La planificación del proyecto de vuelo fotogramétrico se ha realizado mediante el software *Ground Station Professional* de la marca DJI.

2.1.2.2 Definición del producto a obtener (ámbito geográfico y resolución espacial)

El ámbito geográfico objeto de levantamiento fotogramétrico para cada rodal se define en la figura 9 en que se representa el ámbito del rodal, el punto de despegue del dron (que coincide con la localización de la estación de tierra y el comando del RPA), así como los puntos de aterrizaje en caso de emergencia establecidos en el Plan de vuelo.



Figura 9. Ámbito geográfico de cada rodal a caracterizar con indicación de la estación de tierra (= a punto de despegue y aterrizaje del dron) y los puntos de aterrizaje de emergencia previamente establecidos en el Plan de vuelo. (a) Rodal óptimo de Mafeb. y (b) rodal subóptimo de Lert..

Para poder obtener datos topográficos y un ortomosaico de detalle de cada rodal se deben captar fotografías con una resolución espacial de entre 3 a 4 cm. Por ello, es importante tener en cuenta a qué altura debe volar el dron

para que la resolución geométrica del sensor (tamaño del píxel de cada una de las fotografías) se adapte a la resolución espacial deseada. Para valorar este aspecto se ha tenido en cuenta la relación de semejanza que hay entre el sensor fotográfico/lente y la altura del vuelo/resolución espacial deseada (Figura 10).

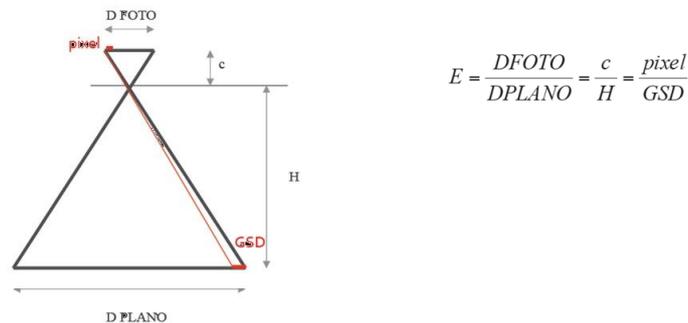


Figura 10. Relación de semejanza que hay entre el sensor fotográfico/lente y la altura del vuelo/resolución espacial deseada.

2.1.2.3 Cálculo de la trayectoria de vuelo

Los rodales que se pretenden levantar mediante fotogrametría tiene una diferenciación de altura significativa (tanto por la orografía del terreno como por la presencia de arbolado de alturas variables) por lo que es necesario plantear un cálculo de escala media de vuelo mediante un plano de referencia (semejante a una media de las alturas del terreno). Se planifica por tanto, un vuelo a altura variable (respecto la estación de tierra o zona de despegue) para conseguir que todas las fotografías tengan una resolución espacial semejante (entre 3 a 4 cm de resolución). De acuerdo con la expresión matemática antes referenciada y la resolución deseada se obtiene que la altura de vuelo óptima respecto la superficie objeto de levantamiento es de 80-85 metros. A partir de estos datos se calcula la trayectoria de vuelo (en forma de pasadas paralelas) y el número de fotografías a obtener considerando un solapamiento vertical y horizontal de las fotografías de un 95% y 75% respectivamente. Este cálculo se ha realizado mediante el software *Ground Station Profesional* que permite establecer trayectorias de vuelo a partir de la entrada de las distintas variables de vuelo y características del sensor.

Una vez definidas el número de pasadas es necesario calcular la altura a la que debe volar el dron en cada una de las pasadas para conseguir mantener siempre una altura de 80-85 metros respecto al suelo. Para ello, se ha utilizado el Modelo Digital del Terreno (MDT) de 5 metros de resolución del *Instituto Geográfico Nacional* para calcular la altura del terreno a lo largo de toda la trayectoria definida. A partir de esta altura se define una altura de vuelo que variará en cada punto en función de la diferencia de cota entre la estación de tierra (o zona de despegue), la ubicación del dron y la altura del suelo. En la figura 11 se representa la planificación del vuelo en gabinete para cada rodal.

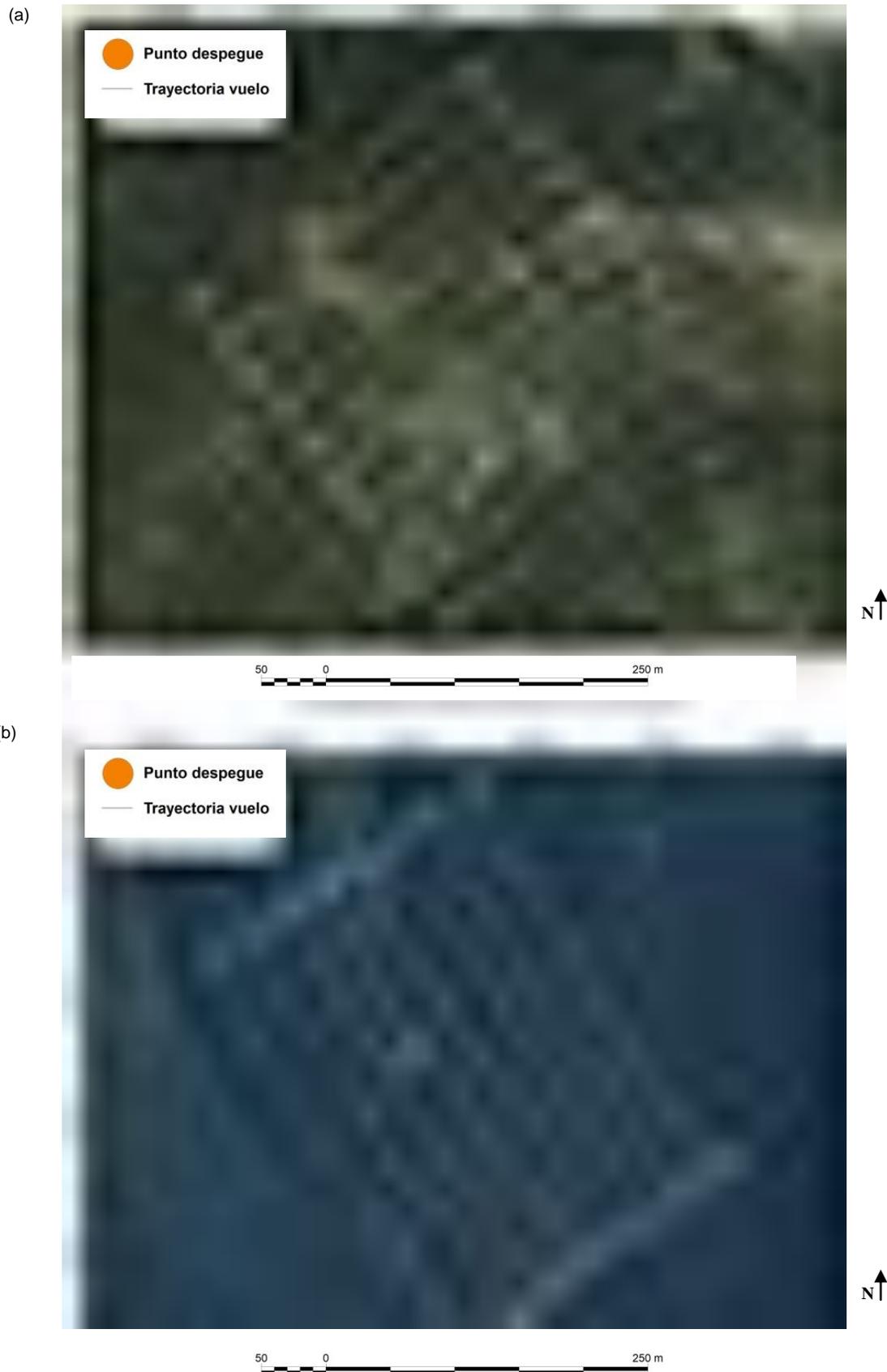


Figura 11. Esquema de la planificación de la operación con el dron realizada en gabinete. Se indican las distintas pasadas (trayectoria de vuelo), alturas en metros a la que ha de ir el dron durante el vuelo para cada vértice de cada pasada (altura respecto al punto de despegue) y también el punto de despegue. (a) Rodal óptimo de Mafeb. y (b) rodal subóptimo de Lert..

2.1.2.4 Realización de vuelo fotogramétrico

Una vez confeccionado el Plan de vuelo para cada rodal se ha procedido a ir al campo a realizar las operaciones con el dron. En cada rodal se ha realizado un primer vuelo de seguridad (vuelo 1) controlando el dron de forma manual desde la estación de tierra. Durante este primer vuelo se ha realizado una trayectoria siguiendo las líneas más exteriores de las pasadas predefinidas en el Plan de vuelo con objetivo de asegurar una buena conexión entre el dron y la estación de tierra. Una vez realizado el vuelo de seguridad se ha procedido a realizar el vuelo automatizado (vuelo 2) de acuerdo con las trayectorias y alturas predefinidas en la planificación realizada en gabinete. En la tabla 3 y figura 13 se describen las características del vuelo realizado y las condiciones meteorológicas en el momento de la operación.

Tabla 3. Datos principales de la operación con el dron .

Condiciones meteorológicas durante el vuelo	
Viento	0-5 m/s
Nubosidad	Ausencia (día soleado)
Precipitación	Ausencia
Temperatura	15-20°
Características del vuelo	
Fecha y hora de vuelo	05/10/2019 (10:00 en Lert. y 13:30 en Mafeb.)
Altura de vuelo	Variable (ver figura 11)
Fotografías adquiridas	467 (Mafeb.) y 498 (Lert.)
Tiempo de vuelo 1	25 minutos
Tiempo de vuelo 2	22 minutos
Incidencias	Ninguna incidencia destacable

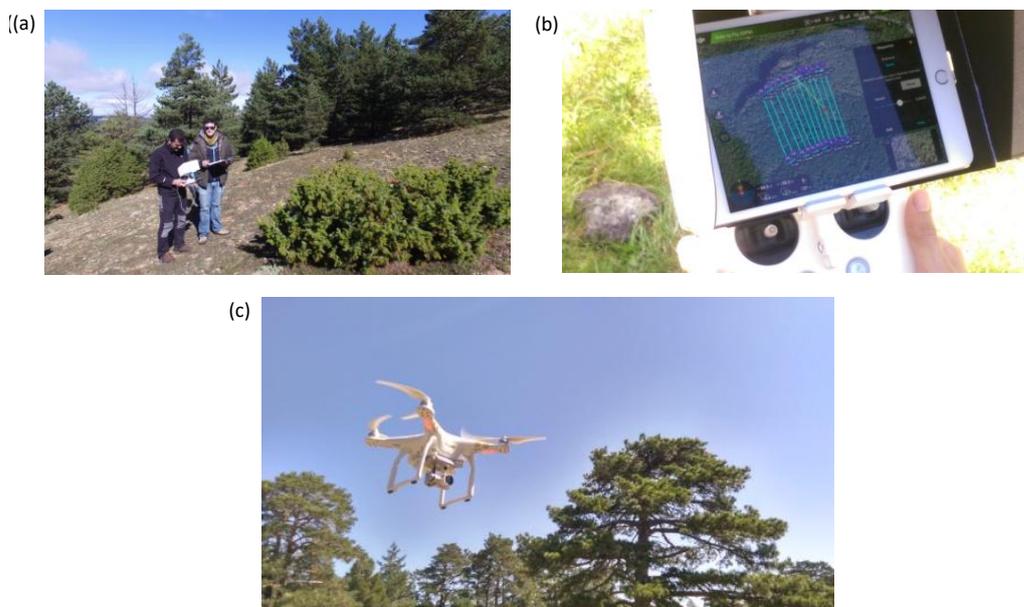


Figura 12. (a) Control del dron desde la estación de tierra, (b) Muestra de la aplicación de programación de vuelos con indicación de la trayectoria del dron establecida y (c) dron en fase de despegue.

El vuelo se realizó el día 5 de octubre de 2019 entre las 18:00 y la 18:30 (hora local). Durante el vuelo 1 no se ha realizado captura de fotografías dado que era un vuelo previo de seguridad. Durante el vuelo 2 se han capturado 467 fotografías en Mafeb. y 498 en Lert.. A continuación se muestra el ejemplo de dos de las fotografías captadas con el dron en cada rodal.

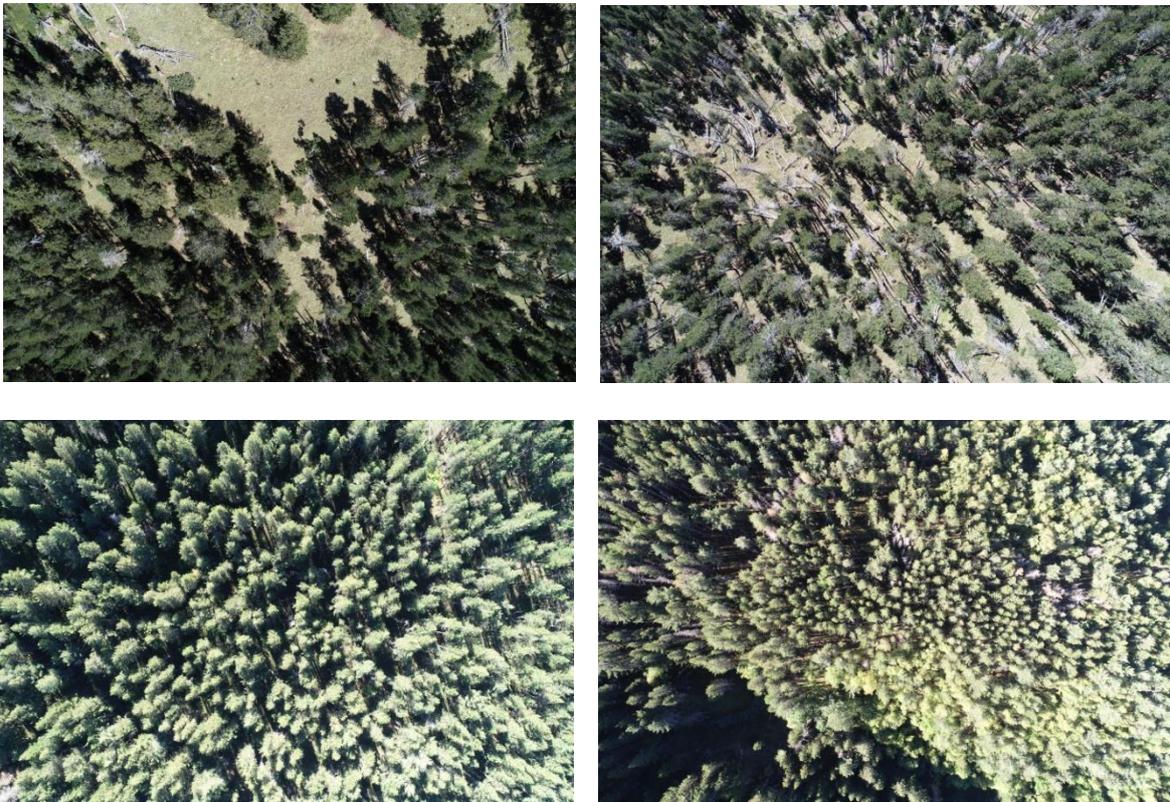


Figura 13. Ejemplo de dos fotografías aéreas verticales para la restitución fotogramétrica captadas durante el vuelo. (Superior: Mafeb. e inferior: Lert.).

2.1.2.5 Proceso de restitución fotogramétrica

La fotogrametría digital automatizada o también denominado escaneo fotogramétrico *Structure from Motion-Multi View Stereo* (SfM-MVS) es una técnica que permite la extracción de información 3D a partir de la restitución estereoscópica de fotografías adquiridas en estructura de movimiento. Esta técnica permite la obtención de modelos tridimensionales de alta precisión, con los que se pueden generar modelos topográficos de detalle y ortomosaicos. El proceso de restitución se compone de tres fases principales: (a) importación y alineación de las fotografías, (b) georreferenciación y (c) obtención final de los productos.

a) Importación y alineación de fotografías

Una vez disponibles de las fotografías captadas con el dron, el siguiente paso consiste en realizar su importación y primer post procesado de orientación y alineación de las fotografías. Para realizar este proceso es necesario que las fotografías se caractericen por disponer de solapamiento al menos en dos fotografías consecutivas, tanto vertical como horizontalmente. El software fotogramétrico realiza la alineación de forma automatizada a partir de las diferencias de textura de las fotografías generando una primera nube de puntos dispersa.

En la fase de alineación existen 2 opciones, en función de que se tengan o no las coordenadas de las fotografías aéreas. En el caso del presente trabajo, las fotografías aéreas presentan cierta información espacial (como por ejemplo la focal de la cámara y la resolución) pero no de coordenadas geográficas precisas. Por ello, se generó una alineación sin coordenadas, obteniendo un primer modelo de nube de puntos en un sistema de coordenadas adimensional (ver figura siguiente).

Fotografías verticales en estructura de movimiento (rodal)

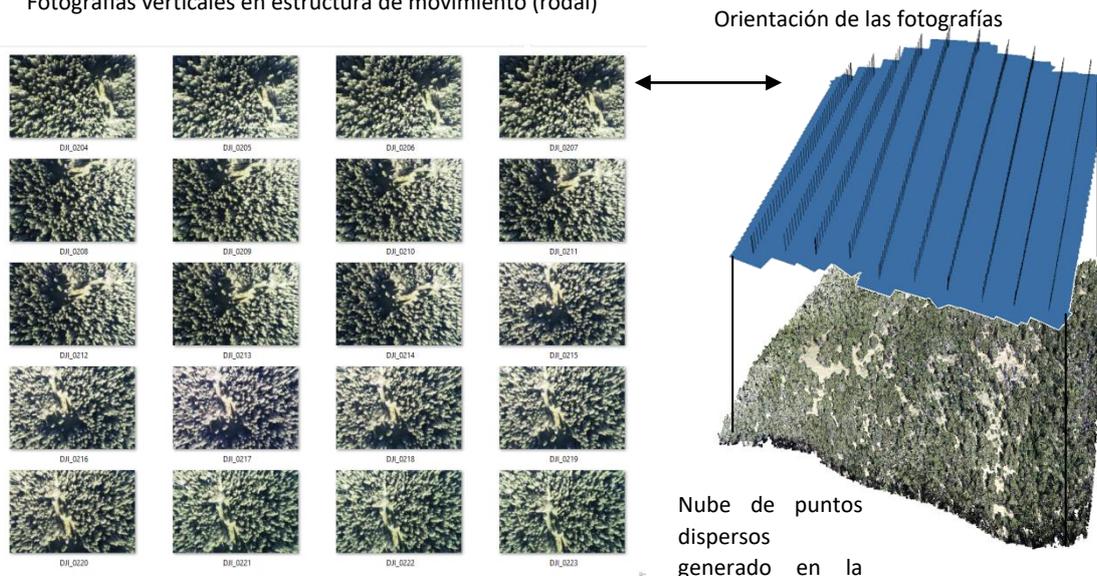


Figura 14. Esquema de la orientación de las fotografías obtenido en el proceso de restitución fotogramétrica del rodal de Mafeb.

b) Corrección geométrica y georreferenciación

La corrección geométrica o georreferenciación es una transformación que implica cambiar de posición los píxeles del modelo original, para dotarlas de coordenadas reales. Esta transformación se realiza mediante un conjunto de puntos de control (*Ground Control Points*- GCPs) entre la imagen a georreferenciar y una imagen de referencia corregida o mediante una red de control sobre el terreno. Una vez que la imagen está transformada geoméricamente se puede superponer con otras imágenes corregidas o con otros documentos cartográficos auxiliares. En los siguientes apartados se explican los detalles del proceso de georreferenciación.

Ya alineadas las fotografías, el siguiente paso consiste en establecer una red de puntos de control (GCPs) para la georreferenciación. La selección de los GCPs se realiza a partir de elementos considerados como estables, es decir, puntos que puedan ser identificados sobre las fotografías y que potencialmente no hayan variado de posición y altura a lo largo del tiempo. Como imagen de referencia, para conocer el posicionamiento exacto del punto (en X, Y) se ha utilizado la ortofotografía de 2010 de 25 cm de resolución del Instituto Geográfico Nacional (IGN) proyectada al sistema ETRS89. Para obtener la cota del terreno (Z) de cada punto de control se ha utilizado una nube de puntos tridimensional procedente de un sensor LiDAR aerotransportado obtenido por la misma organización (IGN) con una resolución de 1,2 puntos/ m². Para la localización de los GCPs han tenido en cuenta aspectos como el número y su distribución en el rodal. El establecimiento del GCPs se hace mediante la herramienta de digitalización que permite ir marcando los puntos de control sobre las fotografías originales.

La georreferenciación se realiza mediante un modelo lineal obtenido a partir de 7 parámetros de transformación: 3 parámetros de translación, 3 de rotación y 1 de escala. Este proceso modifica las coordenadas de cada píxel y asigna nuevas coordenadas de acuerdo con un sistema de referencia espacial previamente determinado. Para evaluar la fiabilidad estadística del proceso de corrección, se comprueba el resultado del error RMS (*Root Mean Square*) o desviación estándar de los errores en X para cada punto de control y para el conjunto de puntos de control (GCPs) utilizados para la corrección. Dicho cálculo permite evaluar la fiabilidad estadística del proceso de corrección. El RMS se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$RMS_x = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\delta_{xi})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Para las coordenadas Y y Z se emplea la misma fórmula, mientras que para el error total se emplea la fórmula:

$$\varepsilon = \frac{RMS_x^2 + RMS_y^2}{n}$$

Cuando el valor del RMS es alto (de cada punto y / o para el conjunto de puntos), indica un mal ajuste en la transformación del modelo y, por tanto, un nivel de error más grande. Una vez realizada la corrección se analizan los errores asociados a cada uno de los GCPs en relación a su posición espacial dentro del modelo georreferenciado. Antes de aceptar la georreferenciación se eliminaron aquellos GCPs que presentan errores que se consideraron superiores al umbral de aceptación en función a la resolución de la información (que en el presente estudio fue de 1 m para el levantamiento aéreo de Mafeb. y de 2 metros para Lert.).

c) Obtención de productos

La última fase del proceso SfM-MVS es la obtención de los productos resultantes, concretamente: i) El ortomosaico y ii) la información topográfica en forma de nube de puntos 3D (*Point Cloud*). La información topográfica se genera de forma semejante al proceso de alineación, identificando espacialmente elementos comunes en las distintas fotografías mediante algoritmos que geolocalizan una nube de puntos densos en 3D. Esta nube de puntos se ha exportado a un SIG para regularizar los datos topográficos y obtener un Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Para obtener el ortomosaico, se creó una malla regular a partir de la nube de puntos 3D la cual permite, entre otros aspectos, la ortorectificación de las fotografías. Una vez creada la malla se generan las texturas a partir de las fotografías originales que darán como resultado el ortomosaico final.

2.1.2.6 Cálculo de variables forestales

Una vez confeccionado el material cartográfico de base, hay que extraer la información que contiene y que interesa para el cálculo de variables forestales en la zona de estudio. Así, en primer lugar, hay que definir una serie de variables de estudio. Éstas deben ser identificables e interpretables sobre la cartografía de base para posteriormente ser representadas con una cartografía mediante una metodología específica. A continuación, se describen las variables de estudio o de interpretación elegidas para los rodales de estudio.

a) Alturas de la vegetación

Corresponde a la altura (en metros) que adquiere el dosel de la vegetación. Se representa mediante un modelo de alturas de vegetación para todo el rodal (o Modelo Digital de Copas-MDC en adelante) en formato ráster en que cada píxel indica la altura de la vegetación respecto al nivel del suelo. Para analizar cuantitativamente los datos, se establecen diez categorías de clasificación en función del intervalo de altura tal y como se expresa en la tabla siguiente.

Tabla 4. Categorías de clasificación del Modelo Digital de Copas

Categoría	Intervalo altura
1	0 m-0,2 m
2	0,2 m-0,5 m
3	0,5m-1,5 m
4	1,5m-4m
5	4m-6m
6	6m-8m
7	8m-12m
8	12m-15m

9	15m-20m
10	sup20m

Proceso de interpretación de la variable: Las alturas del dosel de la vegetación se han calculado utilizando el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) obtenido a raíz del procesado fotogramétrico (que representa las elevaciones de la superficie del rodal incluyendo terreno y vegetación) y el Modelo Digital del Terreno (MDT) procedente del Centro de descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de 5 metros de resolución. Previamente con objeto de adaptar el MDT (con una resolución espacial de 5 metros) a la resolución del MDE (con una resolución espacial 10 cm) se ha procesado la capa para reducir el tamaño de píxel a través de una ecuación bilineal. Este proceso es posible en áreas de terreno con una morfología más o menos uniforme y permite simular un modelo de tendencia continua de altura del terreno en función de la diferencia de altura entre los píxeles vecinos. Una vez adaptado el MDT, el cálculo de altura se realiza por la diferencia entre estos dos modelos (MDE y MDT) a través de la calculadora geográfica del SIG obteniendo un Modelo Digital de Copas (MDC). Para obtener las categorías de clasificación descritas en la tabla 4 se ha utilizado una calculadora raster modificando el MDC obtenido en el proceso anterior.

b) Fracción de cabida cubierta (FCC)

Corresponde a la proyección vertical del dosel de la vegetación en que se incorpora también la caracterización de los claros de bosque, bien sean por aperturas del dosel o bien debido a la existencia de zonas abiertas existentes a lo largo del rodal. La FCC se expresa en %.

Proceso de interpretación de la variable: La estimación de la FCC se realiza utilizando el Modelo Digital de Copas (MDC) examinando toda la superficie ocupada por alturas superiores a 1,5 m respecto al suelo.

c) Identificación de ápices individuales

Corresponde a la ubicación de cada ápice de los árboles o arbustos (de cierto tamaño) que conforman el dosel de copas dentro del rodal. Esta variable se representa en una cartografía de puntos.

Proceso de interpretación de la variable: la estimación de la ubicación de cada ápice se ha realizado aplicando el algoritmo *Canopy Peaks* de *3D Sample*. Se trata de un algoritmo similar al de acumulación de flujo que identifica de forma automatizada sobre el Modelo Digital de Copas (MDC) todos los picos o cimas que corresponderían en este caso a los ápices de los árboles o arbustos de porte importante. Esta identificación se transforma en la generación de una nube de puntos en que cada ápice se recoge la localización UTM y la altura del ápice (en metros respecto al suelo).

d) Presencia de madera muerta

Corresponde a la ubicación individualizada de los árboles muertos en pie que se identifican en el dosel de copas, así como los muertos en el suelo que pueden ser identificados en las zonas de claros. Esta variable se representa en una cartografía de puntos (árboles muertos en pie) o de líneas (árboles muertos en el suelo).

Proceso de interpretación de la variable: para identificar los árboles muertos en pie se ha utilizado el ortomosaico y la cartografía de identificación de ápices. Se han seleccionado con un SIG los ápices que corresponden a árboles muertos visibles en el ortomosaico. Para identificar los árboles muertos en el suelo se ha procedido a digitalizar manualmente todos los pies que se observan en el ortomosaico. La cartografía recoge la localización UTM de cada árbol muerto, la altura (de los muertos en pie) o la longitud (de los muertos en el suelo).

