2025 | 16·20
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

9CFE-1661

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

Organiza

Sociedad Española de Ciencias Forestales
SECF

SilviLiDAR: aplicación cartográfica LiDAR para la diagnosis selvícola.

CRESPO RODRIGO, A. (1) y DÍEZ RÁBANOS, F:J. (1)

(1) Servicio Territorial de Medio Ambiente de Soria de la Junta de Castilla y León.

Resumen

Los datos LiDAR se emplean ampliamente para inventariar masas arboladas con fines de ordenación, sobre todo, para cuantificar dasométricamente las mismas, bien utilizando regresiones entre la distribución de la nube de puntos y las variables dasométricas o bien mediante aprendizaje automático. SilviLiDAR facilita a gestores, no especialistas en LiDAR, el empleo de los datos LiDAR para caracterizar las masas, evaluando con ellos el estado de desarrollo y determinando el momento adecuado para actuar selvícolamente. Esto es posible empleando “SilviLiDAR”, un complemento de QGIS que, en base a parámetros que estima a partir de la distribución de la nube de puntos LiDAR (altura, fracción de cabida cubierta y razón de copa del arbolado fundamentalmente) y que se relaciona con la estructura, estado de desarrollo y grado de competencia del arbolado, clasifica por celdas el territorio según tipos de masa y su necesidad de actuación selvícola (de acuerdo con un árbol de decisión que hemos establecido, pero también configurable por el usuario), y lo muestra cartográficamente a través del Sistema de Información Geográfica QGIS, facilitando así, además, la rodalización del monte. Esta herramienta también permite localizar en el territorio zonas con características estructurales del arbolado similares a otras delimitadas previamente.

Palabras clave

Tipos de masa, rodalización, QGIS, selvicultura, nuevas tecnologías.

1. Introducción

La utilidad y aplicaciones, en general, de los datos LiDAR en la estimación de variables dasométricas ha sido la más desarrollada. A partir de datos dasométricos de parcelas de campo y de los datos LiDAR obtenidos mediante un vuelo de la masa se generan modelos estimativos de las variables dasométricas (altura, área basimétrica, volumen, diámetro medio, número de pies/ha).

Y así, actualmente se vienen utilizando datos LiDAR para la elaboración, sobre todo, de inventarios dasométricos de las masas arboladas (GARCIA et al, 2012) (RODRÍGUEZ, 2012), principalmente con fines de planificación forestal. En estos momentos, el inventario LiDAR es el más frecuente para abordar dichas planificaciones.

Pero también se pueden utilizar los datos LiDAR para caracterizar las masas arboladas y evaluar su estado de desarrollo y el momento adecuado de actuaciones selvícolas.

Se dispone, además, de vuelos LiDAR del PNOA con cobertura de toda España.

2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo son presentar el desarrollo y la aplicación de la herramienta SilviLiDAR para la caracterización de las masas forestales. SilviLiDAR es una herramienta en forma de complemento de QGIS que sirve para efectuar el diagnóstico selvícola de cualquier masa forestal.

Aquí se va a poner de manifiesto dicha utilidad, explicando como lo hace (en función de cómo se ha elaborado) y mostrando sus resultados para una gran variedad de situaciones.

Se muestra una representación de diferentes tipos de montes utilizando para ello la información LiDAR del PNOA disponible y una metodología creada y llevada a la práctica mediante la construcción de una herramienta informática que se ha denominado SilviLiDAR (CRESPO y DÍEZ, 2016), que, en base a parámetros LiDAR elaborados a partir de la distribución de la nube de puntos LiDAR, y que se relacionan con la estructura, estado de desarrollo y grado de competencia del arbolado (estrés competitivo), evalúa las masas arboladas, caracterizando los tipos de masa y detectando las necesidades de actuación selvícola.

3. Metodología

SilviLiDAR (CRESPO y DÍEZ, 2016) diagnostica selvícolamente las masas arboladas analizando el territorio, con la ayuda del software FUSION (McGAUGHEY, 2008) y de la librería LASzip.dll (RAPIDLASSO GMBH, 2007-2015), celda por celda de tamaño 10 x 10 m, examinando los parámetros LiDAR elaborados que se relacionan a continuación y aplicando una clave en forma de árbol de decisión que determina, en base a ellos, cada uno de los tipos de masa que denominamos “tipos de masa ampliados” por mostrar las necesidades de actuación selvícola, según CRESPO y GARCÍA (2013a y 2013b), y mostrando el resultado cartográficamente a través de QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2016).

Los parámetros LiDAR elaborados a partir de la nube de puntos son los siguientes:

-Altura del arbolado (H): tomada como el percentil 95, en consonancia con lo indicado por TOMÉ y MONTERO (2016). Está relacionada con el grado de desarrollo del arbolado (CRESPO y DÍEZ, 2016).

-Altura de la base de la copa (B): se ha considerado el percentil 20 (se ha observado que en los perfiles este valor se ajusta bastante bien con el punto de la base de la acumulación de puntos que constituyen la copa) eliminando previamente los puntos a menos de 2 m del suelo (con el fin de evitar distorsión de datos debido a rocas y matorral).

-Longitud de copa (L): diferencia entre altura y altura de la base de la copa. Según (CRESPO y DÍEZ, 2016), se observa una relación directa con el espaciamiento del

arbolado.

-Razón de copa (R): relación entre la longitud de copa y la altura del arbolado. Está directamente relacionada con el Índice de Hart (CRESPO y DÍEZ, 2016) y, por tanto, se va reduciendo según va creciendo en altura el arbolado. En la *Figura 1* se puede apreciar este parámetro.

-Fracción de cabida cubierta del arbolado (C): proporción de primeros retornos que caen en arbolado respecto al total de primeros retornos. Por tanto, realmente lo que se considera es el grado de recubrimiento, según SCHÜTZ (1990) y LANIER (1986).

De cada uno de estos parámetros, que son básicos, SilviLiDAR produce una capa ráster.