2.1.3. Caracterización estructural de las parcelas mediante LiDAR terrestre (T-LiDAR)

En cada una de las parcelas muestreadas en campo se ha obtenido un escaneo T-LiDAR utilizando la estación Leica BLK360. Se ha realizado un escaneo en el centro de parcela obteniendo una nube de puntos 3D (*Point Cloud*) en formato .las.

Las nubes de puntos 3D obtenidas se han exportado a un SIG y se han post procesado para obtener un modelo digital cartográfico que avalúan el nivel de penetrabilidad del laser a través de bosque. A partir de dichos datos se ha desarrollado una metodología que cuantifica el nivel de transitabilidad y capacidad de ocultación (o refugio) que ofrece la estructura forestal para cada parcela en función de dicha penetrabilidad. Los resultados deben interpretarse como un análisis de visibilidad puntual que sería análogo a la percepción que podría tener un ejemplar de urogallo que en un momento determinado estuviera fijado en el centro de la parcela. Los resultados se expresan mediante dos variables:

1. **Transitabilidad:** correspondería al entorno visible des del centro de la parcela y dentro de este la facilidad de movimiento del ejemplar desde dicho centro hacia otros entornos visibles (se establecen tres categorías de coste: baja, media y alta).
2. **Ocultación/Refugio:** correspondería al entrono no visible des del centro de la parcela y que por tanto, sería indicador del grado de ocultación que ofrece la estructura forestal existente desde dicho centro de parcela.

Para la obtención de los mapas de transitabilidad y ocultación de cada parcela se ha utilizado un modulo SIG de análisis de costes mínimos de desplazamiento que utiliza el algoritmo de Dijkstra (Dijkstra,1959). Esta algoritmo determina el camino más corto (o facilidad al paso), des de un vértice origen (centro de la parcela), hacia el resto de entorno de análisis (superficie total de la parcela=5.100 m²). Esta facilidad al paso está condicionada a un modelo de fricciones que indica la dificultad o resistencia al tránsito.

Para el cálculo del modelo de fricciones a implementar en el análisis de costes mínimos se ha optado por transformar la nube de puntos (*Point Cloud*) de cada estacionamiento en un raster que describe el número de puntos del *Point Cloud* para celadas de 20 cm, es decir, un raster que avalúa la densidad de puntos en 2D de todos los impactos detectados en 3D recogidos por el láser. Antes de realizar dicho raster, se han realizado dos operaciones de reducción de la nube de puntos inicial. Por un lado, para normalizar la densidad espacial de los datos brutos se ha homogeneizado el *Point Cloud* mediante el uso de voxeles (píxel volumétrico) con una longitud de borde de 10 cm, obteniendo una nueva nube de puntos que es menos propensa a errores de medición como por ejemplo, la divergencia del haz láser (Cifuentes et al., 2014, Van der Zande et al., 2006). Por otro lado, para limitar el alcance del análisis a las proximidades del sitio de medición se ha reducido la nube de puntos a impactos dentro de los 40 metros de distancia horizontal del escáner. Esto también debería reducir los efectos del sombreado que aumentan con la distancia (Katharina et al., 2019).

Posteriormente para regularizar dicho raster espacialmente se ha multiplicado por un mapa de distancias des del centro de la parcela obteniendo el modelo de fricciones definitivo que es el utilizado para el cálculo análisis de costes mínimos de desplazamiento. El raster resultante de costes mínimos corresponde a un raster con datos de tipo continuo. Para categorizar los datos se ha reclasificado en cuatro categorías de acuerdo con lo descrito en la tabla 5. Los intervalos de corte de las categorías se han establecido a partir de puntos de interrupción natural (*Natural Breaks*) calculados para el conjunto de los datos de las 30 parcelas analizadas.

Tabla 5. Categorías de clasificación del modelo de costes mínimos de desplazamiento

Categoría	Descripción	Observaciones
1	Ocultación	Corresponde a la zona sin puntos en el <i>Point Cloud</i> indicativo de no penetrabilidad del laser y por tanto, de zonas no visibles desde el centro de la parcela. Se trata de zonas que ofrecen ocultación desde el centro de la parcela.
2	Coste bajo a la transitabilidad	Corresponde a las zonas próximas al centro de la parcela que están libres de obstáculos y que por tanto, ofrecen una transitabilidad efectiva o fácil capacidad de movimiento desde el centro de parcela.
3	Coste medio a la transitabilidad	Corresponde a las zonas de distancia intermedia al centro de la parcela y/o que presentan ciertos obstáculos y que por tanto, ofrecen una transitabilidad media.
4	Coste alto a la transitabilidad	Corresponde a las zonas más alejadas al centro de la parcela y/o que presentan obstáculos considerables que limitan el tránsito y que por tanto, serien indicativas de una transitabilidad baja.

En la siguiente figura se esquematiza el proceso analítico realizado para el cálculo de transitabilidad/ocultación.

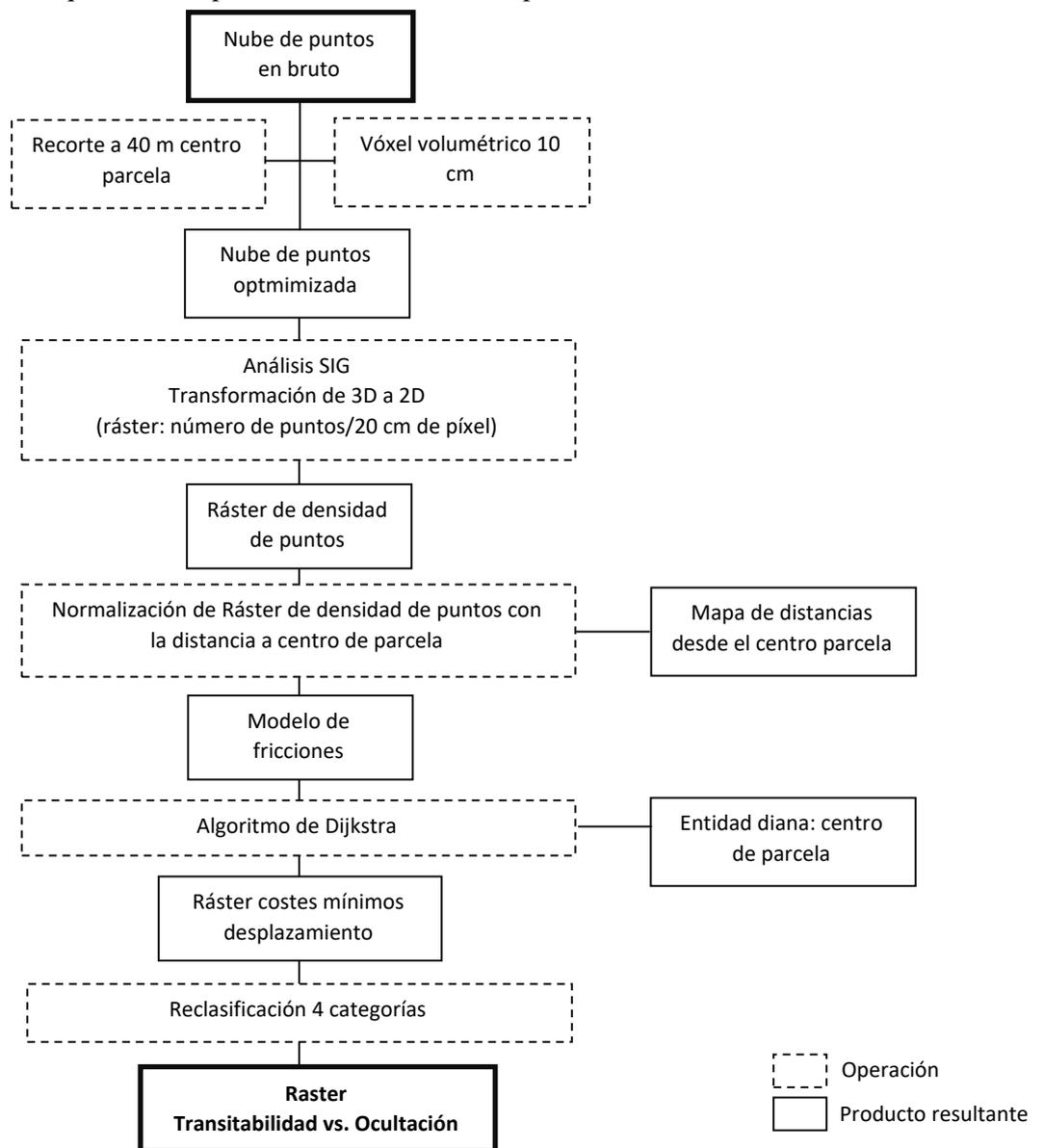


Figura 15. Esquema del proceso analítico para el cálculo de transitabilidad/ocultación a partir de datos T-LiDAR.

2.2 OBTENCIÓN DE DATOS ESTRUCTURALES EN CAMPO

El inventario de datos estructurales en campo se ha planteado con un doble objetivo: por una parte para obtener los valores existentes de cada una de las variables estudiadas para caracterizar el hábitat, y por otra para poder correlacionar y complementar los datos obtenidos mediante medios remotos (dron+ LiDAR terrestre).

De este modo se han caracterizado variables estructurales por hectárea, como la densidad, el regenerado consolidado, el área basimétrica y el volumen tanto de madera viva como muerta en pie y en suelo; variables de recubrimiento o superficiales, como la cobertura de arandaneras, de frambueso (o chordonera, como se le conoce en esta parte del Pirineo) o de otras especies de interés; elementos puntales clave como la existencia de hormigueros, árboles posadero o refugios; y otros elementos excepcionales del rodal, como los pies muy gruesos tanto de madera viva como muerta en pie y suelo.

Para ello se han tomado datos en 15 puntos de cada rodal (15 en Mafeb. y 15 en Lert.), coincidentes con los puntos de inventario de la estación de escaneo láser (LiDAR terrestre). La elección de estos puntos de inventario se ha efectuado en gabinete de manera semi-dirigida, tratando de recoger toda la variabilidad interna del rodal de estudio. Posteriormente, en campo, se ha establecido la localización final de las parcelas, corrigiendo ligeramente algunos puntos. Las coordenadas obtenidas con GPS en campo son las siguientes:

Tabla 6. Coordenadas de las parcelas de inventario obtenidas en campo mediante GPS. ETRS89 31T.

Zona	Parcela	X	Y
Mafeb.	1	2x6.431	4.7x5.269
	2	2x6.492	4.7x5.263
	3	2x6.538	4.7x5.353
	4	2x6.591	4.7x5.255
	5	2x6.551	4.7x5.186
	6	2x6.473	4.7x5.203
	7	2x6.385	4.7x5.181
	8	2x6.441	4.7x5.128
	9	2x6.523	4.7x5.138
	10	2x6.467	4.7x5.070
	11	2x6.539	4.7x5.067
	12	2x6.518	4.7x5.001
	13	2x6.594	4.7x5.123
	14	2x6.620	4.7x5.169
	15	2x6.682	4.7x5.142
Lert.	1	2x6.370	4.7x6.262
	2	2x6.433	4.7x6.288
	3	2x6.575	4.7x6.372
	4	2x6.617	4.7x6.309
	5	2x6.415	4.7x6.172
	6	2x6.496	4.7x6.126
	7	2x6.582	4.7x6.191
	8	2x6.652	4.7x6.241
	9	2x6.543	4.7x6.065
	10	2x6.607	4.7x6.118
	11	2x6.703	4.7x6.157
	12	2x6.647	4.7x6.075
	13	2x6.725	4.7x6.082
	14	2x6.658	4.7x6.005
	15	2x6.576	4.7x5.961

En cada uno de los puntos se realizaron dos tipos de parcelas:

- Parcelas de radio variable. En estas parcelas se ha tomado la especie, el diámetro y la clase sociológica de todos los pies vivos, así como del regenerado consolidado (diámetro normal entre 2,5 y 7,5 cm). Las clases sociológicas consideradas fueron: dominante, codominante, intermedio o dominado (Burschell y Huss, 1979). También se ha medido el diámetro de árboles muertos en pie (con $D_n > 7,5$ cm) y de los muertos en suelo (con $D_n > 17,5$).

El radio de la parcela se determinó de manera que en todas se midieran al menos 20 pies vivos mayores ($D_n > 7,5$ cm), para obtener una muestra suficientemente sólida. Los radios de las parcelas oscilaron entre los 8 y los 20 metros en función de la densidad existente.

- Parcelas de radio fijo. Para el resto de variables obtenidas se utilizaron parcelas de 25m de radio, lo que supone una superficie de 1.963 m². En Estas parcelas se midieron: arandaneras, frambuesas, otras especies de fruto carnoso, hormigueros, árboles posadero, estructuras – refugio, pies muy gruesos (tanto de madera viva como de madera muerta), especies arbóreas acompañantes y otros elementos singulares de interés.

Con los datos en bruto del inventario de campo se han obtenido las siguientes variables:

Densidad (pies/ha)

Obtenido a partir de las parcelas de radio variable. Se ha calculado la densidad, expresada en pies/ha, de cada una de las parcelas, así como la densidad total de cada rodal, mediante la media ponderada por la superficie las parcelas. También se han calculado las distribuciones diamétricas por parcela y rodal, así como la proporción de madera viva, madera muerta en pie y madera muerta en suelo.

Este dato se ha obtenido para los pies mayores ($D_n > 7,5$ cm), pies menores ($D_n < 7,5$ cm), muertos en pie ($D_n > 7,5$ cm) y muertos en suelo ($D_n > 17,5$ cm). Los diámetros se han medido a 1,30 m, excepto en la madera muerta en suelo, donde se han tomado a mitad de la troza.

Área basimétrica (m²/ha)

A partir de los diámetros obtenidos en las parcelas de radio variable se ha calculado el área basimétrica tanto de árboles vivos, como muertos en pie y en suelo.

Volumen (m³/ha)

La obtención de los volúmenes se ha realizado del siguiente modo:

- Para los pies vivos y la madera muerta en pie, se han utilizado los valores de volumen unitarios por clase diamétrica para *Pinus uncinata* de calidad 2 en la provincia de Huesca que aparecen en el Inventario Forestal Nacional, multiplicándolos por el número de pies. Estos son:

Tabla 7. Volumen unitario por clase diamétrica para *Pinus uncinata* de calidad 2 en Huesca. Fuente: Tercer Inventario Forestal Nacional.

CD	Volumen (m ³)
10	0,029
15	0,076

CD	Volumen (m ³)
20	0,164
25	0,279
30	0,427
35	0,606
40	0,802
45	1,119
50	1,319
55	1,467
60	1,993
65	1,993
70 o más	2,745

- Para la madera muerta en suelo se ha utilizado la fórmula de Huber, obteniendo el volumen a partir del diámetro medio y la longitud de la troza.

$$Vol = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times l$$

Donde: l = longitud de la troza D = diámetro medio

Diámetro cuadrático medio. (cm)

El diámetro cuadrático medio representa el diámetro equivalente al árbol de área basal media. Esta variable se ha calculado a partir del área basimétrica para cada una de las parcelas y de los rodales.

Cobertura de especies arbustivas de interés (m² o %)

Las principales especies arbustivas de interés inventariadas y cartografiadas han sido *Vaccinium myrtillus* y *Rubus idaeus*. Para ello, se dividieron las parcelas circulares de 25m de radio en 4 sectores, recorriendo toda la extensión y anotando cada uno de los parches de estas especies, midiendo su superficie con un dispositivo láser y obteniendo su coordenada central mediante GPS.

Hormigueros (número de unidades)

Se han inventariado y georreferenciado mediante GPS todos los hormigueros mayores de 1m² en las parcelas de 25 metros de radio.



Figura 16. Hormiguero de *Formica rufa* en el rodal de Mafeb..

Árboles posadero (número de unidades)

En las parcelas de 25 metros de radio, se han inventariado y georreferenciado todos los árboles con estructuras propicias como posaderos.

Pies muy gruesos (número de unidades)

Se han inventariado en las parcelas de 25 m de radio los pies excepcionalmente gruesos de la especie dominante (*Pinus uncinata*). Los diámetros mínimos de inventario han sido:

Tabla 8. Diámetros mínimos inventariables de los pies muy gruesos.

	Diámetro mínimo (cm)	Clase diamétrica (cm)
Pies vivos	57,5	60
Madera muerta en pie	37,5	40
Madera muerta en suelo	37,5	40

Además para la madera muerta muy gruesa se ha medido también la altura o longitud, y el estado de descomposición. Este último parámetro se ha clasificado en 5 categorías de menor a mayor grado de descomposición (Méndez, 2012)

- Estado 1: Árboles muertos recientemente. El 60% del tronco conserva la corteza.
- Estado 2: Más del 60% del tronco ha perdido la corteza.
- Estado 3: La madera ha perdido parte de la consistencia estructural y es posible introducir un objeto punzante como una navaja, aunque no es posible introducir el dedo.
- Estado 4: La madera ha perdido prácticamente toda su consistencia estructural y es posible introducir el dedo con facilidad.
- Estado 5: La madera está prácticamente desintegrada y se puede deshacer con la mano.

Especies acompañantes

Se han inventariado y georreferenciado todos los pies del estrato arbóreo de especies acompañantes, anotando la especie, la clase sociológica y el diámetro.

TÍTULO III: RESULTADOS

3.1 RODAL ÓPTIMO DE MAFEB.

3.1.1 Resultados preliminares del levantamiento fotogramétrico

Como resultado del levantamiento fotogramétrico del rodal se ha obtenido un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), un ortomosaico de detalle y un modelo tridimensional del área de estudio (ver figuras 17 y 18).

Tabla 9. Resultado del proceso de restitución fotogramétrica obtenido en el rodal de Mafeb..

Número de fotografías utilizadas	467	Error (RMS) de georreferenciación	0,52 m
Número de puntos de control	16	Error (RMS) georreferenciación en z	0,31 m
Número de puntos del modelo fotogramétrico	225.415.254	Resolución espacial del ortomosaico	3 cm
Número de caras del modelo fotogramétrico	13.369.927	Resolución espacial del Modelo Elevaciones	10 cm

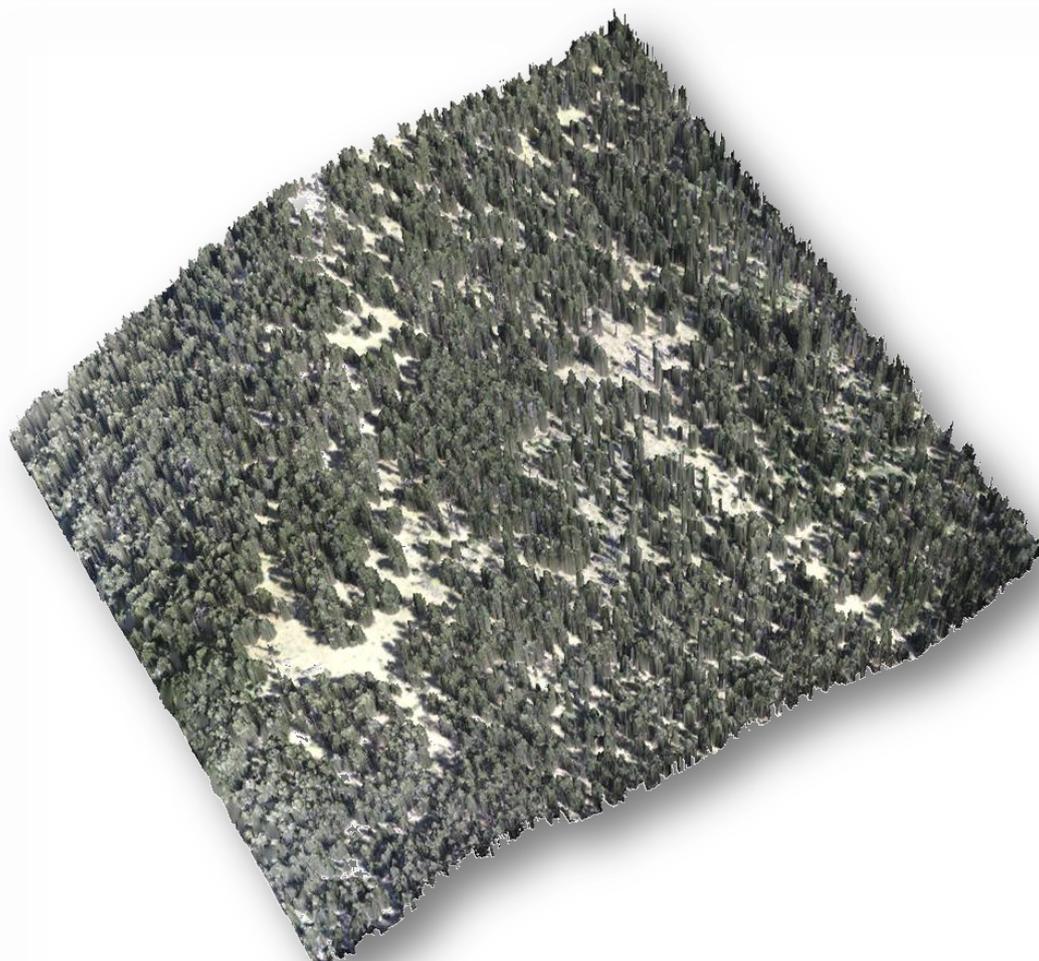
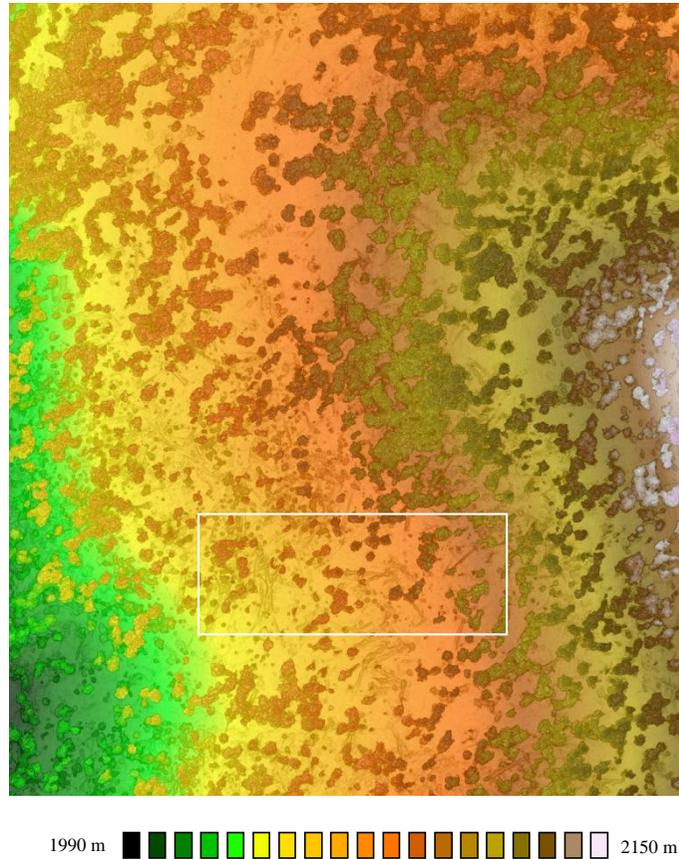


Figura 17. Visión 3D del modelo fotogramétrico del rodal de Mafeb..

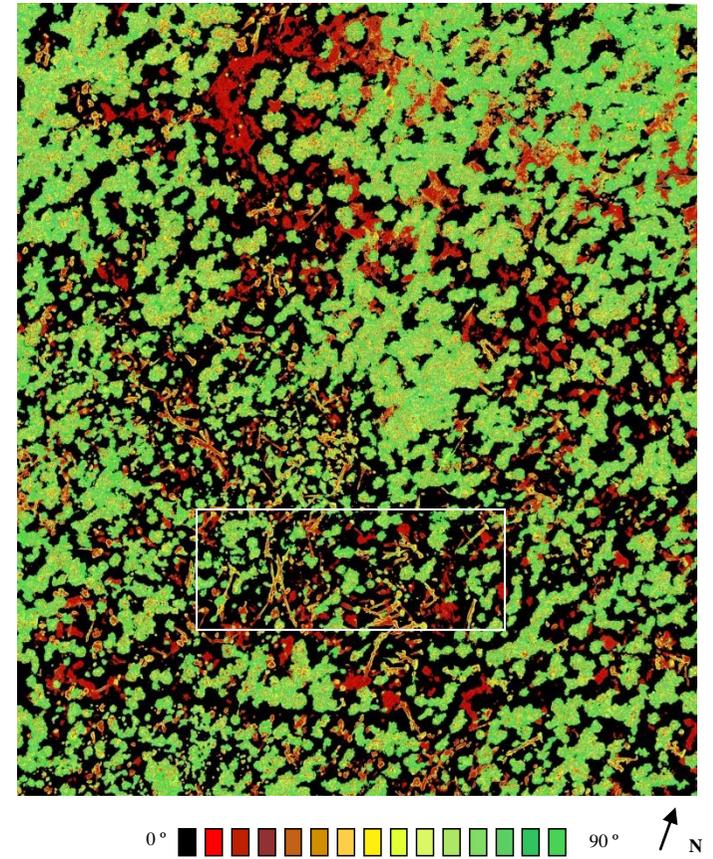
Ortomosaico



Modelo Digital Elevaciones



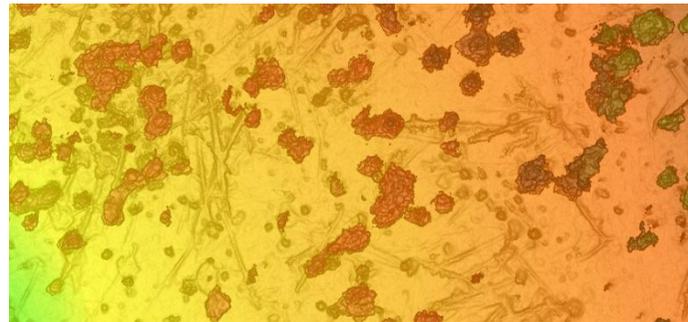
Mapa de rugosidad



Detalle ortomosaico



Detalle Modelo Digital Elevaciones



Detalle mapa de rugosidad

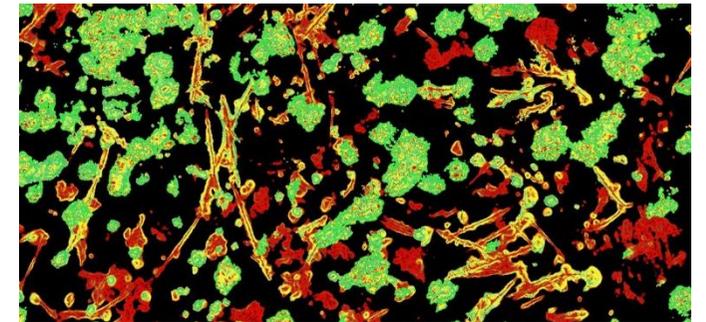


Figura 18. Productos cartográficos y topográficos de base obtenidos del levantamiento fotogramétrico en el rodal de Mafeb.. (a) Ortomosaico (b) Modelo Digital de Elevaciones y (c) Mapa de rugosidad expresado en grados. Se muestra en detalle uno de los sectores del rodal para cada mapa.

3.1.2 Caracterización dasométrica

3.1.2.1 Caracterización mediante datos remotos

a) Fracción de cabida cubierta arbolada y alturas del dosel de la vegetación

El análisis realizado con el Modelo Digital del Terreno (MDT) y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) ha dado como resultado una cartografía que permite evaluar las alturas del dosel de copas existentes en el rodal (MDC). En la tabla 10 y figuras 19 y 20 se muestra los resultados cuantitativos y gráficos obtenidos.

Tabla 10. Superficie (ha y %) ocupada por cada categoría de altura del dosel de copas en el rodal de Mafeb.

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		0,5m-1,5 m	0,30	3
4	Arbolado	1,5m-4m	0,28	3
5		4m-6m	0,22	2
6		6m-8m	0,30	3
7		8m-12m	1,00	11
8		12m-15m	0,97	11
9		15m-20m	0,79	9
10		sup20m	0,04	0
TOTAL			8,99	100

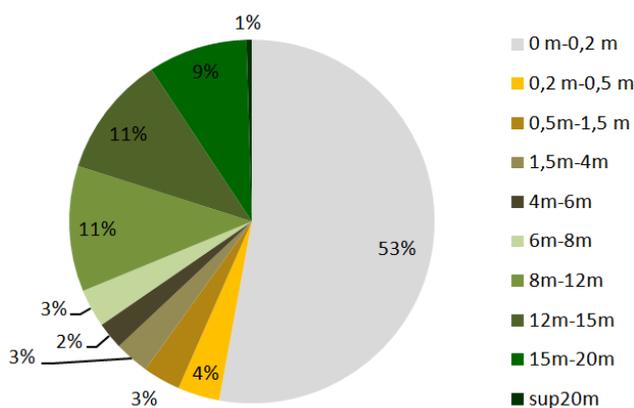


Figura 19. Fracción de cabida cubierta para cada categoría de altura en % para el rodal de Mafeb.

El rodal caracterizado en Mafeb. tiene una estructura abierta con una fracción de cabida cubierta arbolada media del 40%. Se observa una gran heterogeneidad de las distintas categorías de altura de la vegetación. En alrededor de un 7% de la superficie del rodal se detectan estructuras de vegetación arbustiva, también acumulaciones de madera muerta en el suelo, acompañada de numerosos golpes de arbolado en regeneración (categorías 2, 3 y 4). La mayor parte del arbolado existente (un 32 % de la superficie del rodal) se engloba en las categorías de altura 7, 8 y 9 de forma más o menos equitativa (entre los 8 m y los 20 m de altura). 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.

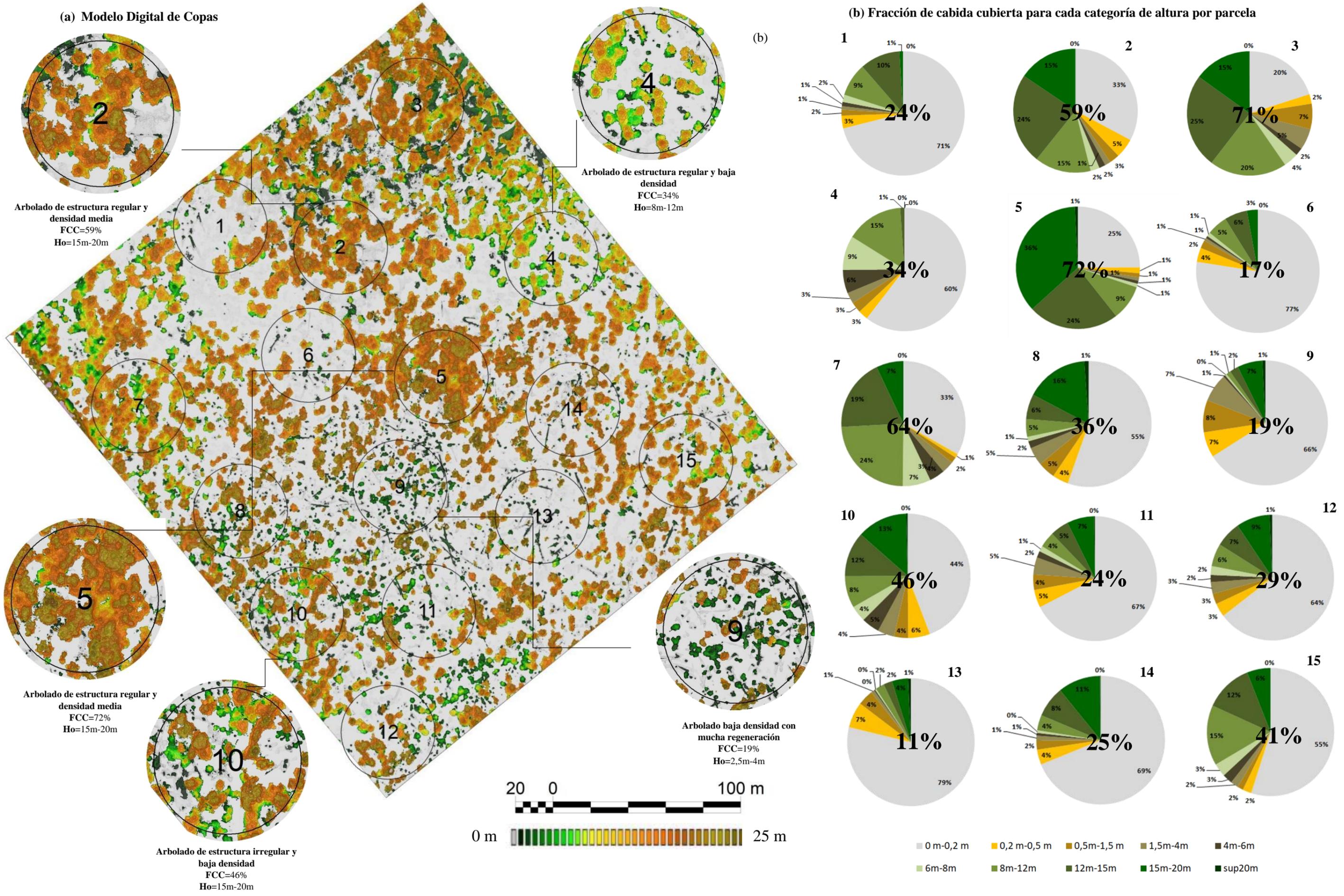


Figura 20. (a) Modelo Digital de Copas en el rodal de Mafeb. que representa la altura del dosel de copas. Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo, ejemplificando con un zoom 5 de ellas y (b) fracción de cabida cubierta de cada parcela (15) para cada categoría de altura del MDC (datos expresados en %). Se indica numéricamente la FCC total (numeración central que aparece en cada gráfico circular).

b) Densidad de ápices de copas

El análisis realizado a partir del Modelo Digital de Copas permite evaluar la localización individualizada de árboles del estrato dominante. En la tabla 11 y figuras 21 y 22 se muestran los resultados cuantitativos y gráficos obtenidos.

Tabla 11. Número de árboles, pies por hectárea y porcentaje de los árboles de dosel para cada categoría de altura en el rodal de Mafeb..

Categoría de altura	Numero arboles	Pies/ha	%
menos 2,5 m	96	11	3
2,5m-4m	180	20	5
4m-6m	137	15	4
6m-8m	219	24	6
8m-12m	516	57	14
12m-15m	828	92	22
15m-20m	1.514	168	41
sup20m	221	25	6
Total	3.711	413	100

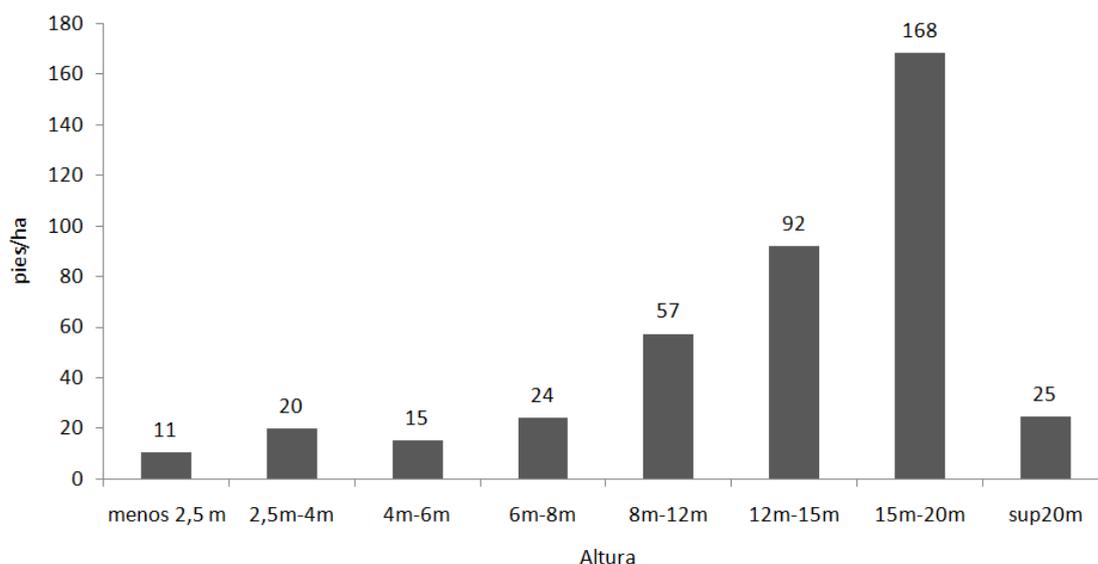


Figura 21. Pies por hectárea de los árboles de dosel para cada categoría de altura en el rodal de Mafeb..

Se estima que la densidad media de los árboles que se representan en el dosel de copas está alrededor de los 413 pies/ha de los cuales un 41% estarían formados por pies de gran porte (entre los 15 m y os 20 m de altura), un 22 % por árboles de 12 m a 15 m de altura y un 14% por árboles de 8 a 12 m de altura. Un 18% de los pies detectados corresponden a estratos jóvenes de arbolado (alturas de menos de 2,5 m a los 8 m de altura). En relación a la distribución espacial 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 el anejo 1 se realiza una valoración del ajuste de la densidad calculada a partir de los datos remotos con la densidad calculada a partir de los datos de campo.

(a) Cartografía de ápices

(b) Densidad de ápices por parcela

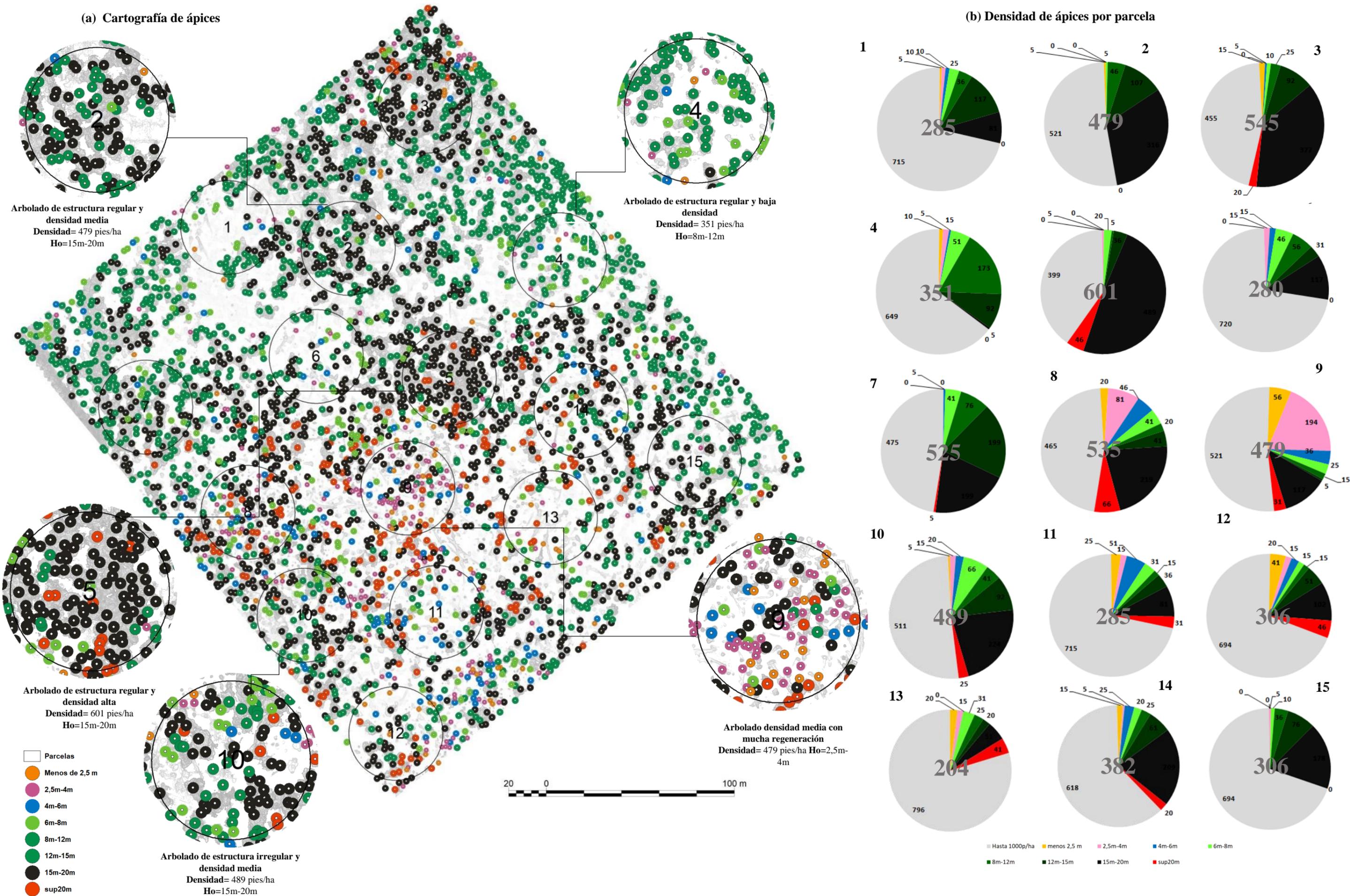


Figura 22. (a) Cartografía de localización de árboles del dosel superior de copas en el rodal de Mafeb. en función de la altura. Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo y (b) densidad de pies/ha para cada parcela (15) para cada categoría de altura de los árboles. El total del gráfico circular indica 1000 pies/ha, Para cada parcela se indica numéricamente la densidad total de pies/ha y la densidad para cada categoría de altura.

d) Madera muerta respecto madera viva en el dosel

El análisis realizado sobre el ortomosaico ha dado como resultado una cartografía que evalúa la presencia de árboles nuestros en pie y en el suelo. En la tabla 12 y figuras 23 y 24 se muestran los resultados cuantitativos y gráficos obtenidos.

Tabla 12. Número de árboles muertos totales, densidad y % en función de la tipología

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

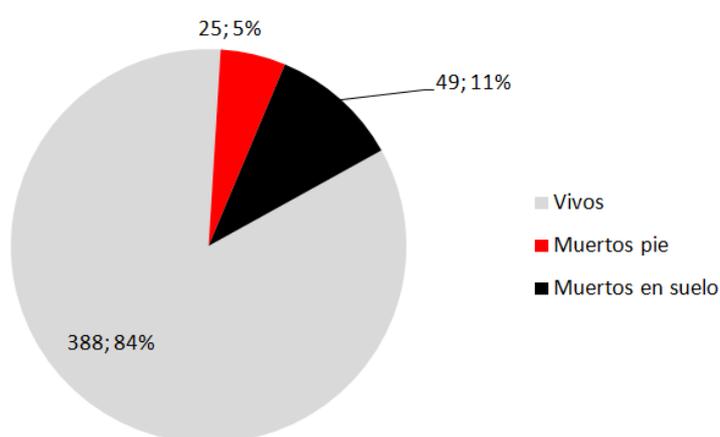
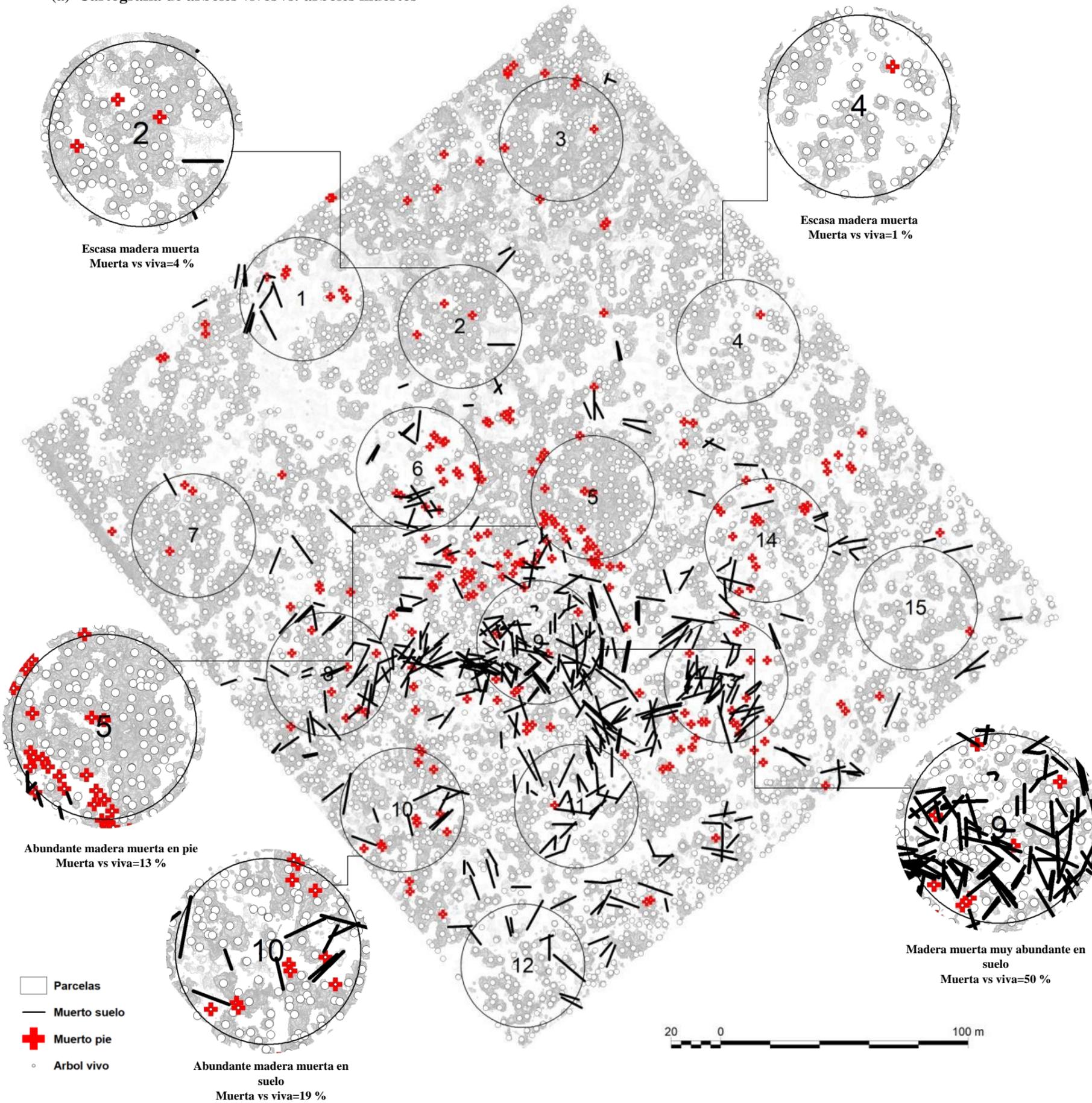


Figura 23. Relación entre madera viva y madera muerta para el rodal de Mafeb.. Se indica numéricamente para cada categoría la densidad de pies/ha y el % de pies respecto al total.

El rodal caracterizado presenta una gran abundancia de árboles muertos tanto en pie como en el suelo (el porcentaje de madera muerta respecto la viva está alrededor del 16%). Representados en el dosel se estima una densidad de 25 pies/ha de árboles muertos en pie (un 5% de todos los pies) y 49 pies/ha de árboles muertos en el suelo (que correspondería a un 11% de los pies existentes en el dosel de copas). 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. En relación a la distribución espacial puede observarse un patrón de distribución en agregados, observándose en algunos sectores grandes acumulaciones de madera muerta, especialmente en el suelo.

(a) Cartografía de árboles vivos vs. árboles muertos



(b) Densidad de árboles muertos vs. árboles vivos por parcela

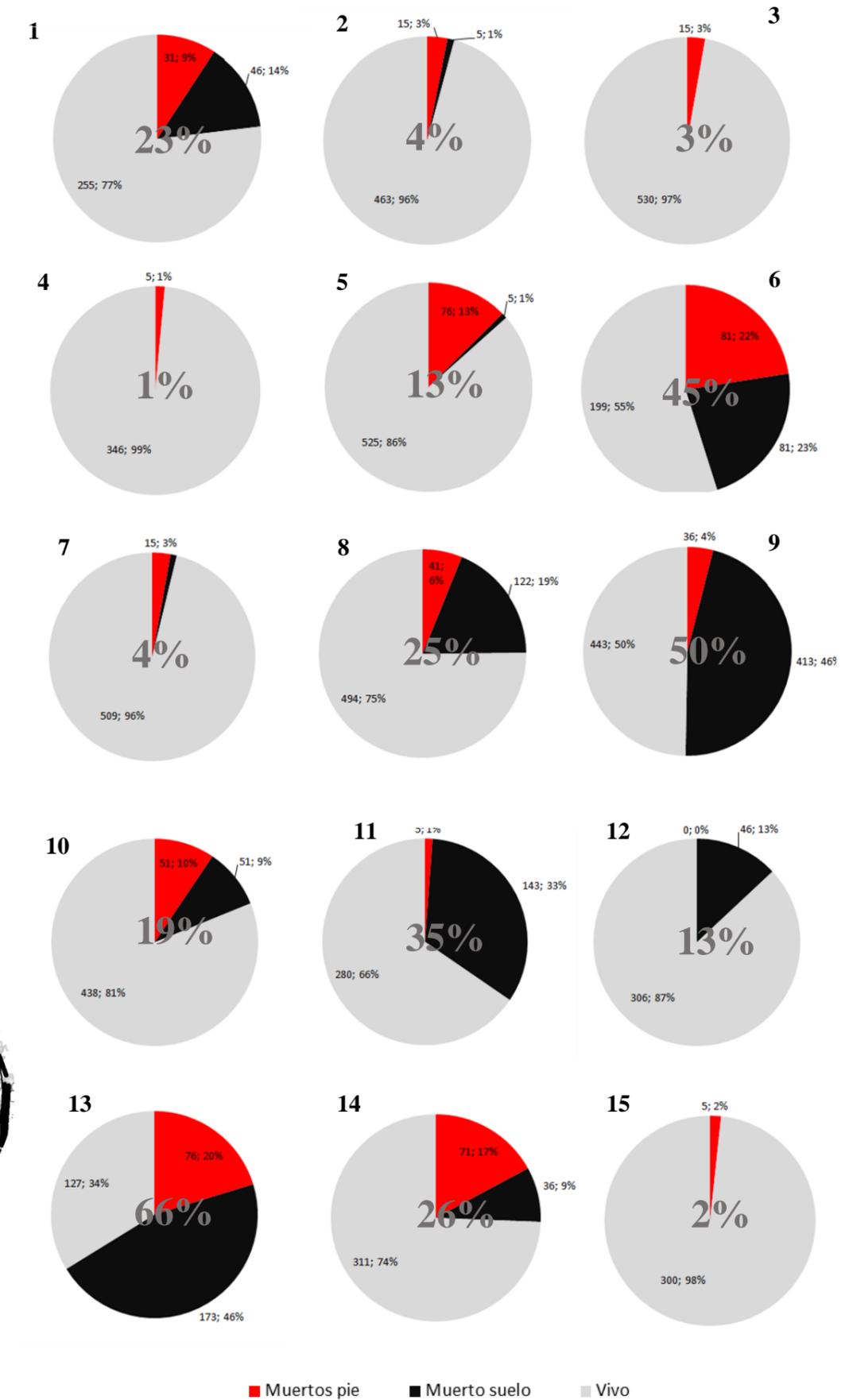


Figura 24. (a) Cartografía de localización de árboles vivos y muertos en el rodal de Mafeb. Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo y (b) densidad de pies/ha de árboles vivos y muertos para cada parcela (15). El total del gráfico circular indica 1000 pies/ha. Para cada parcela se indica numéricamente el porcentaje total de árboles muertos respecto vivos y la densidad de pies/ha y porcentaje para cada categoría (vivos, muertos en pie y muertos en suelo).

3.1.2.2 Caracterización mediante datos de campo

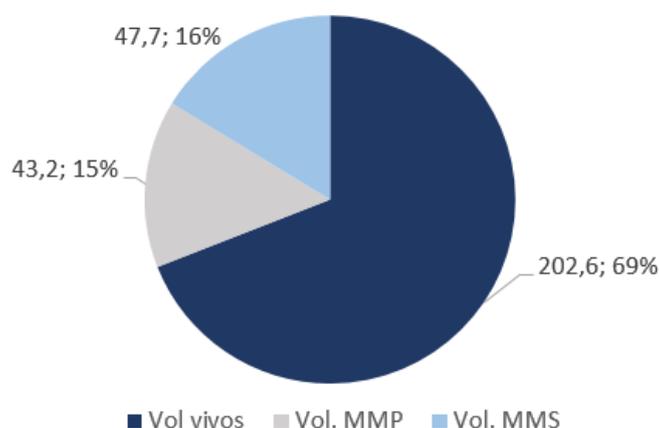
La especie principal es *Pinus uncinata*, que forma masas monoespecíficas con presencia de algunas especies acompañantes, como *Pinus sylvestris* o *Abies alba*. La estructura es irregular y heterogénea, sucediéndose zonas con una cobertura elevada con otras claras. A nivel de rodal, los resultados han sido los siguientes:

Tabla 13. Principales variables dasométricas de Mafeb.

Rodal	N vivos	N logs	Snags/ star	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)		
Mac	400	121	97	114	0,32	0,27	32,2	5,4	7,1	203	47,7	43,2

Destaca el valor tanto de madera muerta en pie como en suelo, que supone un 31% del volumen total.

Machifembra. Vol.



En la tabla 14 se muestran los pies por hectárea función de la clase diamétrica y sociológica del arbolado (en el anejo 2 se muestran los valores numéricos del área basimétrica y volumen calculados a partir de estos datos).

Tabla 14. Pies por ha en función de la clase diamétrica y sociológica

CD	Dominante	Codominante	Intermedio	Dominado	MMP	MMS	Total vivos	Total muertos
5	0	0	52	62	6	23	114	30
10	0	0	49	27	19	0	77	19
15	0	0	29	17	12	0	45	12
20	0	6	19	9	25	25	35	49
25	0	17	12	3	17	42	31	58
30	0	36	6	1	21	23	44	44
35	0	42	1	0	9	5	43	14
40	1	52	0	0	9	1	53	10
45	1	35	0	0	5	0	36	5
50	1	14	0	0	1	1	16	3
55	1	12	0	0	3	0	13	3
60	1	1	0	0	0	0	3	0
65	1	0	0	0	0	0	1	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	3	0	0	0	0	3	0
Total	8	218	117	57	121	97	400	218

En la Figura 25 se muestran las distribuciones diamétricas de la densidad, área basimétrica y volumen en el rodal de Mafeb..

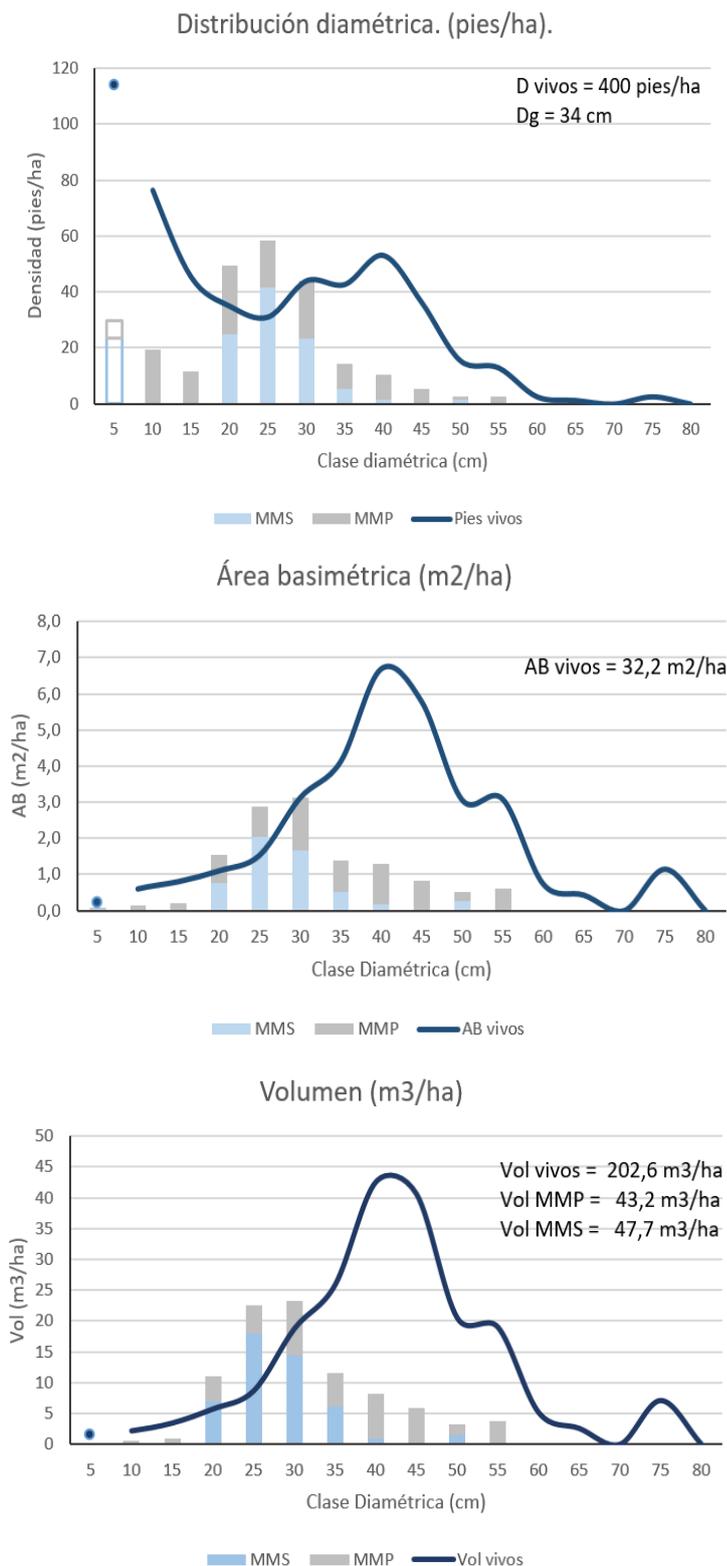


Figura 25. Distribuciones diamétricas de densidad, área basimétrica y volumen en el rodal de Mafeb..

Los resultados muestran una masa clara (400 pies/ha) con una distribución irregular y con presencia tanto de pies gruesos y muy gruesos (se ha inventariado pies hasta la clase diamétrica 75) como de regenerado (114 pies menores/ha). En cuanto a la madera muerta, ésta 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. Esto sugiere que la dinámica de generación de madera muerta se deba distintos factores. Desde la competencia en las clases diamétricas inferiores, como a la propia edad de algunos pies (clases diamétricas superiores) y distintas perturbaciones del medio (vendavales, nevadas, escoltidos, etc.). Se trata, por tanto, de 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 y/o con arbolado joven, zonas en fase de exclusión de fustes, hasta otras con arbolado de grandes dimensiones e incluso fases de senescencia, con gran cantidad de madera muerta en pie y en suelo.

3.1.3 Caracterización de elementos de interés

Tal y como se ha explicado en el apartado de metodología, se han inventariado las especies arbustivas de interés, los árboles posadero, los pies muy gruesos y la madera muerta gruesa tanto en pie como en suelo. En la siguiente tabla se indican los resultados.

Tabla 15. Número de hormigueros y árboles posaderos por parcela.

Parcela	<i>Vaccinium myrtillus</i>		<i>Rubus idaeus</i>		Hormiguero	Árbol posadero	Pies muy gruesos	Madera muerta gruesa pie	Madera muerta gruesa suelo
	m2	%	m2	%	Ud/ha	Pies/ha			
1	9	0	180	9	10	15	20	46	10
2	101	5	0	0	5	10	20	10	5
3	0	0	30	2	5	0	0	20	5
4	22	1	55	3	10	20	0	0	0
5	429	22	180	9	5	10	0	36	0
6	47	2	41	2	10	0	10	46	0
7	95	5	24	1	10	5	0	10	5
8	443	23	30	2	5	0	0	0	5
9	504	26	200	10	20	5	0	0	10
10	292	15	18	1	15	5	0	5	0
11	270	14	38	2	20	0	0	5	5
12	891	45	67	3	5	5	5	0	5
13	54	3	297	15	0	0	10	0	41
14	103	5	37	2	15	5	10	31	15
15	32	2	153	8	15	5	5	0	5
Valor medio		11,2		4,6	10	6	5	14	7

Las dos especies arbustivas de interés presentes en el rodal de Mafeb. han sido *Vaccinium myrtillus* y *Rubus idaeus*. La más abundante ha sido la primera, con un recubrimiento medio del 11,18% de la superficie, mientras que el recubrimiento del rodal de *Rubus idaeus* ha sido del 4,58%.

Se han inventariado en el rodal de Mafeb. un total de 30 hormigueros y 17 árboles con estructuras propicias como posaderos. Extrapolando a todo el rodal la densidad de estos elementos es de 10 hormigueros/ha y de 6 árboles posadero/ha.

En cuanto a la madera muerta gruesa (diámetro normal superior a 37,5 cm) se han inventariado 31 Snags (madera muerta en pie) y 22 Logs (madera muerta en suelo), que expresado en unidades relativas serían 14

pies/ha y 7 pies/ha respectivamente. Llama la atención que la mayoría de árboles inventariados de madera muerta se encuentran en un estado de descomposición similar (

Figura 26), principalmente 2 y 3, siendo muy escasos los estados de descomposición 1 y 4 y no habiéndose encontrado ningún árbol en estado 5. Esto indica que probablemente una parte importante (aunque no toda) de la madera muerta se originó en un periodo de tiempo relativamente corto, por ejemplo por un episodio de fuertes vientos o por la acción combinada de nieve y viento.

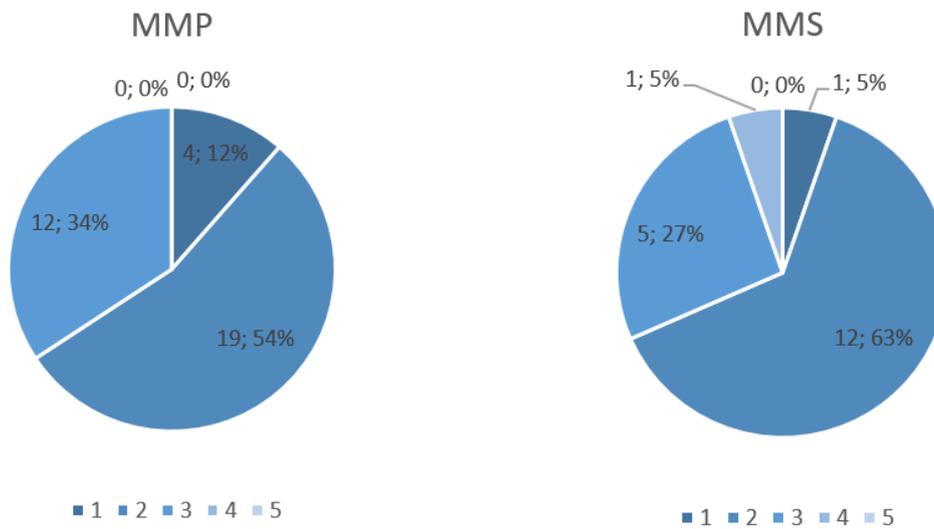
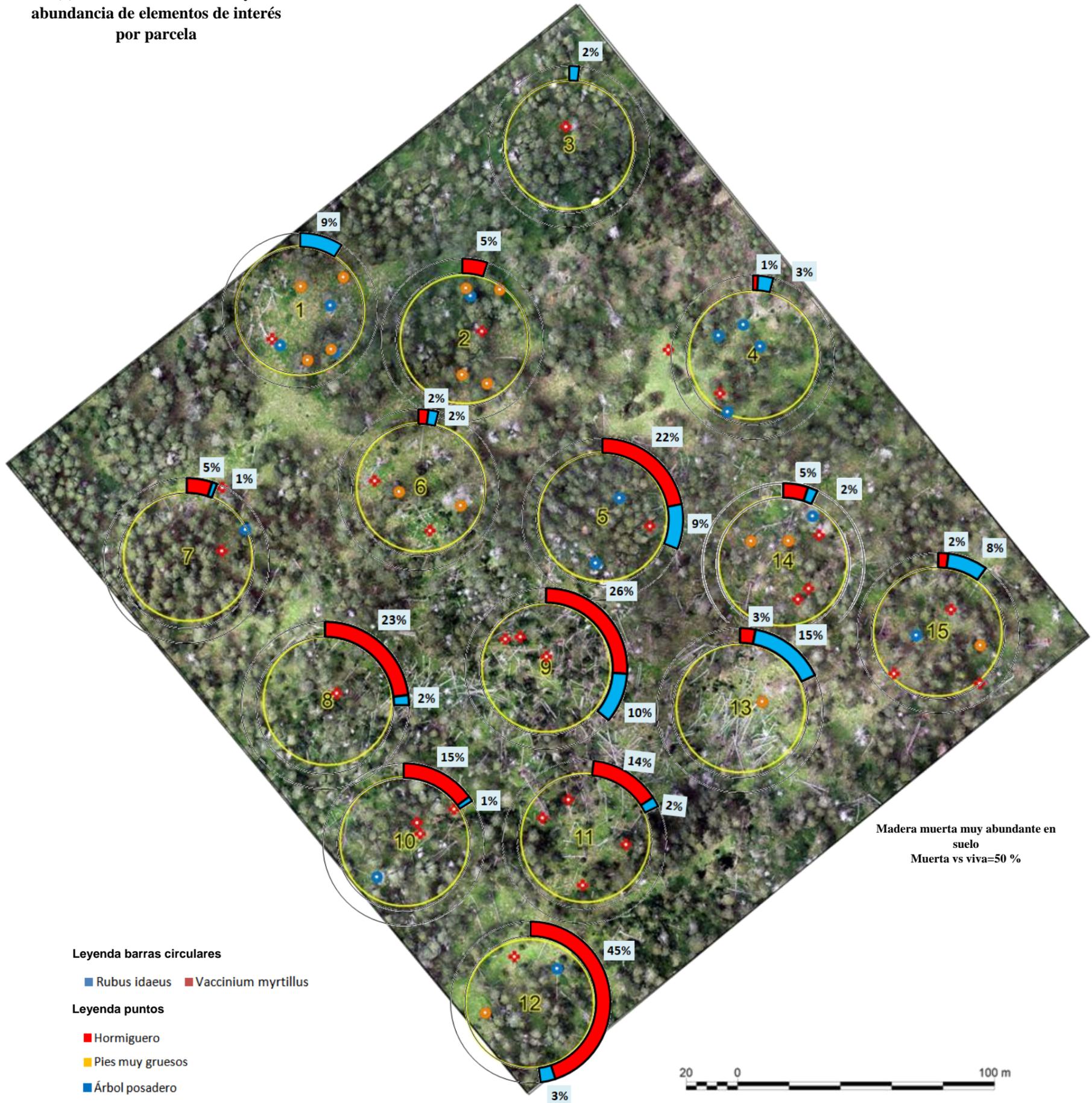


Figura 26. Número y proporción de pies inventariados por estado de descomposición de la madera muerta en pie (MMP) y madera muerta en el suelo (MMS)

(a) Ortomosaico del rodal y abundancia de elementos de interés por parcela



(b) Densidad (ud/ha) de hormigueros, árboles posadero, arboles muy gruesos, árboles gruesos muertos en pie y en el suelo

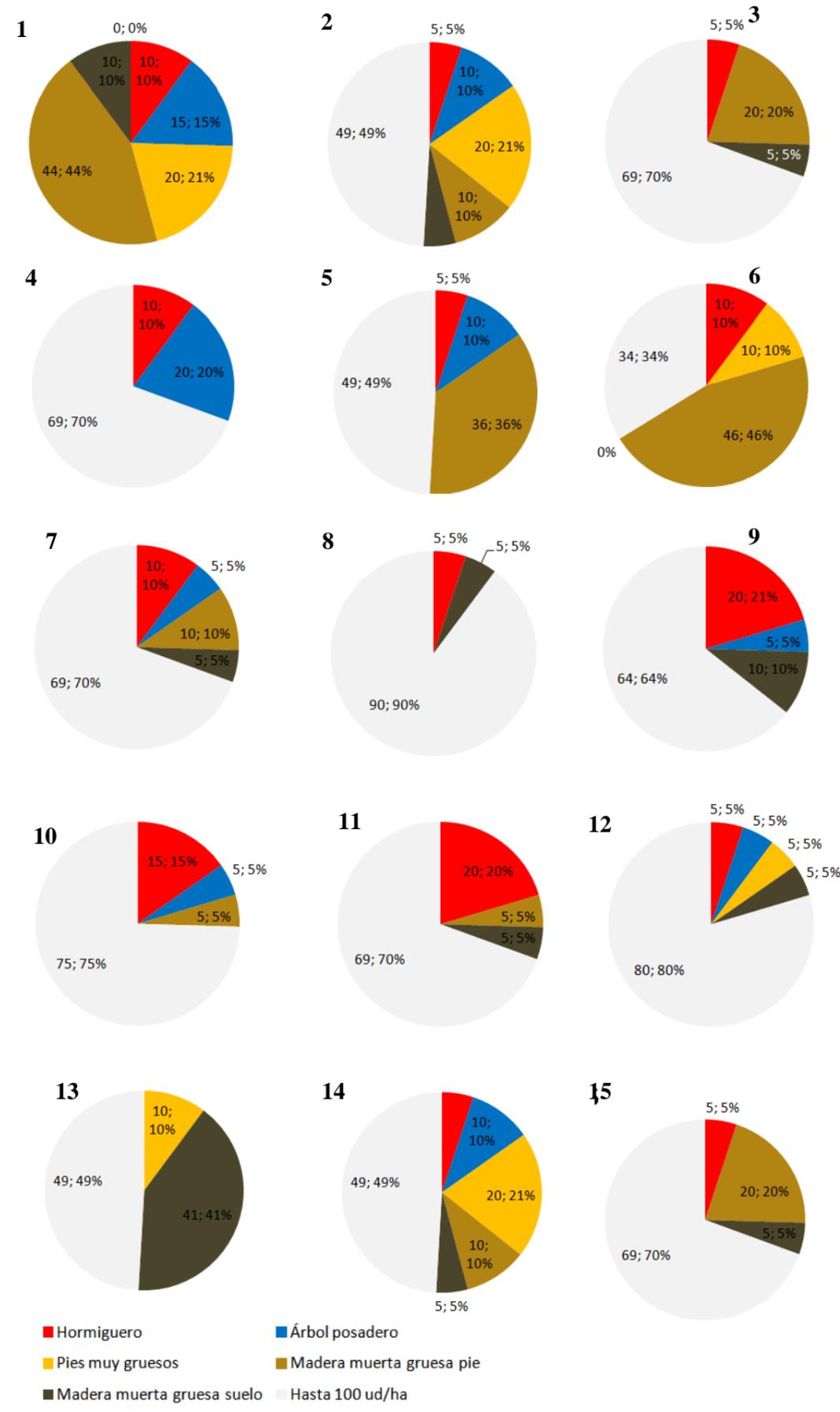


Figura 27. (a) Ortomosaico del rodal y abundancia de elementos de interés por parcela. Las barras circulares indican la cobertura de arbustos (en %) en función de la especie y los puntos la localización de hormigueros, pies muy gruesos y árboles posadero y (b) Densidad (ud/ha) de hormigueros, árboles posadero, arboles muy gruesos, árboles muertos gruesos en pie y en el suelo. El círculo completo indica 100 ud/ha.

3.1.4 Caracterización de la capacidad de transitabilidad-ocultación mediante datos LiDAR terrestre

A partir de post proceso de los datos LiDAR terrestres se ha evaluado la complejidad estructural de cada una de las parcelas muestreadas con el fin de obtener una variable que permita caracterizar el nivel de transitabilidad y capacidad de ocultación que ofrece la masa forestal existente para el urogallo. En la tabla 16 y figura 28 se muestran los resultados cuantitativos obtenidos.

Tabla 16. Resultados del coste de transitabilidad, grado de ocultación y evaluación general de la relación transitabilidad-refugio para cada parcela

Parcela	Zona de coste a la transitabilidad (m ²)			Zona de ocultación (m ²)	Superficie total (m ²)	Evaluación (%)		
	Baja	Media	Alta	Alto		Trans. alta	Trans. total	Ocultación/Refugio
1	428	1436	1959	1280	5103	11	11	25
2	121	1702	1759	1521	5103	3	3	30
3	232	1597	1836	1438	5103	6	6	28
4	305	1184	1280	2335	5104	11	11	46
5	130	1668	2277	1029	5104	3	3	20
6	290	1227	1899	1687	5103	8	8	33
7	137	1440	1966	1560	5103	4	4	31
8	214	1002	1404	2484	5104	8	8	49
9	241	375	850	3637	5103	16	16	71
10	289	1090	1427	2297	5103	10	10	45
11	393	761	1490	2459	5103	15	15	48
12	277	886	1586	2353	5102	10	10	46
13	383	1178	2431	1110	5102	10	10	22
14	251	1721	1835	1296	5103	7	7	25
15	257	1928	1865	1054	5104	6	6	21
					Q1	6	54	25
					Q3	11	75	46
					Q3-Q1	4	21	21
					Min	3	29	20
					Max	16	80	71
					Mediana	8	69	31
					Promedio	9	64	36

Para una mejor interpretación de los valores en la figura 28 se muestra gráficamente los resultados de los valores de evaluación en relación a la transitabilidad total, la ocultación y la transitabilidad efectiva para cada una de las parcelas analizadas.

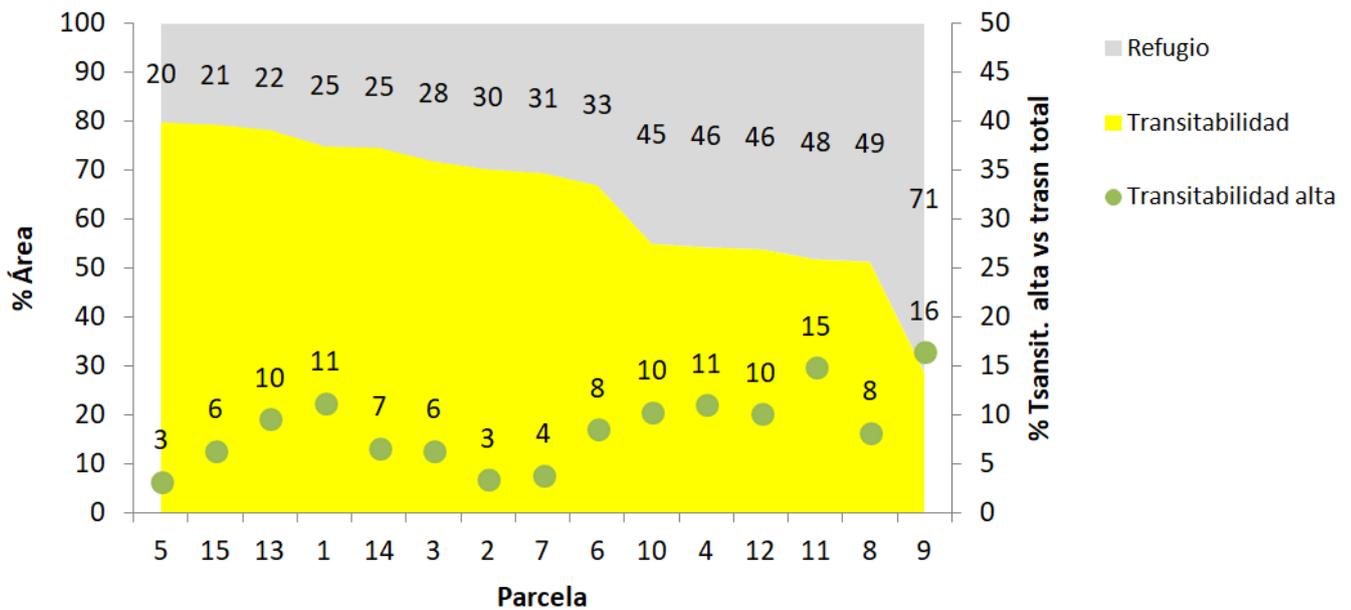


Figura 28. Evaluación general de la relación transitabilidad total-ocultación (áreas coloreadas/eje derecho) para cada parcela y indicación de la transitabilidad efectiva (puntos/eje izquierdo). Ejemplo. La parcela 15 tiene un 21 % del área que ofrece ocultación, un 79% del área que ofrece transitabilidad de la cual un 6% del área transitable se considera muy efectiva (coste bajo a la transitabilidad). El eje horizontal (parcelas) está ordenado en orden de mayor a menor transitabilidad total.

Tal y como se apuntaba en el apartado metodológico la interpretación de la evaluación del nivel de transitabilidad y capacidad de ocultación (o refugio) para cada parcela se fundamenta en el nivel de penetrabilidad del haz láser a través del bosque desde un punto concreto (en este caso desde el centro de cada parcela analizada). En este sentido, los resultados deben interpretarse como un análisis de visibilidad puntual que sería análogo a la percepción que podría tener un ejemplar de urogallo que en un momento determinado estuviera fijado en el centro de la parcela. Los resultados se expresan mediante dos variables

3. **Transitabilidad:** correspondería al entorno visible desde el centro de la parcela y dentro de este la facilidad de movimiento del ejemplar desde dicho centro hacia otros entornos visibles (se establecen tres categorías de coste bajo (o transitabilidad efectiva- TE), medio y alto).
4. **Ocultación/Refugio:** 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 existente desde dicho centro de parcela.

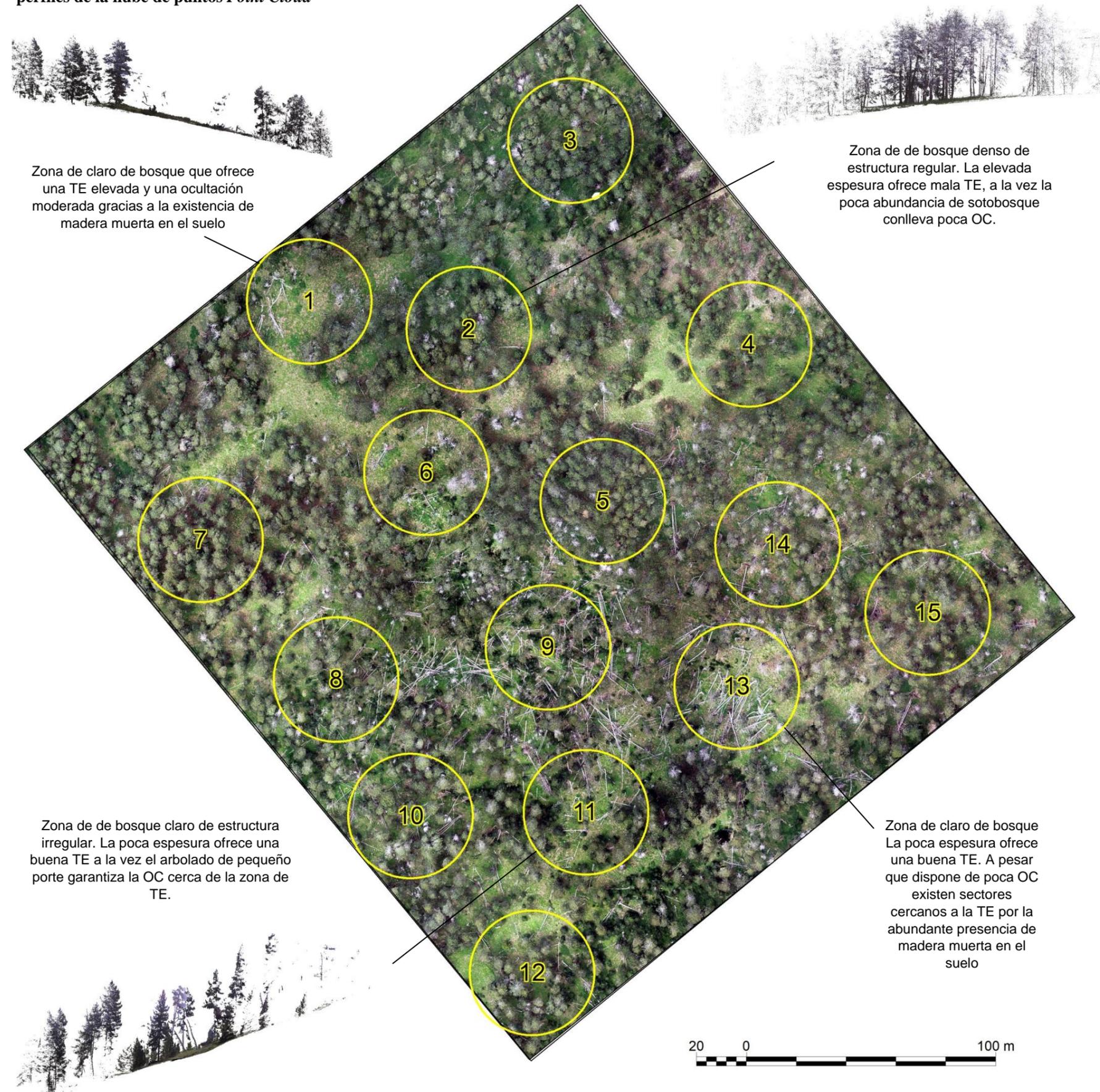
De forma general en las parcelas muestreadas la transitabilidad predomina respecto a la ocultación, exceptuando la parcela 9 en que la ocultación es mayor que la transitabilidad. El porcentaje medio de la superficie disponible para la transitabilidad es del 64% y para la ocultación del 36%. Se observa cierta variabilidad entre parcelas (con un rango intercuartil 21 puntos porcentuales). Las parcelas con mayor superficie disponible a la transitabilidad (por encima del Q3=75%) y por tanto, las de menor ocultación son la 5, la 15, la 13, la 1 y la 14. No obstante, aún presentar 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 y 7 en que a pesar de tener un alto porcentaje disponible a la transitabilidad (y poca ocultación) los valores de transitabilidad efectiva son reducidos.

Las parcelas con mayor superficie disponible a la ocultación (Q3=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 (por encima de 10%).

Otro aspecto remarcable, a parte de los valores cuantitativos de las variables de ocultación/transitabilidad, es el patrón de distribución estructural que muestran dichas variables a lo largo de la parcela analizada y que son indicativos de la complejidad estructural existente en la zona de análisis. 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%. Por el contrario 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 (por debajo del 50%).

Para comprender mejor los valores descritos en la figura 29 se muestran los mapas de penetrabilidad para cada parcela que expresan gráficamente las variables de ocultación, transitabilidad total y transiabilidad efectiva (bajo coste a la transitabilidad).

(a) Ortomosaico del rodal, localización de las parcelas y representación de algunos perfiles de la nube de puntos *Point Cloud*



(b) Mapas de nivel de transitabilidad y ocultación de cada parcela

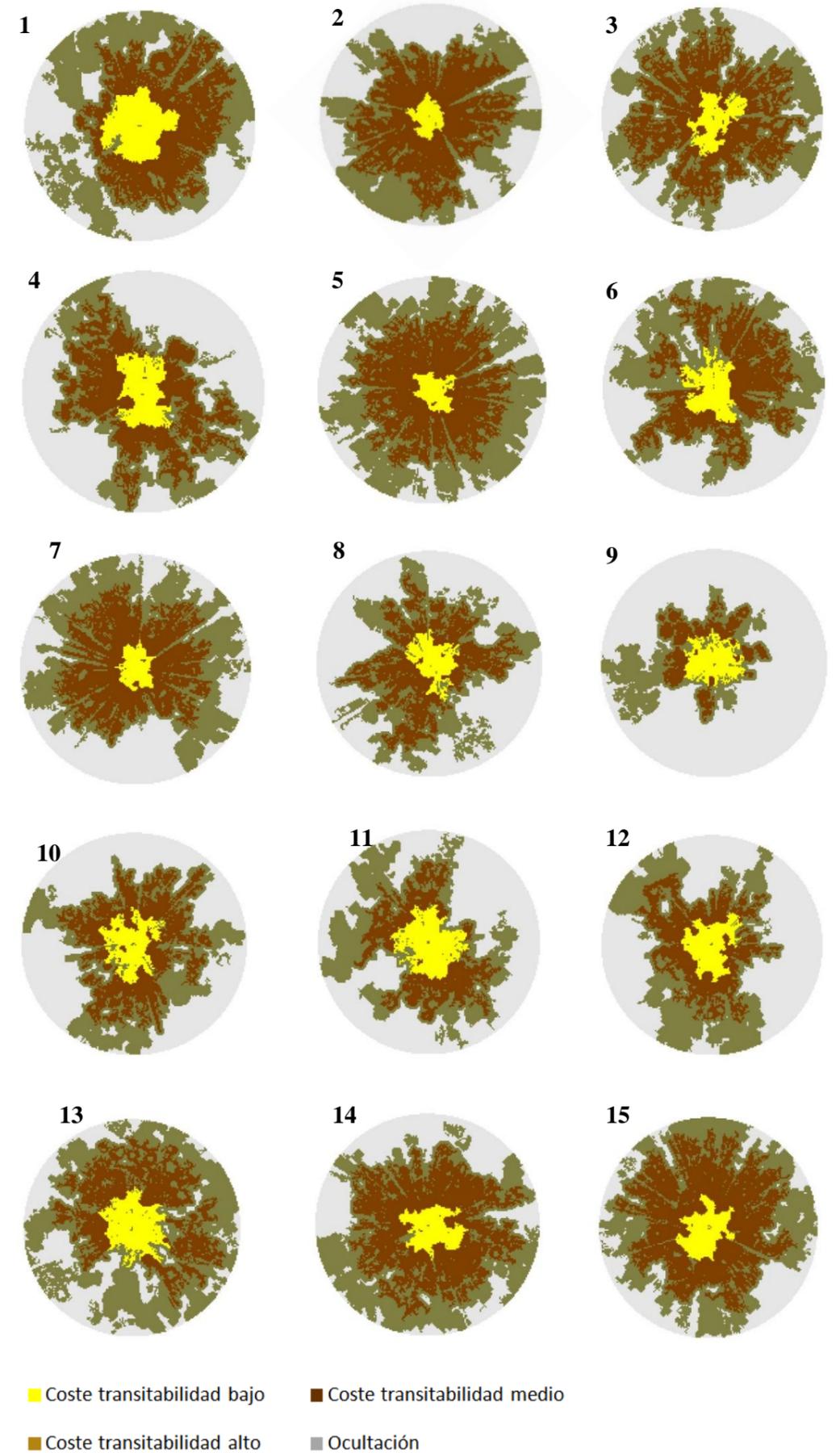


Figura 29. (a) Ortomosaico con indicación de la localización de las parcelas y de perfiles de las nubes de puntos 3D obtenidos del T- LiDAR para las parcelas 1, 2, 11 y 13. TE: Transitabilidad efectiva/OC Ocultación, (b) Mapas de transitabilidad vs. Ocultación para cada parcela analizada.

3.2 RODAL SUBÓPTIMO: LERT.

3.2.1 Resultados preliminares del levantamiento fotogramétrico

Como resultado del levantamiento fotogramétrico del rodal se ha obtenido un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), un ortomosaico de detalle y un modelo tridimensional del área de estudio (ver tabla 17 y figuras 30 y 32).

Tabla 17. Resultado del proceso de restitución fotogramétrica obtenido en el rodal.

Número de fotografías utilizadas	239	Error (RMS) de georreferenciación	2,05 m
Número de puntos de control	13	Error (RMS) georreferenciación z	0,38 m
Número de puntos del modelo fotogramétrico	45.305.135	Resolución espacial del ortomosaico	3 cm
Número de caras del modelo fotogramétrico	8.936.806	Resolución espacial del Modelo Elevaciones	10 cm



Figura 30. Visión 3D del modelo fotogramétrico del rodal de Lert..

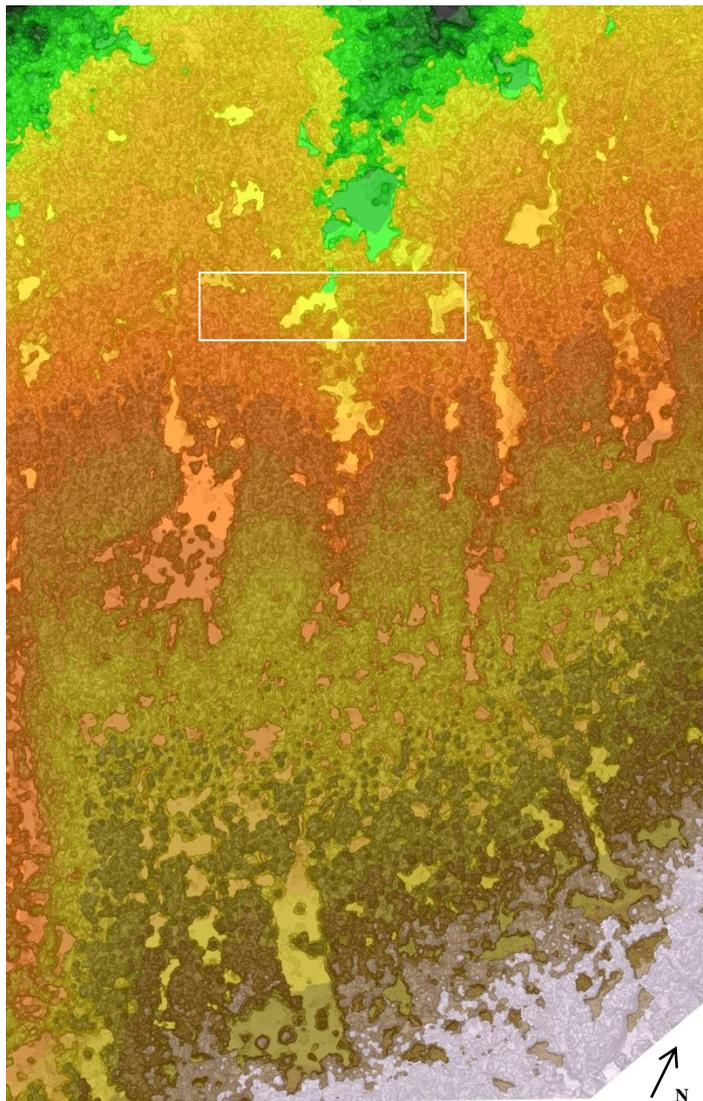
(a) Ortomosaico



Detalle ortomosaico



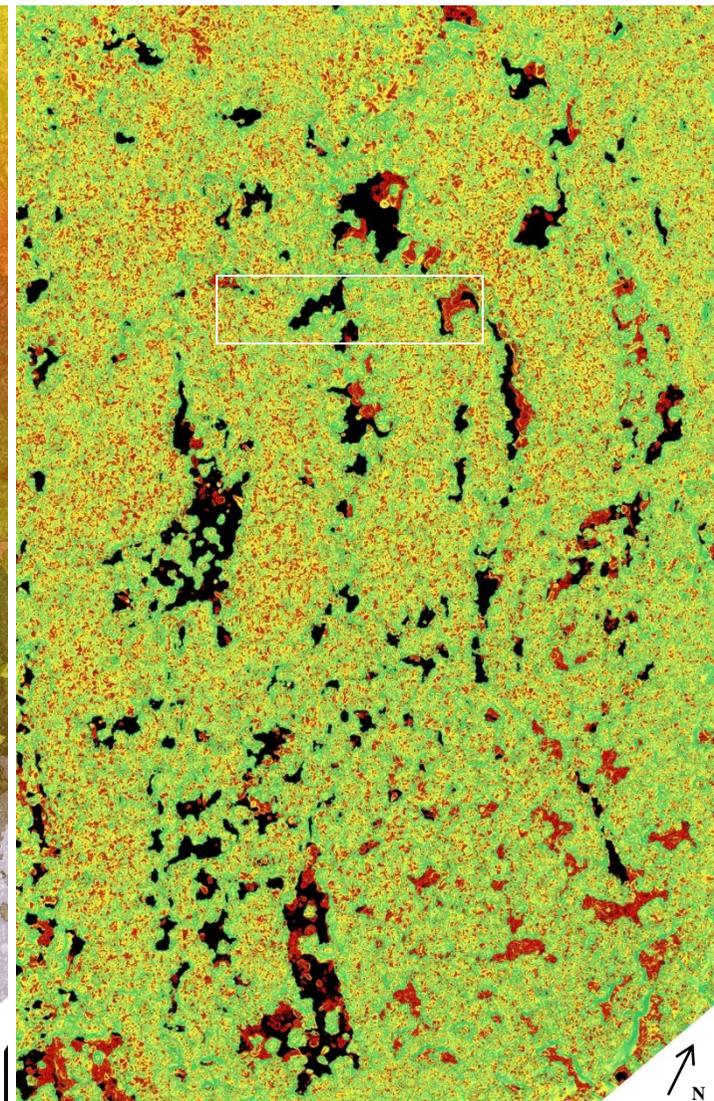
(b) Modelo Digital Elevaciones



Detalle Modelo Digital Elevaciones



(c) Mapa de rugosidad



Detalle mapa de rugosidad

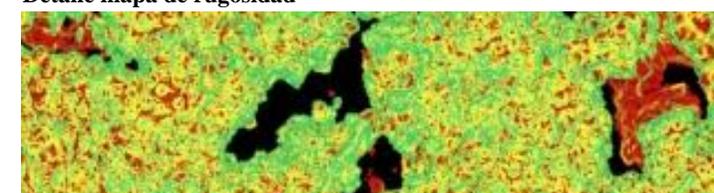


Figura 32. Productos cartográficos y topográficos de base obtenidos del levantamiento fotogramétrico en el rodal de Lert.. (a) Ortomosaico (b) Modelo Digital de Elevaciones y (c) Mapa de rugosidad expresado en grados. Se muestra en detalle uno de los sectores del rodal para cada mapa.

3.2.2 Caracterización dasométrica

3.2.2.1 Caracterización mediante datos remotos

a) Fracción de cabida cubierta arbolada y alturas del dosel de la vegetación

El análisis realizado con el Modelo Digital del Terreno (MDT) y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) ha dado como resultado una cartografía que permite evaluar las alturas del dosel de copas existente en el rodal (Modelo Digital de Copas-MDC). En la tabla 18 y figuras 33 y 34 se muestran los resultados cuantitativos y gráficos obtenidos.

Tabla 18. Superficie (ha) ocupada por cada categoría de altura del dosel de copas en el rodal de Lert..

Categoría		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		0,5m-1,5 m	0,39	3
4	Arbolado	1,5m-4m	0,29	2
5		4m-6m	0,35	3
6		6m-8m	0,71	5
7		8m-12m	4,45	33
8		12m-15m	5,13	38
9		15m-20m	0,80	6
10		sup20m	0,00	0
TOTAL			13,43	100

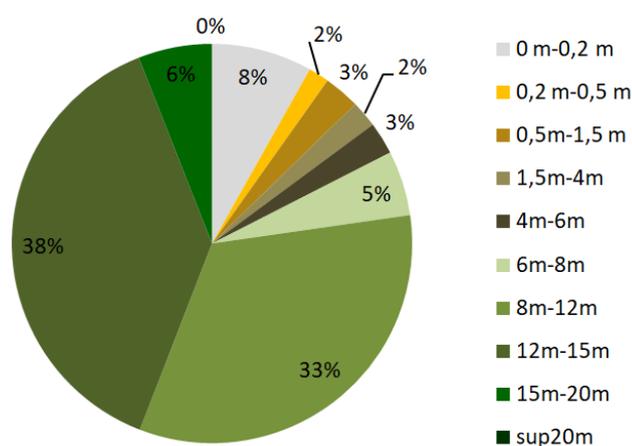


Figura 33. Fracción de cabida cubierta para cada categoría de altura en % para el rodal de Lert..

El rodal caracterizado en Lert. tiene una estructura generalmente cerrada con una fracción de cabida cubierta media del 87%. El dosel de copas está configurado mayormente por solo 2 categorías de altura. Un 71% de la superficie del rodal está ocupada por un estrato arbóreo entre los 8 m y los 15 m, excepcionalmente aparecen árboles que superan los 15 m de altura que ocupan un 6% de la superficie del rodal. Los estratos de vegetación intermedia e inferior tienen poca representación superficial en el rodal, encontrándose representadas por la vegetación que ocupa algunas zonas de pequeños claros (con árboles de pequeño porte, formaciones arbustivas y herbáceas). Debido a la elevada y homogénea cobertura de árboles existen pocas áreas con efecto borde, destacando solo algunas turberas que constituyen los mayores espacios abiertos existentes en el rodal.

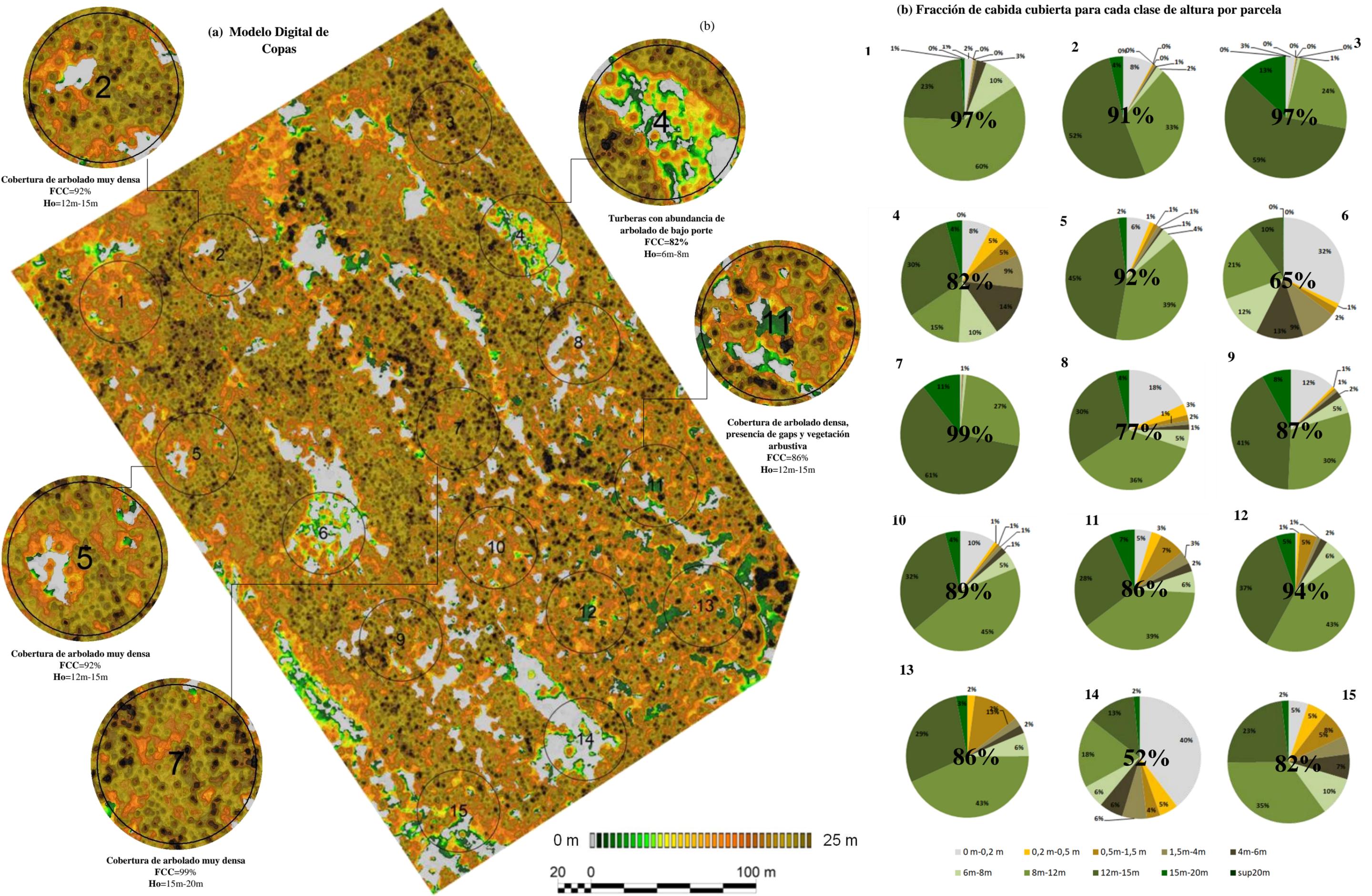


Figura 34. (a) Modelo Digital de Copas en el rodal de Lert, que representa la altura del dosel de copas. Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo, ejemplificando con un zoom 5 de ellas y (b) fracción de cabida cubierta de cada parcela (15) para cada categoría de altura del MDC (datos expresados en %). Se indica numéricamente la FCC total (numeración central que aparece en cada gráfico circular).

b) Localización individual de árboles del dosel dominante

El análisis realizado a partir del Modelo Digital de Copas permite evaluar la localización individualizada de árboles del estrato dominante. En la tabla 19 y figuras 35 y 36 se muestran los resultados cuantitativos y gráficos obtenidos.

Tabla 19. Número total, pies por hectárea y porcentaje de los árboles de dosel para cada categoría de altura en el rodal de Lert..

Categoría	Numero arboles	Pies/ha	%
menos 2,5 m	21	2	0,1
2,5m-4m	48	4	0,2
4m-6m	119	9	0,6
6m-8m	222	17	1,1
8m-12m	1466	109	7,4
12m-15m	4963	370	25,1
15m-20m	3534	263	17,8
sup20m	9	1	0,0
TOTAL	10.382	774	100

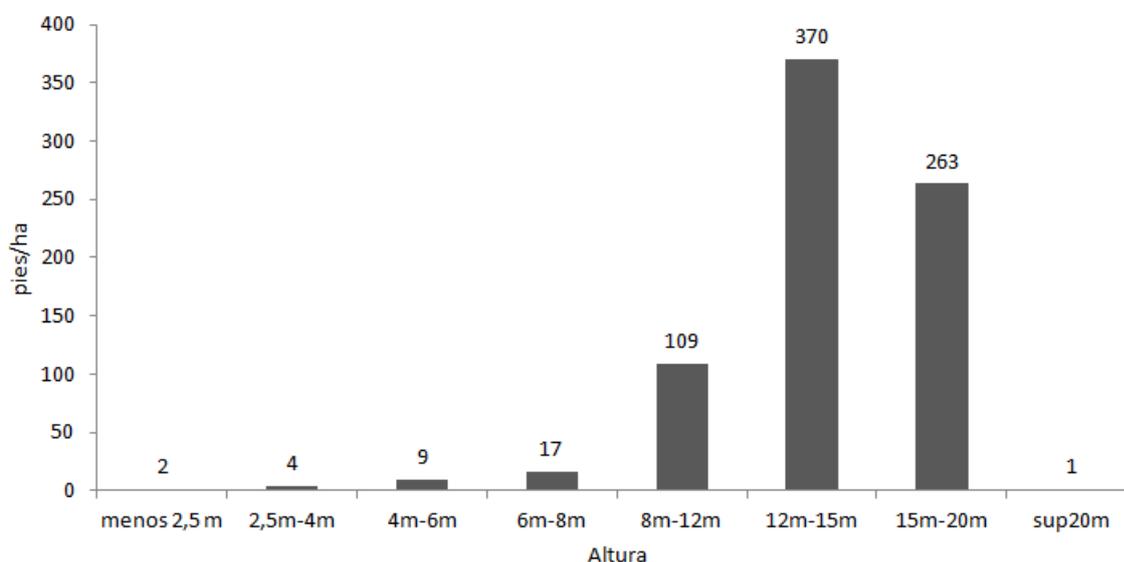


Figura 35. Pies por hectárea de los árboles de dosel para cada categoría de altura en el rodal de Lert..

Se estima que la densidad media de los árboles que se representan en el dosel de copas está alrededor de los 774 pies/ha de los cuales un 7,4% estarían formados por pies entre los 8 m y los 12 m de altura, un 25,1 % por árboles de 12 m a 15 m de altura y un 17,8% por árboles de 15 m a 20 m de altura. Un 2% de los pies detectados corresponden a estratos jóvenes de arbolado (alturas de menos de 2,5 m a los 8 m de altura). 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 (normalmente turberas) en que el arbolado aparece formando estructuras menos densas y normalmente de portes pequeños. En el anejo 1 se realiza una valoración del ajuste de la densidad calculada a partir de los datos remotos con la densidad calculada a partir de los datos de campo.

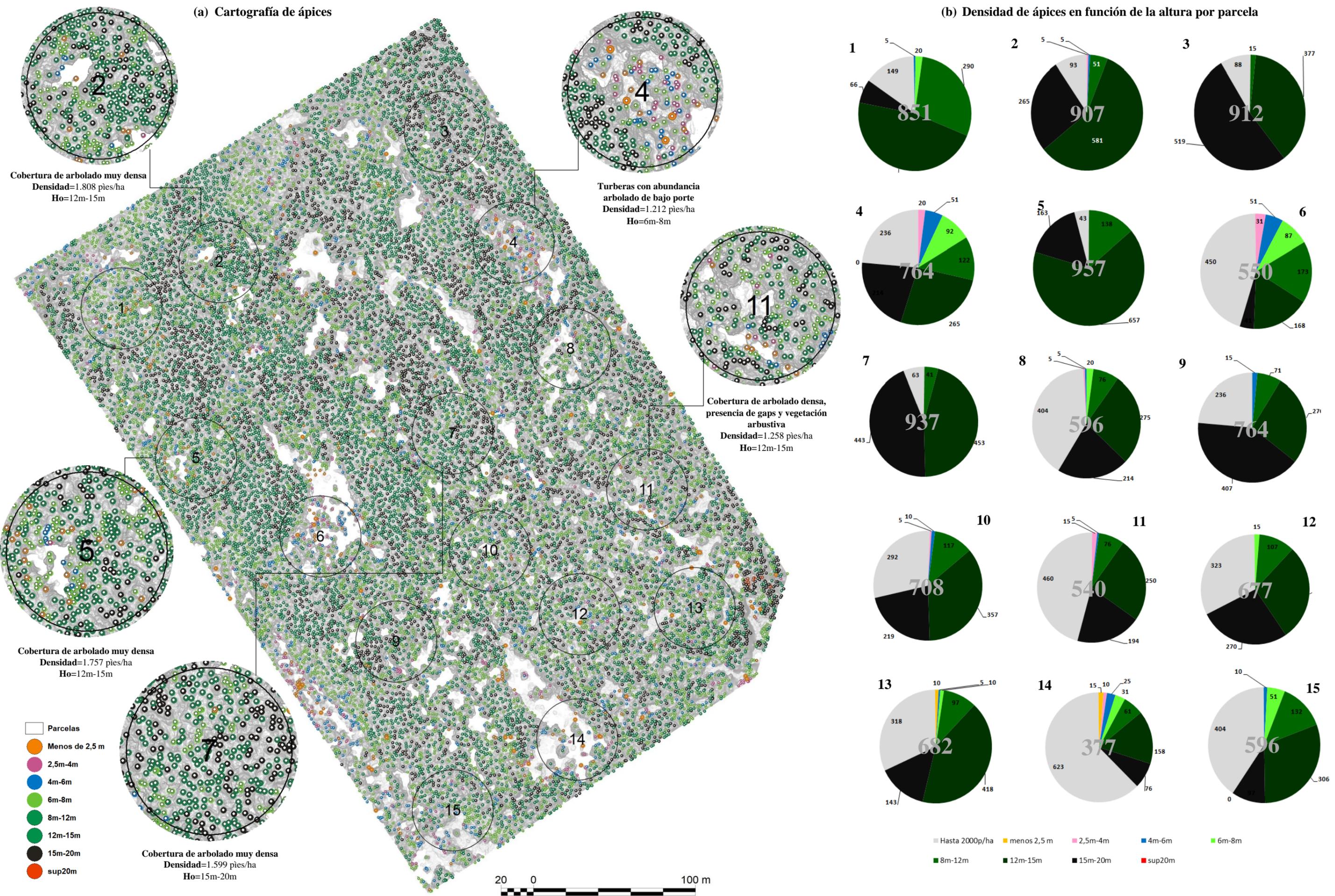


Figura 36. (a) Cartografía de localización de árboles del dosel superior de copas en el rodal de Lert. en función de la altura. Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo y (b) densidad de pies/ha para cada parcela (15) para cada categoría de altura de los árboles. El total del gráfico circular indica 1000 pies/ha, Se indica numéricamente la densidad total de pies/ha y la densidad para cada categoría de altura.

c) Madera muerta respecto madera viva

El análisis realizado sobre el ortomosaico ha dado como resultado una cartografía que evalúa la presencia de árboles nuestros en pie y en el suelo. En la tabla 20 y figuras 38 y 39 se muestran de los resultados cuantitativos y gráficos obtenidos.

Tabla 20. Superficie ocupada por árboles con señales de decaimiento (en ha y gráfico de %) en relación a la superficie con vegetación arbolada viva.

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

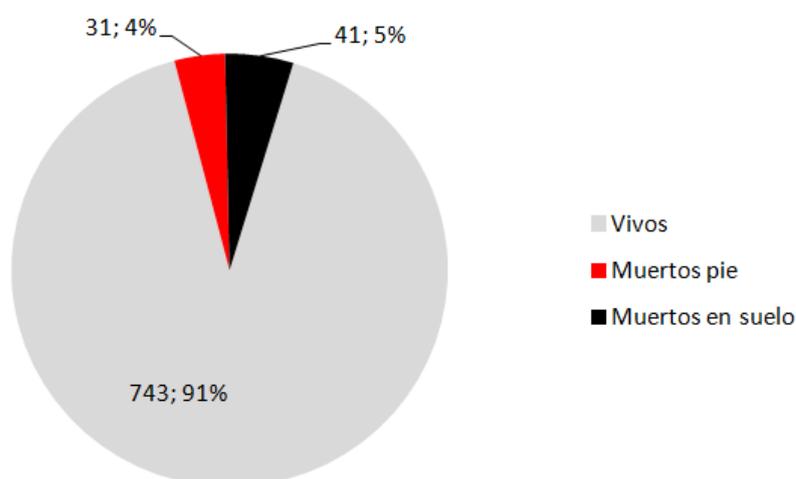


Figura 37. Relación entre madera viva y madera muerta para el rodal de Lert.. Se indica numéricamente para cada categoría la densidad de pies/ha y el % de pies respecto al total.

El rodal caracterizado presenta una abundancia moderada de madera muerta tanto en pie como en el suelo (el porcentaje de madera muerta respecto la viva está alrededor del 9%). Se estima una densidad de 31 pies/ha de árboles muertos en pie (un 2% de todos los pies) y 41 pies/ha de árboles muertos en el suelo (que correspondería a un 3% de los pies existentes en todo el rodal). En cuanto a las dimensiones 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.

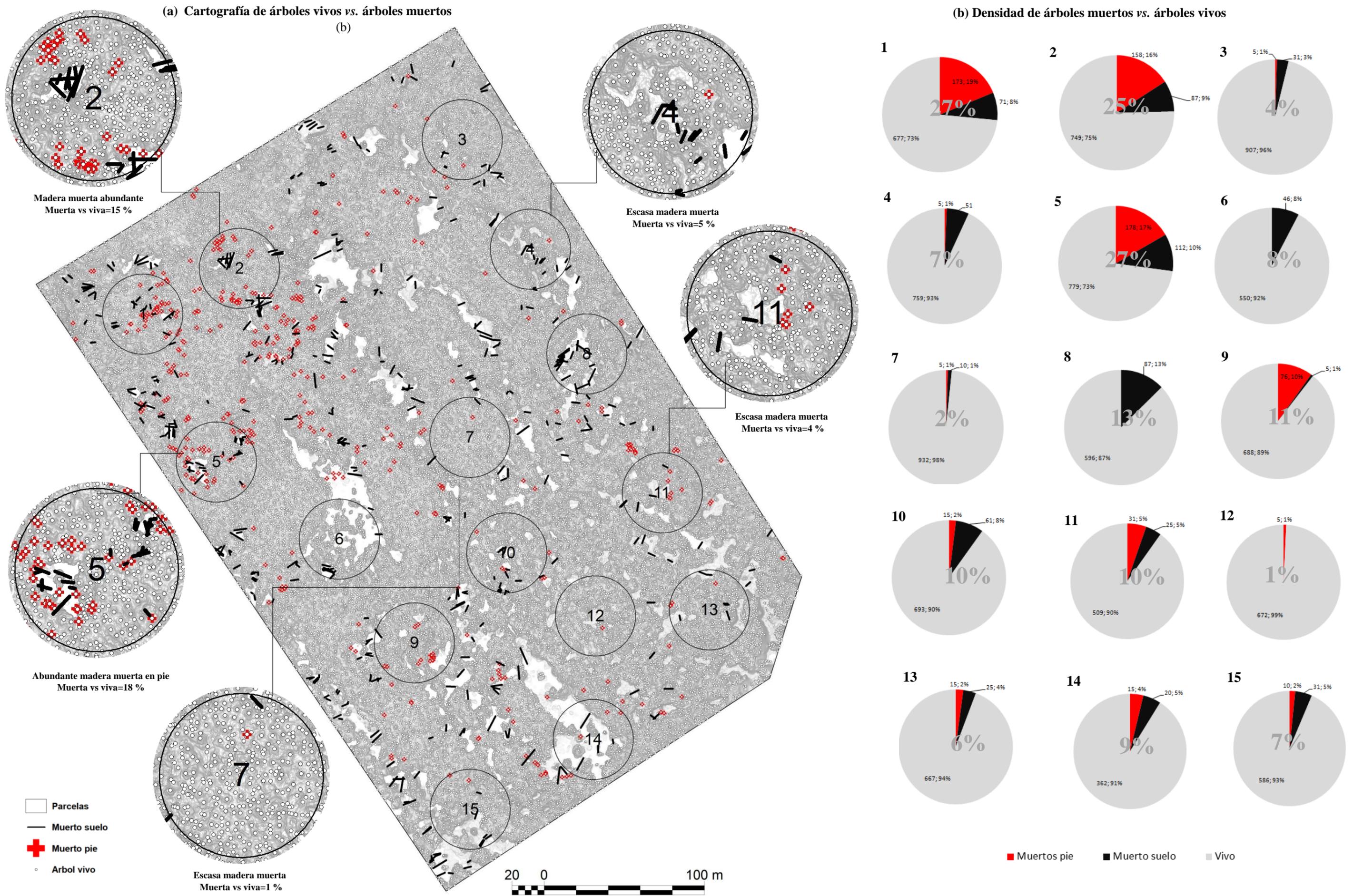


Figura 39. (a) Cartografía de localización de árboles vivos y muertos en el rodal de Mafeb. Se identifica la localización de las 15 parcelas levantadas en campo y (b) densidad de pies/ha de árboles vivos y muertos para cada parcela (15). El total del gráfico circular indica 2000 pies/ha. Para cada parcela se indica numéricamente el porcentaje total de árboles muertos respecto vivos y la densidad de pies/ha y porcentaje para cada categoría (vivos, muertos en pie y muertos en suelo).

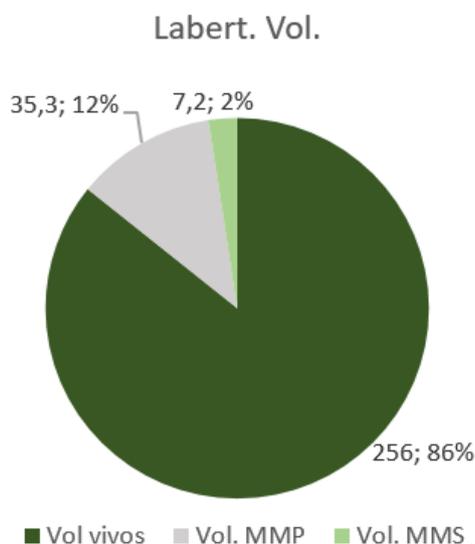
3.2.2.2 Caracterización mediante datos de campo

A partir de los datos obtenidos en campo en las 15 parcelas muestreadas se han calculado las principales variables dasométricas. La especie principal es *Pinus uncinata*, que forma masas monoespecíficas con presencia de algunas 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 han sido los siguientes:

Tabla 21. Principales variables dasométricas de Lert..

Rodal	N vivos	N logs	Snags/ star	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)		
Lab	843	57	255	115	0,26	0,19	43,6	2,0	6,8	256	7,2	35,3

Destaca la escasez de madera muerta en suelo, cuyo volumen apenas alcanza un 2% del total. El volumen de madera muerta en pie es algo superior, con un 12% del total, aunque distribuido en las clases diamétricas inferiores.

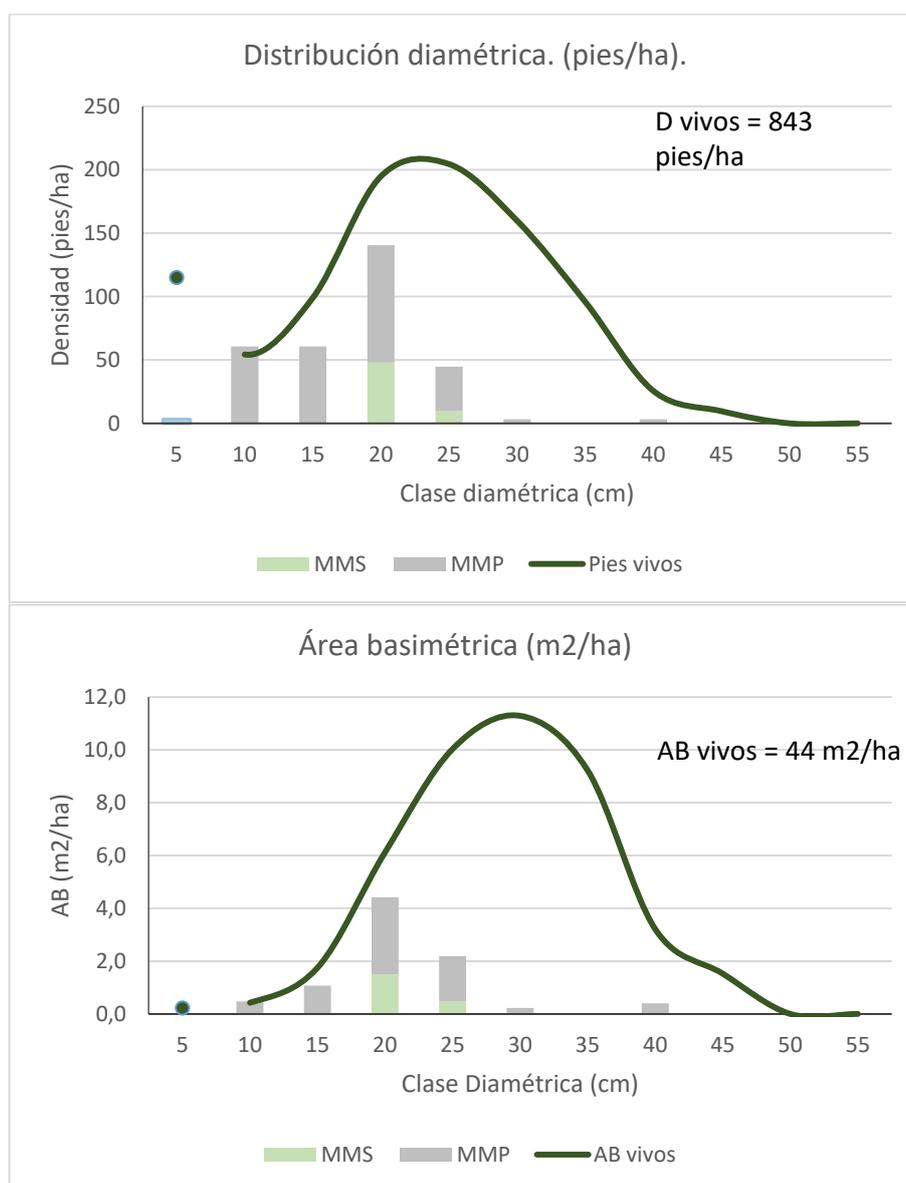


En la tabla 22 se muestran los pies por hectárea función de la clase diamétrica y sociológica del arbolado (en el anejo 2 se muestran los valores numéricos del área basimétrica y volumen calculados a partir de estos datos).

Tabla 22. Pies por ha en función de la clase diamétrica y sociológica

CD	Dominante	Codominante	Intermedio	Dominado	MMP	MMS	Total vivos	Total muertos
5	0	3	86	26	0	3	115	3
10	0	35	10	10	61	0	54	61
15	0	42	38	19	61	0	99	61
20	3	160	29	3	93	48	195	140
25	0	182	16	6	35	10	204	45
30	10	147	0	3	3	0	160	3
35	32	64	0	0	0	0	96	0
40	13	13	0	0	3	0	26	3
45	6	3	0	0	0	0	10	0
Total	64	645	93	42	255	58	843	313

En la Figura 40 se muestran las distribuciones diamétricas de la densidad, área basimétrica y volumen en el rodal de Lert.:



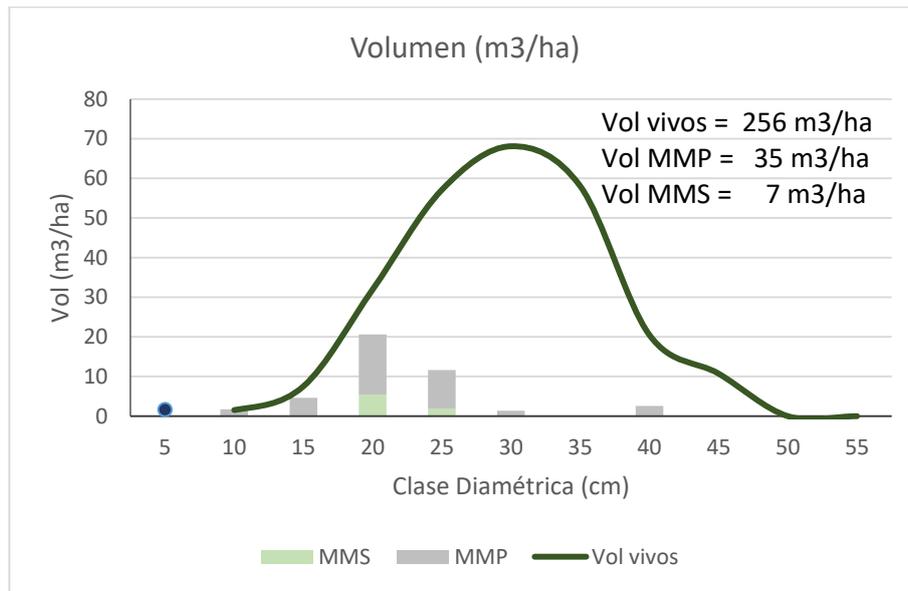


Figura 40. Distribuciones diamétricas de densidad, área basimétrica y volumen en el rodal de Lert..

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, fruto de la fuerte competencia intraespecífica del pinar, que provoca que los pies dominados vayan muriendo por competencia. Esta dinámica se observa muy bien en la curva de distribución diamétrica, que tiene un patrón muy similar en los pies vivos y muertos pero desplazado a una clase diamétrica inferior en los muertos. Por otra parte, no se han inventariado pies de grandes dimensiones, siendo el diámetro máximo inventariado de 45 cm. En cuanto al regenerado, sí que se observan pies menores, ubicados habitualmente en pequeños claros surgidos tras perturbaciones puntuales que afectan a una pequeña superficie.

3.2.3 Caracterización de elementos de interés

Tal y como se ha explicado en el apartado de metodología, se han inventariado las especies arbustivas de interés, los árboles posadero, los pies muy gruesos y la madera muerta gruesa tanto en pie como en suelo. En la siguiente tabla se indican los resultados.

Tabla 23. Número de hormigueros y árboles posaderos por parcela.

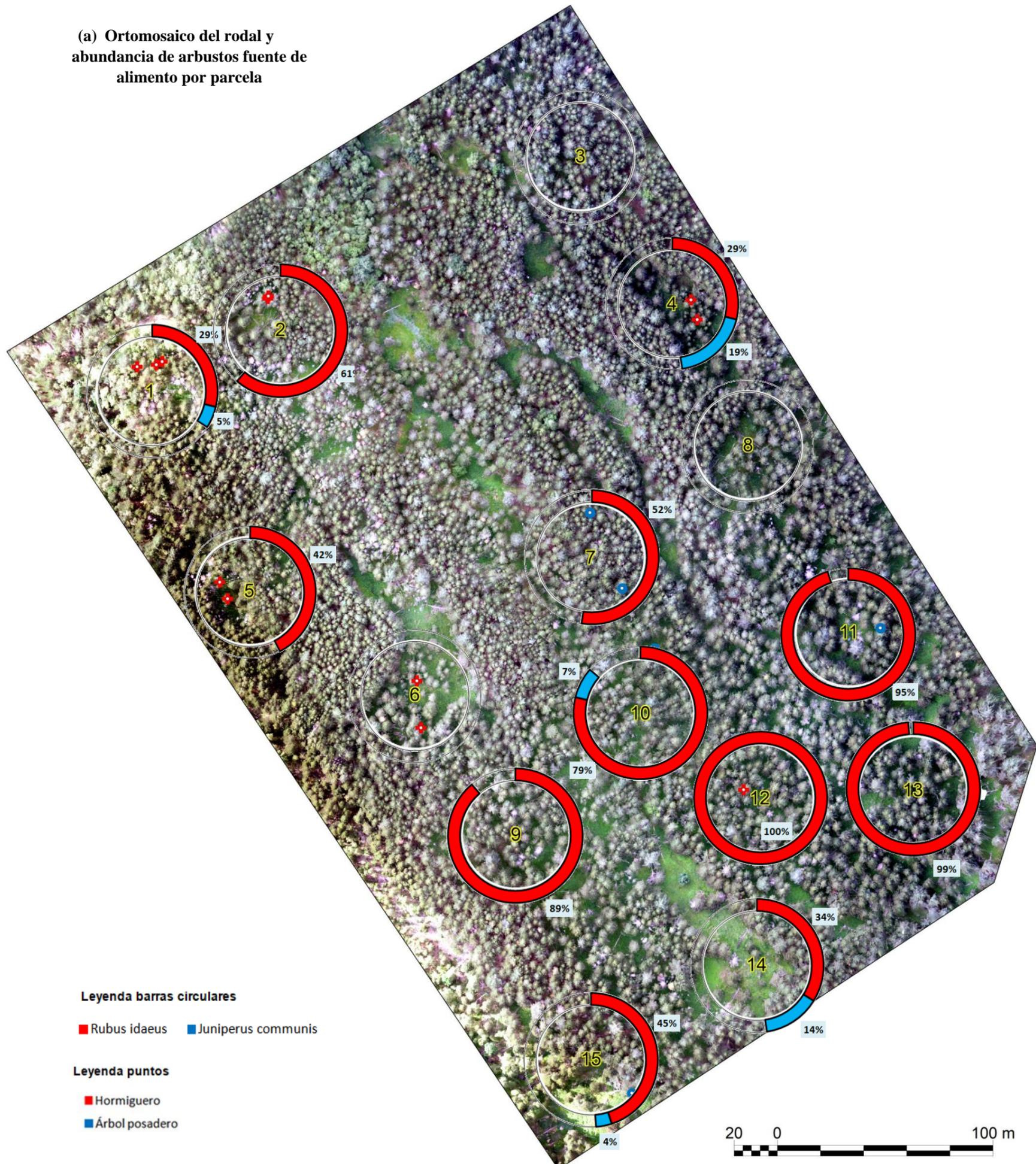
Parcela	<i>Juniperus communis</i>		<i>Rubus idaeus</i>		Hormiguero	Árbol posadero	Pies muy gruesos	Madera muerta gruesa pie	Madera muerta gruesa suelo
	m ²	%	m ²	%	Ud/ha	Pies/ha			
1	103	5,3	565	28,8	15	10	0	0	0
2	0	0	1.203	61,3	10	5	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	368	18,8	565	28,8	10	5	0	0	0
5	0	0	834	42,5	10	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1.031	52,5	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1.743	88,8	0	5	0	0	0
10	147	7,5	1.546	78,8	10	0	0	0	0
11	0	0	1.865	95	0	0	0	0	0
12	0	0	1.963	100	5	0	0	0	0
13	0	0	1.939	98,8	0	0	0	0	0
14	270	13,8	663	33,8	0	0	0	0	0
15	74	3,8	884	45	0	0	0	0	0
Valor medio		3,27		50,25	4	2	0	0	0

Las dos especies arbustivas de interés presentes en el rodal de Lert. han sido *Rubus idaeus* y *Juniperus communis*. La más abundante ha sido la primera, con un recubrimiento medio del 50,25% de la superficie, mientras que el recubrimiento del rodal del enebro ha sido del 3,27%. 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 este matorral.

Se han inventariado en el rodal de Lert. un total de 12 hormigueros y 5 árboles con estructuras propicias como posaderos. Extrapolando a todo el rodal la densidad de estos elementos es de 4 hormigueros/ha y de 2 árboles posadero/ha.

En cuanto a la madera muerta gruesa (diámetro normal superior a 37,5 cm) no se ha localizado ningún pie a lo largo del inventario de campo, ni en suelo ni en pie. Tampoco se han localizado pies vivos muy gruesos (diámetro normal superior a los 57,5 cm).

(a) Ortomosaico del rodal y abundancia de arbustos fuente de alimento por parcela



(b) Densidad de hormigueros, árboles posadero, árboles muy gruesos, madera muerta gruesa en pie y en el suelo

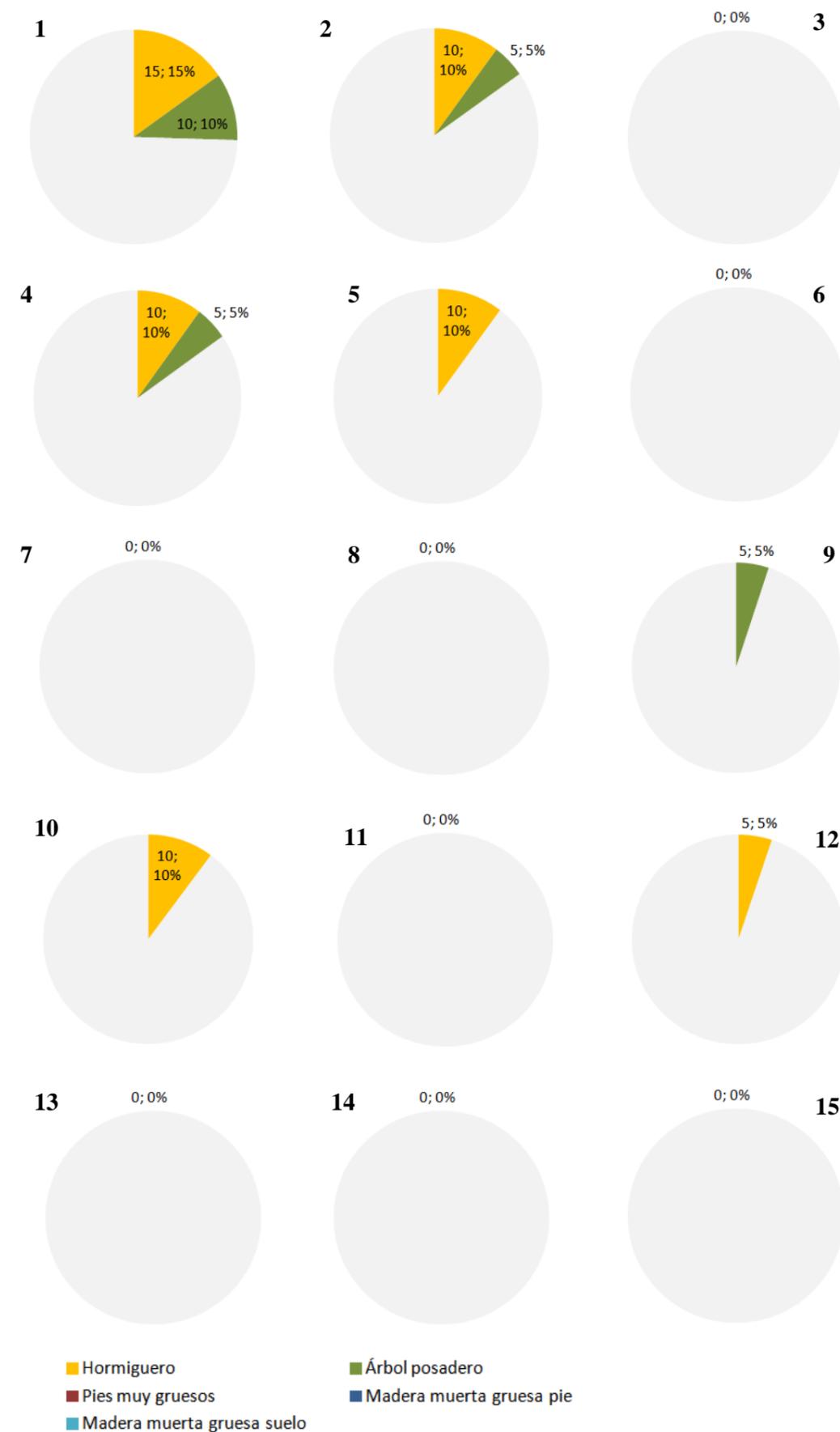


Figura 41. (a) Ortomosaico del rodal y abundancia de elementos de interés por parcela. Las barras circulares indican la cobertura de arbustos (en %) en función de la especie y los puntos la localización de hormigueros, pies muy gruesos y árboles posadero y (b) Densidad (ud/ha) de hormigueros, árboles posadero, árboles muy gruesos, madera muerta gruesa en pie y en el suelo. El círculo completo indica 100 ud/ha.

3.2.4 Caracterización de la capacidad de transitabilidad-ocultación mediante datos LiDAR terrestre

A partir de post-proceso de los datos LiDAR terrestres se ha evaluado la complejidad estructural de cada una de las parcelas muestreadas con el fin de obtener una variable que permita caracterizar el nivel de transitabilidad y capacidad de refugio que ofrece la masa forestal existente para el urogallo. En la tabla 24 se muestran los resultados cuantitativos obtenidos.

Tabla 24. Resultados del coste de transitabilidad, grado de ocultación y evaluación general de la relación transitabilidad-ocultación para cada parcela

Parcela	Zona de coste a la transitabilidad (m ²)			Zona de ocultación (m ²)	Superficie total (m ²)	Evaluación (%)		
	Baja	Media	Alta	Alto		Trans. alta	Trans. total	Ocultación/Refugio
1	105	1689	2293	1017	5103	3	80	20
2	75	1544	2861	624	5103	2	88	12
3	100	1589	2997	417	5103	2	92	8
4	240	1235	1097	2532	5103	9	50	50
5	153	1818	2576	556	5103	3	89	11
6	217	1944	1582	1361	5103	6	73	27
7	62	1131	2717	1194	5103	2	77	23
8	199	1907	2597	400	5103	4	92	8
9	70	1385	3020	628	5103	2	88	12
10	143	1780	2821	359	5103	3	93	7
11	180	1454	2676	796	5103	4	84	16
12	142	1665	2959	337	5103	3	93	7
13	99	1656	2735	613	5103	2	88	12
14	385	1589	1592	1544	5103	11	70	30
15	257	1928	1865	1054	5103	6	79	21
					Promedio	4	82	18
					Q1	2	78	10
					Q3	5	90	22
					Q3-Q1	3	12	12
					Min	2	50	7
					Max	11	93	50
					Mediana	3	88	12

Para una menor interpretación de los valores en la figura 43 se muestra gráficamente los resultados de los valores de evaluación en relación a la transitabilidad total, la ocultación y la transitabilidad efectiva para cada una de las parcelas analizadas.

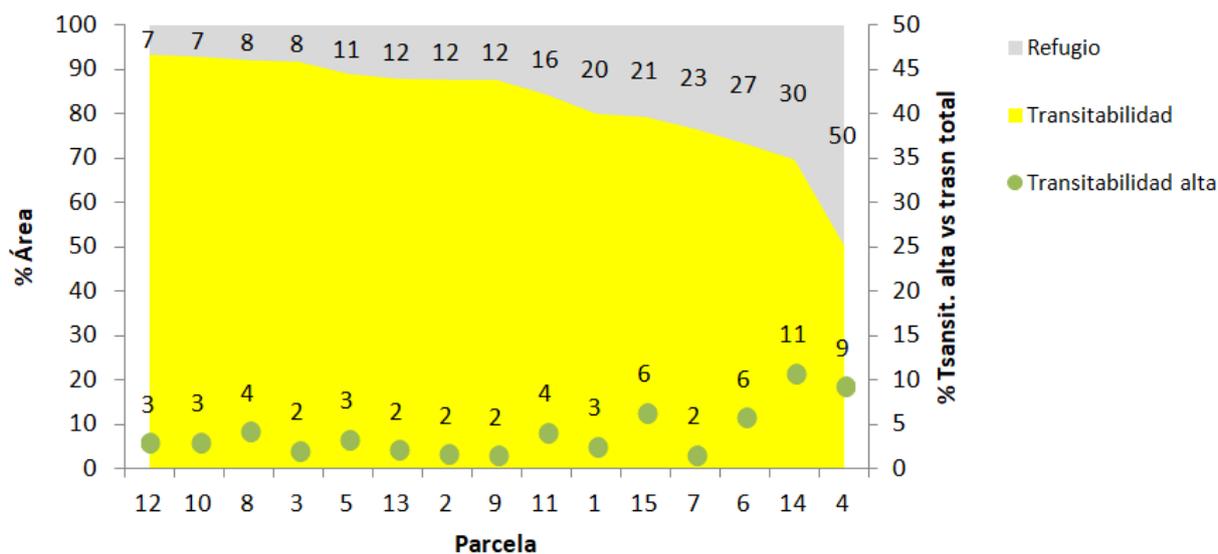
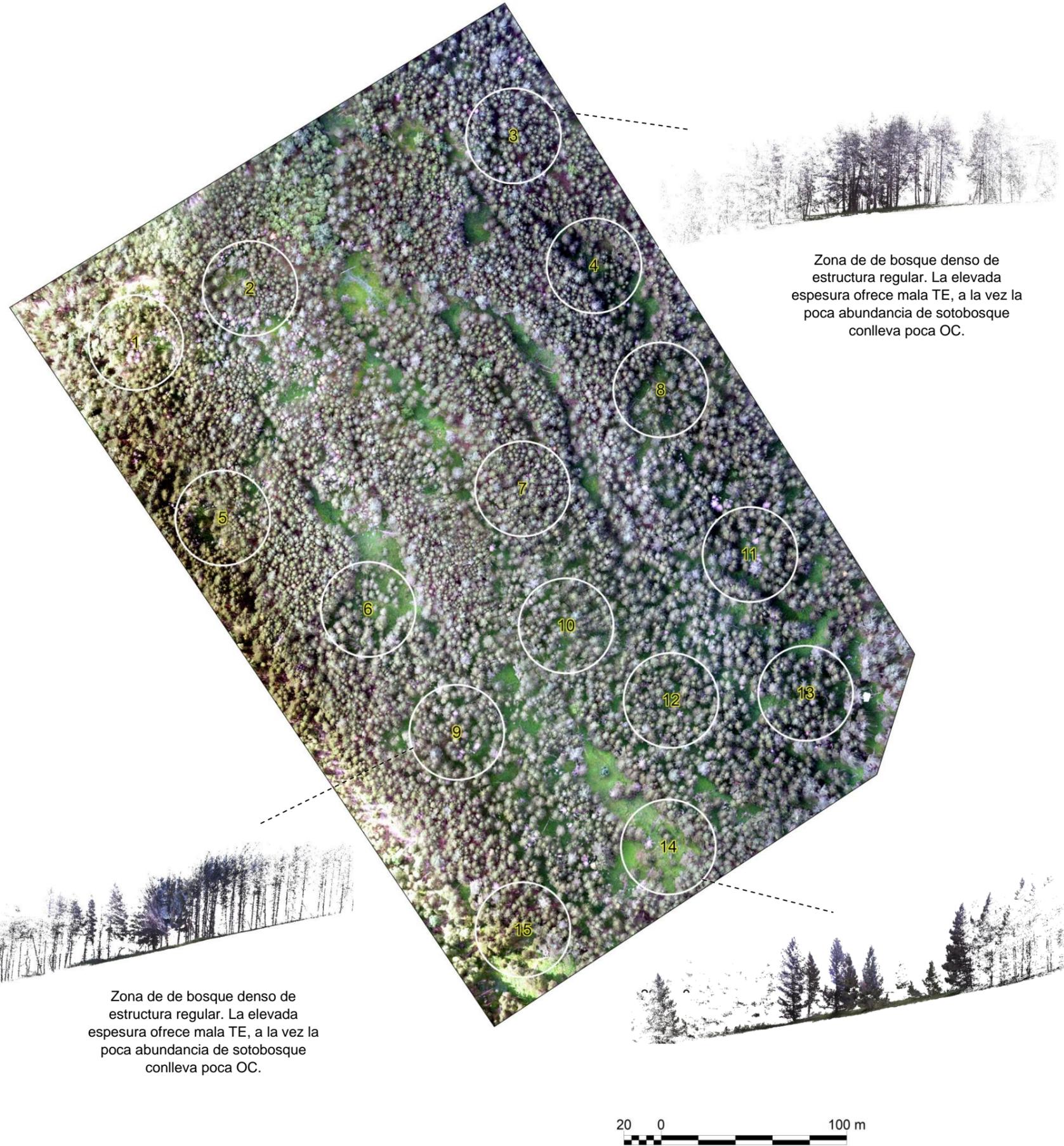


Figura 43. Evaluación general de la relación transitabilidad total-ocultación (áreas coloreadas/eje derecho) para cada parcela y indicación de la transitabilidad efectiva (puntos/eje izquierdo). Ejemplo. La parcela 15 tiene un 21 % del área que ofrece ocultación, un 79% del área que ofrece transitabilidad de la cual un 6% del área transitable se considera muy efectiva (coste bajo a la transitabilidad). El eje horizontal (parcelas) está ordenado en orden de mayor a menor transitabilidad total.

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 Q3=90%) y por tanto, las de menor ocultación son la 12, 10, 8 y 3. A pesar de ello se observa que la transitabilidad efectiva en dichas parcelas es reducida (por debajo del 5% de la superficie transitable). Solo dos 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 de parcelas. Estas parcelas son las que presentan un patrón de distribución de las variables de transitabilidad y ocultación heterogénea (no radial) propia de masa irregular y baja fracción de cabida cubierta, justamente 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 fracción de cabida cubierta elevado.

Para comprender mejor los valores descritos en la figura xx se muestran los mapas de penetrabilidad para cada parcela que expresan gráficamente las variables de ocultación, transitabilidad total y transiabilidad efectiva (bajo coste a la transitabilidad).

(b) Ortomosaico del rodal y localización de las parcelas



(b) Mapas de nivel de transitabilidad y ocultación de cada parcela

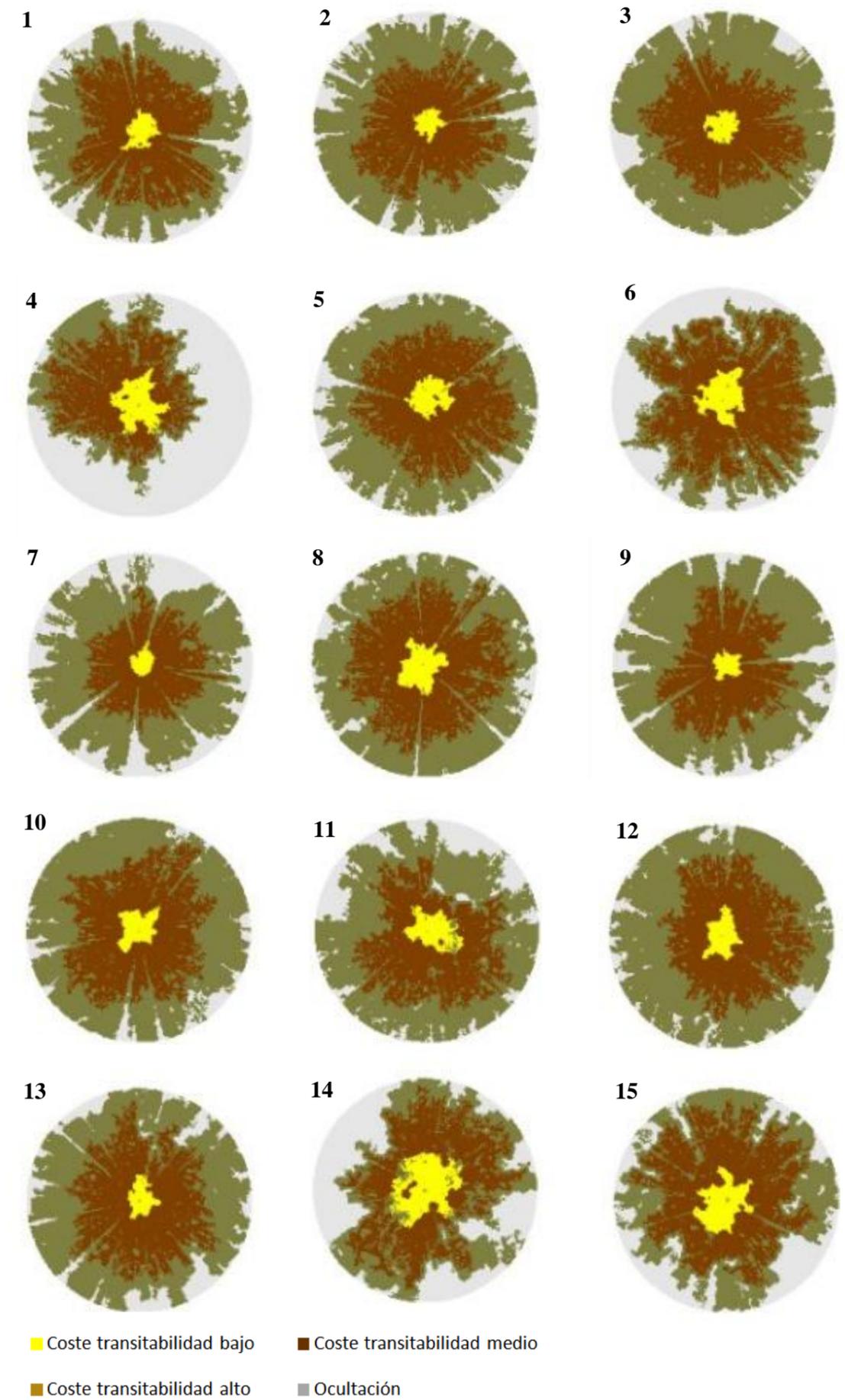


Figura 44. (a) Ortomosaico con indicación de la localización de las parcelas y de perfiles de las nubes de puntos 3D obtenidos del T- LiDAR para las parcelas 3, 9 y 14. TE: Transitabilidad efectiva/OC: Ocultación (b) Mapas de transitabilidad vs. Ocultación para cada parcela analizada.

TÍTULO IV: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

A partir de toda la información obtenida, a continuación se realiza un análisis comparativo de los dos rodales y una discusión de los resultados, organizados en tres secciones: caracterización dasométrica, abundancia de elementos de interés y caracterización del grado de transitabilidad y ocultación del hábitat.

4.1. Caracterización dasométrica

En la figura 45 se muestra para cada rodal la comparativa de los resultados obtenidos en cuanto a fracción de cabida cubierta del dosel, la estructura arbolada y la abundancia de madera muerta en el suelo.

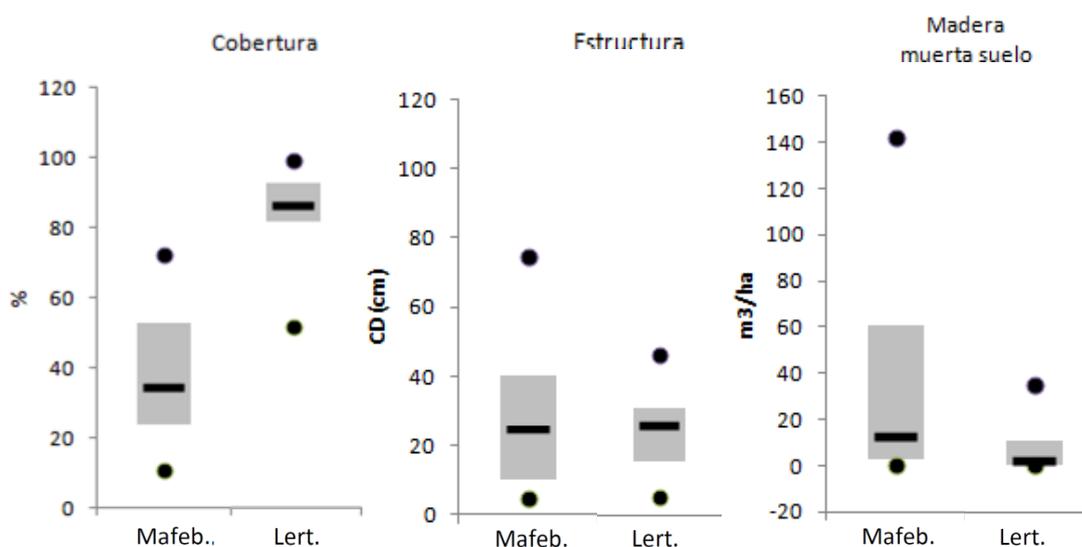


Figura 45. Comparativa de los resultados obtenidos en ambos rodales en cuanto a grado de cobertura del dosel, estructura dimensional del arbolado y abundancia de madera muerta en el suelo.

Los valores de fracción de cabida cubierta (FCC) para los dos rodales son significativamente distintos. En el rodal de Mafeb. se desarrollan estructuras muy variadas en cuanto a cobertura (con un rango intercuartil de 29 puntos porcentuales) y generalmente poco espesas, con valores típicos de FCC entre el 24% (Q1) y el 53% (Q3) existiendo algunos sectores en que la FCC pueda llegar a alcanzar valores alrededor del 72% (valor máximo). Según las referencias de distintos autores (Canut, et al., 2011, Storch 1993) todas las exigencias del urogallo (en cuanto a cobertura arbolada) pueden verse satisfechas con una cobertura del dosel de entre el 30 y el 70% por lo que la fracción existente en el rodal podría considerarse como óptima.

Por contra el rodal de Lert. se caracteriza por disponer un dosel arbolado mucho más cerrado, con valores típicos de FCC entre el 82% (Q1) y el 93% (Q3) y a la vez, más homogéneo que el existente en Mafeb.. Según Canut et al. (2011) los urogallos evitan totalmente el uso de las áreas forestales con una cobertura superior al 75% por lo que los valores registrados en Lert. no se considerarían adecuados. Los pocos claros existentes suelen corresponderse, bien con zonas de turbera donde la repoblación ha fracasado por las condiciones edáficas, o bien por la existencia de algunos focos de patógenos (posiblemente escolítidos) generando pequeños huecos en el dosel.

En cuanto a la estructura arbolada puede observarse que el rodal de Mafeb. presenta una diversidad dimensional de arbolado mucho más elevada que el rodal de Lert. (Mafeb. Q1=10 cm y Q3=40 cm con presencia de pies excepcionales de hasta 75 cm de diámetro y Lert. Q1=15 cm y Q3=30 cm, en que los pies de mayor dimensión no superan los 45 cm de diámetro) así como un patrón de distribución muy distinto (estructura irregular en Mafeb. y estructura coetánea en Lert.).

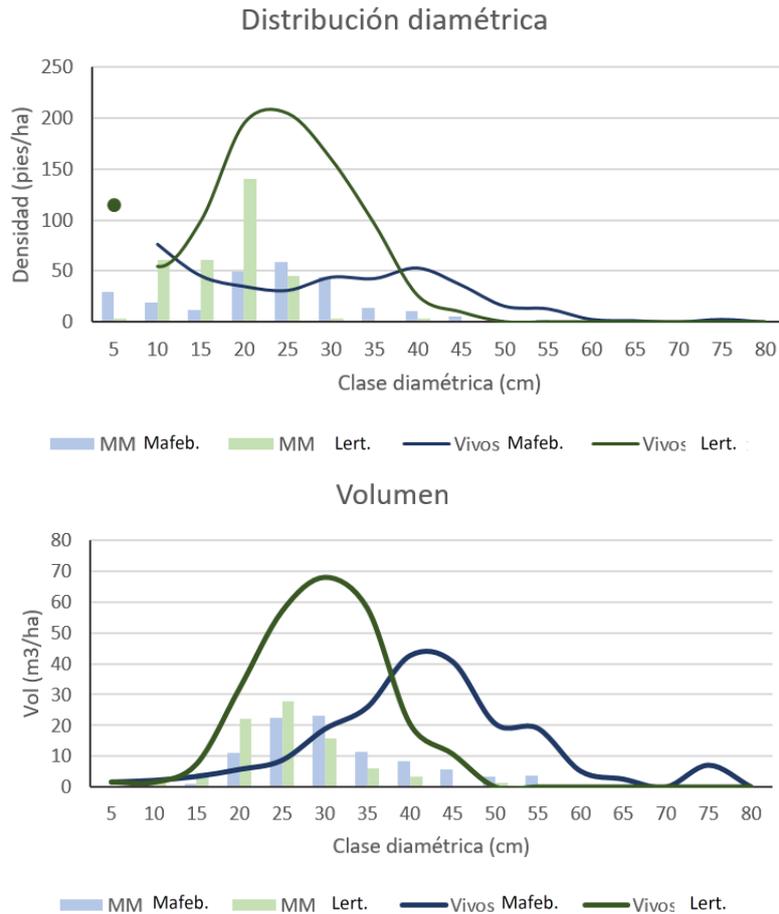


Figura 45. Comparación de las distribuciones diamétricas de los pies vivos y madera muerta (en pies/ha y volumen) de los rodales de Mafeb. y Lert..

La distribución diamétrica observada en Mafeb. tiene forma de J invertida típica de masa irregular, aun con la particularidad de presentar una densidad de arbolada reducida (con una densidad media alrededor de los 400 pies/ha). Este tipo de estructuras de bosque (con doseles abiertos y baja densidad de árboles) son propias en el piso subalpino de los pirineos influenciadas por procesos naturales de desestabilización que condicionan la dinámica del bosque (como nevadas, aludes y ventadas). En el caso del rodal de Mafeb. se observa una estructura afectada por algún tipo de perturbación la cual produjo una reducción drástica del dosel arbolado y una importante acumulación de madera muerta tanto en pie como en el suelo. Este tipo de 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 en el macizo de Gar-Cagire (Haute-Garonne, Francia) en que una tormenta en el año 1980 creó claros en el macizo y poco después se incrementó la presencia de machos cantores de urogallo que antes no existían (Ménoni, datos no publicados).

Los resultados muestran una elevada presencia de madera muerta, de dimensiones muy variadas y con un patrón de distribución muy heterogéneo. En el 50% de las parcelas muestreadas los valores de volumen son inferiores a 12 m³/ha, aunque existen sectores que las acumulaciones son muy superiores (Q3= 61 m³/ha hasta alcanzar algún valor máximo de 142 m³/ha). Estos valores se reflejan 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 el suelo formando agregados. Una particularidad es que la mayoría de la madera muerta existente 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 algún ataque de patógenos (posiblemente

escolítidos favorecidos por la abundancia 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 comúnmente 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 las bases de los árboles en que los urogallos encuentran numerosos 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 en pie y en suelo.

Respecto al rodal de 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). Así mismo, presenta una densidad de arbolado elevada (densidad media de 843 pies/ha) y una distribución espacial muy homogénea. Este tipo de estructuras tan cerradas no son adecuadas para el urogallo ya que no permite alzar el vuelo rápido de esta ave tan pesada (Canut, 2001).

La madera muerta presente en este rodal considerado como subóptimo se debe en su mayor parte a fenómenos de competencia intraespecífica que hace que los árboles dominados del dosel vayan muriendo. Así lo muestra la curva de distribución 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. A pesar de que buena parte de la madera muerta contabilizada en este rodal se atribuye a factores de competencia por exclusión de fustes (y por tanto a pies de pequeñas dimensiones-CD 10 y 15), en algunos sectores, formando agregados, se observan pies muertos de mayores dimensiones (CD 20-25) consecuencia de perturbaciones naturales que han conducido a la generación de aperturas del dosel. Estos procesos de dinámica natural aportan diversidad estructural en una masa muy homogénea por lo que se pueden considerar interesantes de cara a la mejora de las condiciones de hábitat para el urogallo.

4.2. Elementos de interés

En la figura 46 se muestra para cada rodal la comparativa de los resultados obtenidos en cuanto a abundancia de árboles posadero, cobertura arbustiva fuente de alimento y presencia de hormigueros.

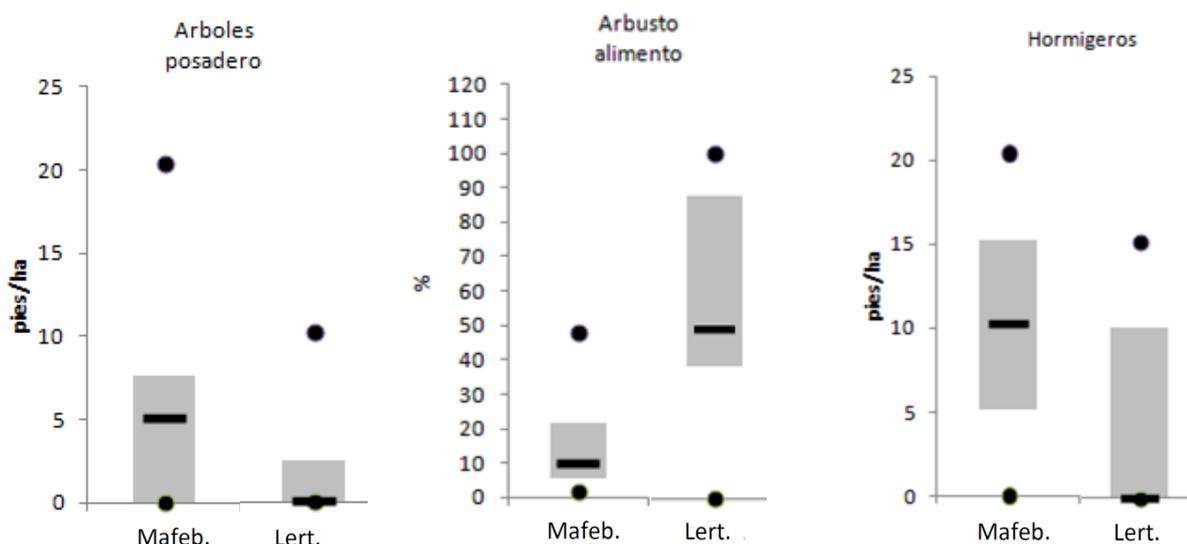


Figura 46. Comparativa de los resultados obtenidos en ambos rodales en cuanto a árboles posadero, cobertura arbustiva fuente de alimento y presencia de hormigueros

En cuanto a los árboles posadero son mucho más abundantes en Mafeb. (con una media de 5 pies/ha y la existencia en algunos sectores de hasta 21 pies/ha). 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 de Lert., existen pocos árboles posadero (con una media de 2 pies/ha y la existencia en algunos sectores de hasta 11 pies/ha). La elevada densidad de arbolado no permite el crecimiento de ramas laterales gruesas sobre todo por la elevada autopoda propia de estas estructuras de masa.

La presencia de arbustos es uno de los elementos clave indicadores de la calidad del hábitat para el urogallo, ya que ofrecen fuente de 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 especies herbáceas (e.g. Canut et al., 2011). El arándano es la formación más rica en términos de recursos tróficos (Olmo, 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 de Mafeb. existe una alternancia espacial de cobertura arbustiva adecuada tanto en abundancia como en composición. La especie arbustiva con mayor presencia ha sido el arándano, seguida de la frambuesa, existiendo también otras especies como el rododendro (que no ha sido evaluada en el trabajo de campo a pesar de su interés). 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 en que existen coberturas entre el 18% y el 48%). El derribo de los árboles y la muerte de parte de la masa remanente ha 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 enormemente 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 al rodal de 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 un recubrimiento por encima del 80% y en ocasiones alturas considerables (por encima de 1 metro de altura). La aparición de 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 la visibilidad y la comonda transitabilidad para la especie (Storch 1993; Storch 1995).

Por otro lado, la cobertura media de arándano, especie a priori más determinante para el urogallo que la frambuesa, ha sido prácticamente inexistente en el rodal de estudio, si bien fuera de los límites del mismo si se han observado zonas con una presencia considerable de arándano. En este sentido Storch (1995b) indica que las hojas, tallos y frutos de arándano son el alimento principal de los urogallos durante el final del verano y el otoño, y la vinculación entre el ave y este arbusto es especialmente significativa en el periodo de cría de los pollos. Parece ser que es clave para que las hembras consigan una buena condición física para la puesta de sus huevos y es, además, donde están las orugas e invertebrados para que los pollos crezcan y salgan adelante. 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 analizado 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 viene a solventar en parte esta carencia. El problema puede estar en el desarrollo de mayor envergadura del frambueso que da lugar a estructuras demasiado cerradas para el urogallo, aspecto que no se da con las arandaneras. Esta cuestión es muy importante, por lo que la fracción de cubierta del arbolado no tiene solo influencia en la existencia o no de matas de arbustos sino en su fructificación. En este sentido se ha comprobado en Noruega una relación directa entre los ciclos de producción de arándanos y los ciclos de abundancia de los urogallos (Selas, 2000).

En cuanto a los hormigueros, han sido más abundantes y se han distribuido de una manera más uniforme en Mafeb., donde se han localizado en 14 de las 15 parcelas de inventario. 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 Lert. también se han localizado hormigueros, estos son menos abundantes que en Mafeb. (se han localizado hormigueros en 6 de las 15 parcelas).

4.3. Niveles de transitabilidad y ocultación

En la figura 47 se muestra para cada rodal la comparativa de los resultados obtenidos en cuanto a la evaluación de la transitabilidad efectiva y grado de ocultación que ofrece la estructura forestal.

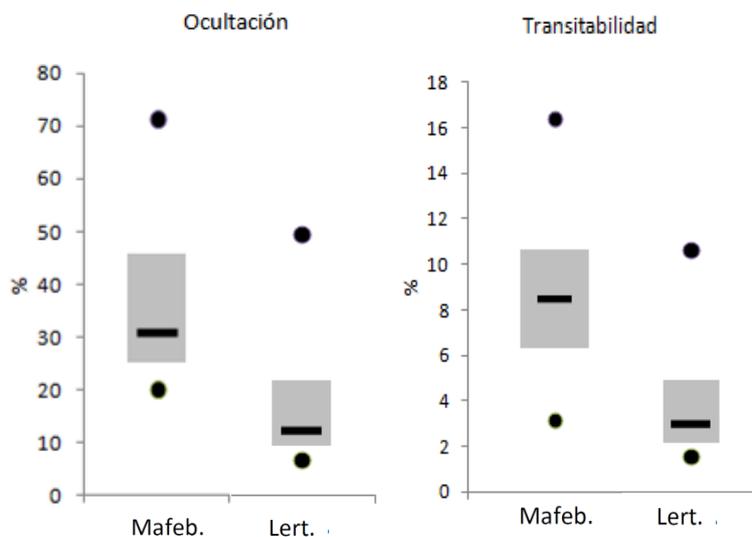


Figura 47. Comparativa de los resultados obtenidos en ambos rodales en cuanto a la evaluación de la transitabilidad efectiva y grado de ocultación que ofrece la estructura forestal

Tal y como se ha apuntado anteriormente el rodal de 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. Tal y como se observa en los resultados del análisis LiDAR estas condiciones se traducen en unos valores elevados tanto en transitabilidad efectiva como en ocultación. Por un lado, la no excesiva cobertura y densidad del arbolado permiten que el bosque disponga una buena transtabilidad lo que se traduce con mayores oportunidades tanto en desplazamiento por el suelo como en el vuelo. Estas condiciones permiten que el ave disponga de numerosos espacios, bien para el cortejo o bien para la escapatoria en caso de ataque de depredadores. Por otro lado, la abundante presencia 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 ya que estos elementos son útiles para cobijar no solo a los ejemplares adultos sino también a las crías de urogallo. 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 durante sus trayectorias.

Respecto al rodal de 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, etc. Tal y como se observa en los resultados del análisis LiDAR estas condiciones se traducen con unos valores reducidos tanto en transitabilidad efectiva como en ocultación. 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 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. Un aspecto destacable es que 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 seguidos de ataques posiblemente de escolítidos. En estos sitios los valores de transitabilidad y ocultación mejoran respecto al resto de superficie lo que remarca la importancia de necesidad de preservar este tipo de ambientes en el marco de la gestión del rodal.

En la gran obra recientemente aparecida sobre el urogallo (Leclercq y Ménoni, 2018), se resaltan precisamente importancia de todos 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 este ave. En definitiva dicho libro viene a corroborar la trascendencia de la estructura del bosque para mantener la capacidad de acogida del hábitat y en definitiva en la supervivencia de una especie que en los últimos tiempos está viendo declinar fuertemente su población, en buena parte debido a unos 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.

TÍTULO V: RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN Y CARTOGRAFIA DE APOYO PARA LA MEJORA DEL HABITAT EN LERT.

Según las recomendaciones de distintos autores 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, entendiendo como tales aquellas en las que se reproduce e hiberna la especie (Camió et al., 2011). En este contexto, el rodal de Lert., considerado como subóptimo y 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 que ya se han realizado distintos tratamientos silvícolas y en el que, según los resultados obtenidos, se aconseja continuar con una gestión orientada a la conservación de la especie.

En este contexto, el objetivo de este apartado es proporcionar una serie de recomendaciones para la gestión y establecer una base metodológica para diseñar actuaciones de mejora del hábitat en este entorno. 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.

5.1. Situación actual del rodal de Lert.

Tal y como se apunta en apartados anteriores el rodal de Lert., aún estando ubicado en un área de elevado potencial ecológico para la especie, presenta unas características estructurales que por lo general no son apropiadas como hábitat para el urogallo, ya que:

- Se trata de una masa con una densidad de arbolado muy alta, con una FCC muy elevada y homogénea.
- Exceptuando pequeños enclaves, los estratos herbáceo y arbustivo son escasos y prácticamente no hay áreas de ecotono que intercalen zonas abiertas con áreas de bosque.
- Existe una alta monoespecificidad y coetaniedad del dosel arbolado conformado por una única especie (el pino negro), la inexistencia de arbolado de grandes dimensiones y escasez de madera muerta gruesa.

Estas características son propias de masas forestales que proceden de repoblación artificial y se ejemplifican en muchas zonas del pirineo generando bosques secundarios en gran parte muy densos y con una diversidad específica y estructural muy pobre (Camió et al., 2011).

A pesar de estas deficiencias estructurales, y a partir de los resultados obtenidos, el rodal de Lert. presenta actualmente algunos elementos estructurales que si pueden considerarse de interés, como:

- Existencia de varias zonas de turbera que ofrecen nicho a especies de fauna y flora minoritarias, con estratos herbáceos y arbustivos más o menos abundantes.
- Existencia de procesos de dinámica natural a modo de perturbaciones menores que favorecen la heterogeneidad del dosel: pequeñas zonas abiertas y presencia de árboles muertos de cierto calibre formando agregados.
- Cierta abundancia de hormigueros.
- Presencia de cursos de agua superficial.

5.2. Recomendaciones para la gestión

Se considera que la gestión de esta masa debería 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 microrodales 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. Se trata de un modelo que pretende una gestión forestal más próxima al desarrollo natural de los bosques y que se diseña en base a un análisis exhaustivo y preciso de las condiciones actuales y a partir del cual se planifican actuaciones muy calibradas en base a los objetivos perseguidos. Este modelo se fundamenta en base a la aplicación de dos principios fundamentales:

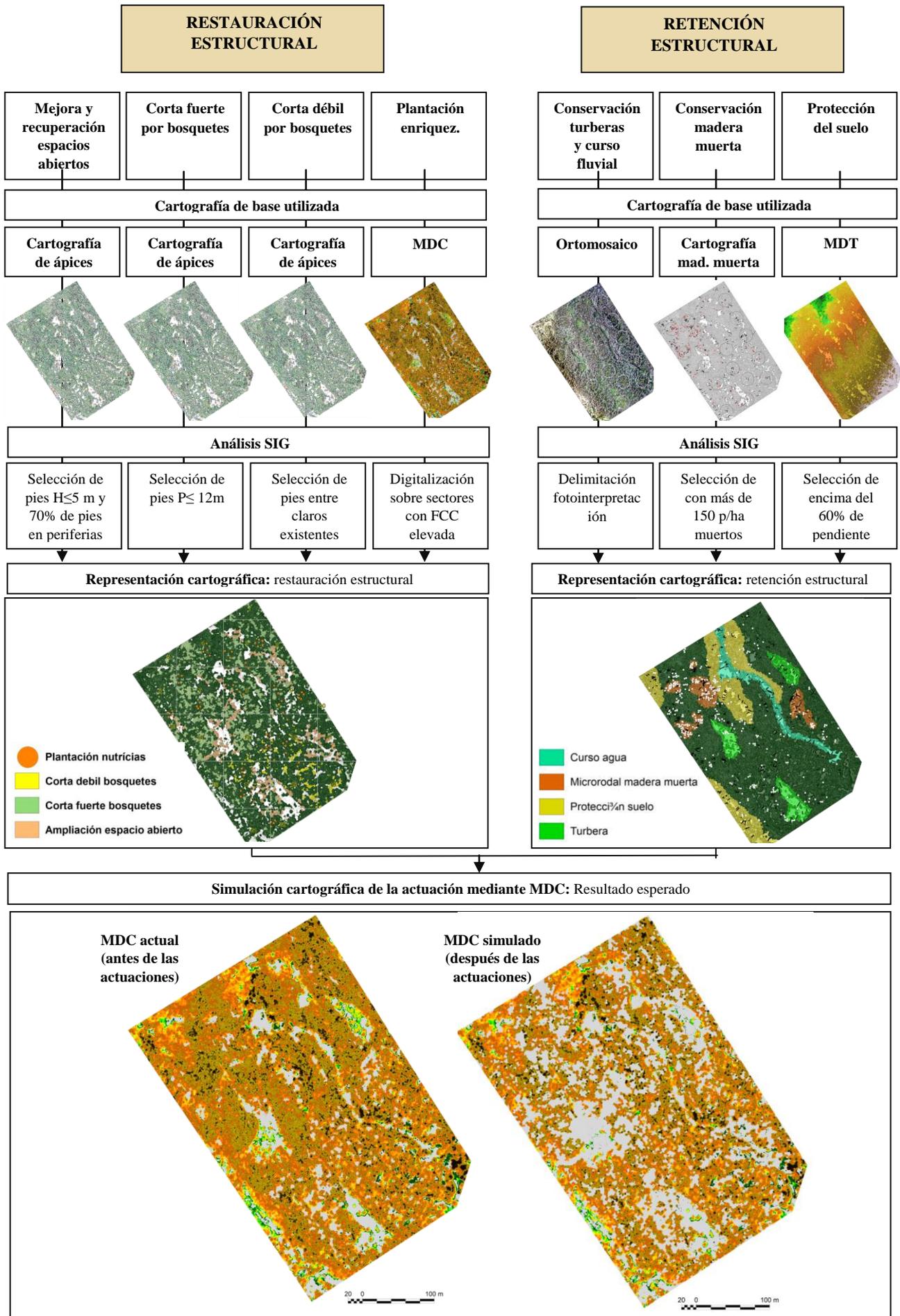
- **Restauración estructural:** Se trata de medidas de carácter proactivo a través de la aplicación de técnicas silvícolas que buscan incrementar la complejidad estructural de la masa con especial atención a la promoción de elementos clave y estructuras objetivo.
- **Retención estructural:** Se trata 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, la madurez forestal,...

5.3. Propuesta de análisis SIG multicriterio para el diseño de una actuación piloto

En base a las recomendaciones antes citadas, a continuación se propone una metodología que podría ser utilizada para el diseño de tratamientos silvícolas de precisión orientados a mejorar el hábitat del urogallo en el rodal de Lert.. Esta metodología se fundamenta en la realización de un análisis SIG multicriterio que permita en base a las condiciones estructurales actuales, zonificar y cuantificar de una forma semi automatizada los distintos tratamientos silvícolas, pudiendo incluso simular el resultado final de la actuación planificada. La idea sería la siguiente:

- Definir objetivos (en base a las recomendaciones antes citadas) que puedan ser traducidos a actuaciones concretas de restauración estructural (apertura y mantenimiento de espacios abiertos, claras para la reducción y heterogeneización de la FCC, enriquecimiento de especies, etc) y a condicionantes de retención estructural (conservación de turberas, microrodales con elementos de interés, protección del suelo, etc.)
- Definir parámetros de las actuaciones (áreas mínimas y máximas de espacios abiertos, régimen de reducción de FCC, tipos de especies para el enriquecimiento y criterios de localización y distribución, etc). Para la definición de estos parámetros puede tomarse como referencia los existentes en rodales óptimos como el de Mafeb.
- Introducir las variables estructurales actuales de la masa (obtenidas en la fase de caracterización realizada)
- En base a los dos puntos anteriores analizar con el SIG las zonas óptimas donde aplicar las actuaciones.
- Obtener una cartografía de apoyo que identifique y zonifique las actuaciones de restauración estructural y los condicionantes de retención estructural.
- Generar una simulación del resultado final de la masa.

En la siguiente figura 48 se esquematiza el proceso de análisis



TÍTULO VI: CONCLUSIONES

En cuanto al planteamiento general del trabajo y el proceso metodológico empleado puede concluirse que:

- El objetivo de este trabajo ha sido realizar un análisis estructural en dos rodales forestales, uno considerado como óptimo para el urogallo (Mafeb.) y otro considerado como subóptimo (Lert.). El análisis ha prestado especial atención a los elementos que se consideran clave para la especie, concretamente: fracción de cabida cubierta, estructura del arbolado, abundancia y tipología de comunidades arbustivas, presencia de madera muerta, transitabilidad y ocultación que ofrece la estructura forestal, así como otros elementos puntuales como abundancia de árboles posadero y hormigueros.
- Para realizar el análisis estructural ha sido de gran utilidad la obtención de datos remotos mediante dron y LiDAR terrestre, combinados con los datos obtenidos en las prospecciones de campo. Los resultados muestran que 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, que se limitan a la obtención de variables de forma discreta.
- Una de las particularidades del trabajo ha sido la integración del laser escáner terrestre como herramienta para medir la complejidad estructural del bosque y como 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, pudiendo comparar y evaluar cuantitativamente las estructuras entre sí de forma objetiva.
- El análisis LiDAR realizado en el presente trabajo no ha abordado un análisis de complejidad que distinga en función de los distintos estratos verticales del bosque por lo que una importante tarea de investigación futura podría ir encaminada en este sentido. Otro planteamiento interesante podría ser la realización de escaneos completos de las parcelas a muestrear (bien mediante alineación de escaneos individuales o utilizando estaciones LiDAR cinemáticas) que aún dificultar la obtención de datos y su post proceso, permitiría obtener una mayor potencialidad de los datos obtenidos.

En cuanto a los principales resultados obtenidos en los rodales de estudio puede concluirse que:

- 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 formando bosquetes, una estructura irregular de edades, una cobertura de arbustos adecuada y una elevada presencia de madera muerta en pie y en el suelo.
- Estas condiciones se traducen en unos valores elevados tanto en transitabilidad efectiva como en ocultación que, en muchos casos, se dan instantáneamente en un mismo lugar. Este hecho permite que el ave puede gozar de un entorno que ofrece, a la vez, un tránsito ágil para el cortejo y una buena capacidad de ocultación durante sus trayectorias evitando el ataque de depredadores.
- El rodal de Lert. presenta unas características estructurales que, por lo general, no son apropiadas como hábitat 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 y prácticamente no hay áreas de ecotono que intercalen zonas abiertas con áreas de bosque. A la vez,

existe una alta monoespecificidad y coetaniedad del dosel arbolado, la inexistencia de arbolado de grandes dimensiones y escasez de madera muerta gruesa.

- Estas condiciones se traducen en unos valores bajos tanto en transitabilidad efectiva como en ocultación, lo que se traduce en menores oportunidades de desplazamiento necesarias para el cortejo y de refugio o escapatoria en caso de ataque de depredadores.
- A pesar de esto el rodal presenta algunos elementos estructurales de interés, como la existencia de varias zonas de turbera, la existencia de procesos de dinámica natural que favorecen la heterogeneidad del dosel, cierta abundancia de hormigueros y algunos cursos de agua superficial. 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, el 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 el marco de futuros trabajos de planificación y gestión forestal de estos rodales.

TÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA

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.* 2014, 194, 230-240.

CRAWFORD, C., DURÍ, K., CHANG, J. (2015) Classify, optimize, manage and analyze lidar data, model a sky map of sun positions, and process TIN and 3D features with sample tools from Esri's 3D Analysis team. Geoprocessing Sample de 3DGISTeam. Application
web <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=fe221371b77940749ff96e90f2de3d10>

POLLO, C., ROBLES, L., BALLESTEROS, F. & OBESO, J.R. (2005). El hábitat del urogallo en la cordillera cantábrica. En: BALLESTEROS & ROBLES (2005). *Manual de conservación y manejo del hábitat del urogallo cantábrico*. Serie manuales de gestión de especies amenazadas. Ministerio de Medio Ambiente.

LECLERCQ, B. & MÉNONI, E. (2018). *Le Grand tetras*. Biotope, Méze. 352 p.

SELAS, V. (1995b). Population dynamics of capercaillie *Tetrao urogallus* in relation to bilberry *Vaccinium myrtillus* production in southern Norway. *Wildlife Biology*, 6(1): 1-11.

STORCH, I. (1995b). The role of bilberry in central European capercaillie habitats. *Proc. Int. Symp. Grouse*, 6: 116-120.

STORCH, I. (1995). Habitat requirements of the capercaillie. *Pro. Int. Symp. Grouse*, 6: 151-154.

STORCH, I. (2002). On Spatial Resolution in Habitat Models Can Small-scale Forest Structure Explain Capercaillie Numbers? *Conservation Ecology*, Vol. 6, No. 1

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.* 2006, 141, 147-160.

VILLERO, D., PLA, M., CAMPS, D., RUIZ-OLMO, J. & BROTONS, LL. (2016). Integrating species distribution modelling into decision-making to inform conservation actions. *Biodiversity and Conservation*.

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 & ROBLES (2005). *Manual de conservación y manejo del hábitat del urogallo cantábrico*. Serie manuales de gestión de especies amenazadas. Ministerio de Medio Ambiente.

STORCH, I. (1995). Habitat requirements of the capercaillie. *Pro. Int. Symp. Grouse*, 6: 151-154.

STORCH, I. (2002). On Spatial Resolution in Habitat Models Can Small-scale Forest Structure Explain Capercaillie Numbers? *Conservation Ecology*, Vol. 6, No. 1

VILLERO, D., PLA, M., CAMPS, D., RUIZ-OLMO, J. & BROTONS, LL. (2016). Integrating species distribution modelling into decision-making to inform conservation actions. *Biodiversity and Conservation*.

FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD (2012). Documento técnico para la conservación y mejora del hábitat del urogallo (*Tetrao urogallus cantabricus*) en la cordillera Cantábrica. Fundación Biodiversidad, Madrid, España. 144 páginas.

STORCH, I. (1993). Habitat selection of Capercaillie in summer and autumn: is bilberry important? *Oecologia* 95:257-265.

TÍTULO VIII:AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por el proyecto Interreg POCTEFA HABIOS y fondos propios del Gobierno de Aragón. Desde aquí queremos mostrar nuestro agradecimiento 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. Además a los técnicos de la Dirección General de Sostenibilidad del Gobierno de Aragón, especialmente Emili J. Martínez Ibars y al APN Raúl de Miguel por el acompañamiento durante alguna de las jornadas de campo. A la bióloga Olga Jordi Torres por el interés que mostró sobre el trabajo realizado y sus sugerencias recibidas durante el transcurso del mismo y 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.

Gracias a todos ellos ha sido posible la ejecución de este trabajo.

TÍTULO IX: ANEJOS

Anejo 1. Análisis de bondad de la cartografía de árboles individuales

Para validar el proceso de identificación de árboles del dosel calculados a partir de los datos remotos se realizó un análisis comparativo entre los resultados obtenidos a partir del algoritmo *Canopy Peaks* y los obtenidos en campo para las 15 parcelas levantadas en cada rodal. Se compara para cada parcela la densidad de pies/ha que resulta de la selección de los ápices que quedan en el entorno de radio utilizado para la valoración en campo, ya que se realizaron parcelas de radio variable (pies/ha UAV) con la densidad de pies/ha que resulta de todos los árboles medidos en campo (pies/ha campo). El análisis incluye el % de detección respecto a los pies medidos en campo y se realiza una regresión para las 15 parcelas para establecer la relación entre ambas fuentes de datos. En la tabla 25 se muestran los datos numéricos obtenidos para cada parcela y rodal.

Tabla 25. Comparación de pies/ha UAV con los pies/ha medidos en campo para cada parcela en que se indica el % de detección respecto a los datos de campo y el % global.

parcela	Lert.			Mafeb.		
	pies/ha UAV	pies/ha campo	%	pies/ha UAV	pies/ha campo	%
1	851	844	101	285	231	124
2	907	1429	63	479	904	53
3	912	995	92	545	1000	55
4	764	846	90	351	420	84
5	957	1364	70	601	891	67
6	550	647	85	280	377	74
7	937	1754	53	525	982	53
8	596	696	86	535	589	91
9	764	1039	74	479	895	53
10	708	982	72	489	637	77
11	540	550	98	285	438	65
12	677	573	118	306	486	63
13	682	846	81	204	138	148
14	377	237	159	382	859	44
15	596	1169	51	306	531	58
Total			86			74

Según los resultados obtenidos en el rodal de Lert. se estima que el porcentaje medio de detección (valor de precisión) está alrededor del 86%, es decir, el algoritmo *Canopy Peaks* detecta el 86% de los pies medidos en campo. En general el algoritmo sub estima la densidad real (en 12 de las 15 parcelas se contabiliza menor densidad que la medida en campo) y solo en 3 de las 15 parcelas el algoritmo sobre estima la densidad obtenida en campo. Esta sub estimación general es lógica ya que debe tenerse en cuenta que al algoritmo solo contabiliza los pies del dosel (ya que los arboles dominados normalmente no aparecen representados en este) mientras que el dato de campo contabiliza todos los pies. Respecto al rodal de Mafeb. el % medio de detección está alrededor del 74%. Igual que antes, el algoritmo sub estima la densidad real (en 13 de las 15 parcelas se contabiliza menor densidad que la medida en campo) y solo en 2 de las 15 parcelas el algoritmo sobre estima la densidad obtenida en campo. A pesar que la precisión de detección no es significativamente elevada puede considerarse que el algoritmo arroja unos valores de exactitud satisfactorias tal y como se observa en el análisis de regresión de la figura siguiente.

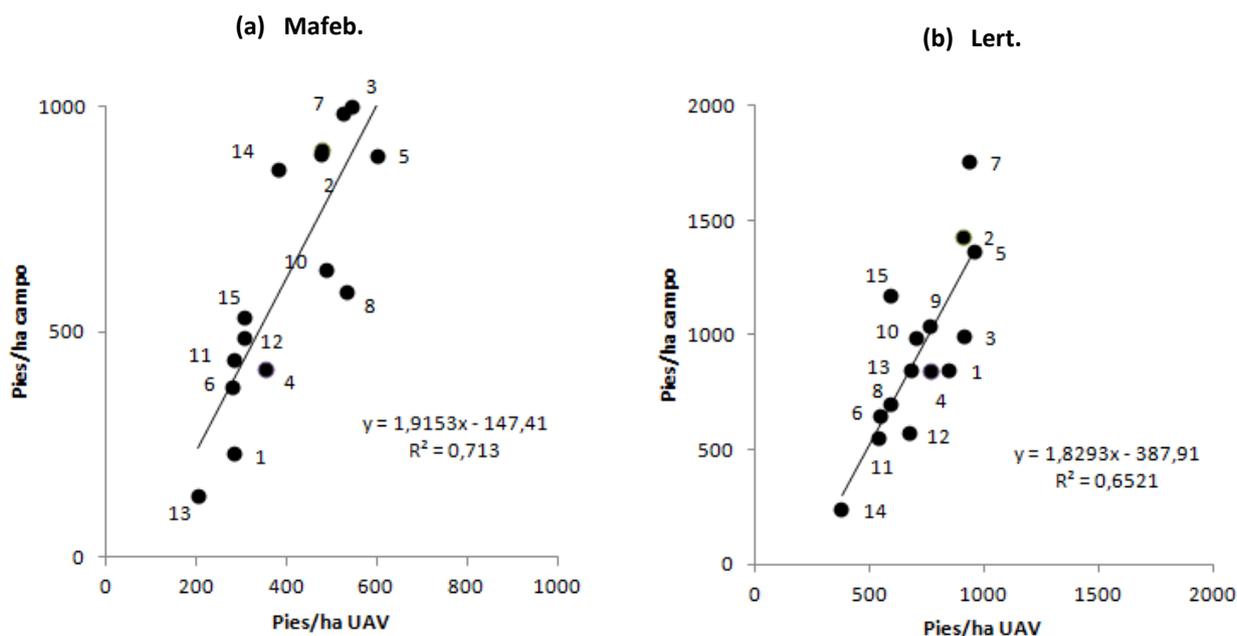


Figura 49. Esquema metodológico para el diseño de una actuación de silvicultura de precisión a partir de análisis SIG

Para el rodal de Lert. el coeficiente de determinación es del 0,65 mientras que el en rodal de Mafeb. es de 0,71. En ambos casos puede considerarse que los resultados arrojados del algoritmo *Canopy Peaks* son satisfactorios en cuanto a la detección de la variación de densidad espacial dentro del rodal (alta exactitud) a pesar que los niveles de precisión no sean exactos respecto a lo observado en el campo.

ANEJO 2. Valores numéricos del área basimétrica y volumen calculados a partir de los datos de campo

En la siguiente tabla se muestran los valores de AB calculados para el conjunto de las 15 parcelas de Lert. en función de la clase sociológica del arbolado.

Tabla 26. Valores de AB (m^2/ha por clase diamétrica en el rodal de Lert.

CD	Dominante	Codominante	Intermedio	Dominado	MMP	MMS	Total vivos	Total muertos
5	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1
10	0,0	0,0	0,4	0,2	0,2	0,0	0,6	0,2
15	0,0	0,0	0,5	0,3	0,2	0,0	0,8	0,2
20	0,0	0,2	0,6	0,3	0,8	0,8	1,1	1,5
25	0,0	0,8	0,6	0,1	0,8	2,0	1,5	2,9
30	0,0	2,6	0,5	0,1	1,5	1,7	3,1	3,1
35	0,0	4,0	0,1	0,0	0,9	0,5	4,1	1,4
40	0,2	6,5	0,0	0,0	1,1	0,2	6,7	1,3
45	0,2	5,6	0,0	0,0	0,8	0,0	5,8	0,8
50	0,3	2,8	0,0	0,0	0,3	0,3	3,1	0,5
55	0,3	2,8	0,0	0,0	0,6	0,0	3,1	0,6
60	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0
65	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
70	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
75	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0

80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	1,7	26,8	2,7	1,0	7,1	5,4	32,2	12,5

En la siguiente tabla se muestran los valores de volumen calculados para el conjunto de las 15 parcelas de Lert. en función de la clase sociológica del arbolado.

Tabla 27. Valores de volumen (m³/ha por clase diamétrica en el rodal de Lert.

CD	Dominante	Codominante	Intermedio	Dominado	MMP	MMS	Total vivos	Total muertos
5	0,0	0,0	0,7	0,9	0,1		1,6	0,1
10	0,0	0,0	1,4	0,8	0,6		2,2	0,6
15	0,0	0,0	2,2	1,3	0,9		3,5	0,9
20	0,0	1,1	3,2	1,5	4,0	6,9	5,8	11,0
25	0,0	4,7	3,3	0,7	4,7	17,9	8,7	22,6
30	0,0	15,5	2,8	0,6	8,9	14,4	18,8	23,3
35	0,0	25,2	0,8	0,0	5,5	6,0	25,9	11,5
40	1,0	41,6	0,0	0,0	7,3	1,0	42,6	8,3
45	1,5	39,2	0,0	0,0	5,8	0,0	40,7	5,8
50	1,7	18,8	0,0	0,0	1,7	1,5	20,5	3,2
55	1,9	17,1	0,0	0,0	3,8		19,0	3,8
60	2,6	2,6	0,0	0,0	0,0		5,2	0,0
65	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0		2,6	0,0
70	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
75	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0		7,1	0,0
80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
Total	11,3	172,9	13,6	4,8	43,2	47,7	202,6	90,9

En la siguiente tabla se muestran los valores de AB calculados para el conjunto de las 15 parcelas de Mafeb. en función de la clase sociológica del arbolado.

Tabla 28. Valores de AB (m²/ha por clase diamétrica en el rodal de Mafeb.

CD	Dominante	Codominante	Intermedio	Dominado	MMP	MMS	Total vivos	Total muertos
5	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0
10	0,0	0,3	0,1	0,1	0,5	0,0	0,4	0,5
15	0,0	0,7	0,7	0,3	1,1	0,0	1,7	1,1
20	0,1	5,0	0,9	0,1	2,9	1,5	6,1	4,4
25	0,0	8,9	0,8	0,3	1,7	0,5	10,0	2,2
30	0,7	10,4	0,0	0,2	0,2	0,0	11,3	0,2
35	3,1	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2	0,0
40	1,6	1,6	0,0	0,0	0,4	0,0	3,2	0,4

45	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
65	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
70	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	6,5	33,6	2,4	1,1	6,8	2,0	43,6	8,8

En la siguiente tabla se muestran los valores de volumen calculados para el conjunto de las 15 parcelas de Mafeb. en función de la clase sociológica del arbolado.

Tabla 29. Valores de volumen (m³/ha por clase diamétrica en el rodal de Mafeb.

CD	Dominante	Codominante	Intermedio	Dominado	MMP	MMS	Total vivos	Total muertos
5	0,0	0,0	1,2	0,4	0,0		1,6	0,0
10	0,0	1,0	0,3	0,3	1,7		1,5	1,7
15	0,0	3,2	2,9	1,5	4,6		7,5	4,6
20	0,5	26,2	4,7	0,5	15,2	6,9	32,0	22,1
25	0,0	50,8	4,5	1,8	9,8	17,9	57,1	27,7
30	4,1	62,6	0,0	1,4	1,4	14,4	68,1	15,8
35	19,3	38,7	0,0	0,0	0,0	6,0	58,0	6,0
40	10,2	10,2	0,0	0,0	2,6	1,0	20,5	3,5
45	7,1	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	1,5
55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
65	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
70	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
Total	41,3	196,4	12,4	5,4	35,3	47,7	255,5	83,0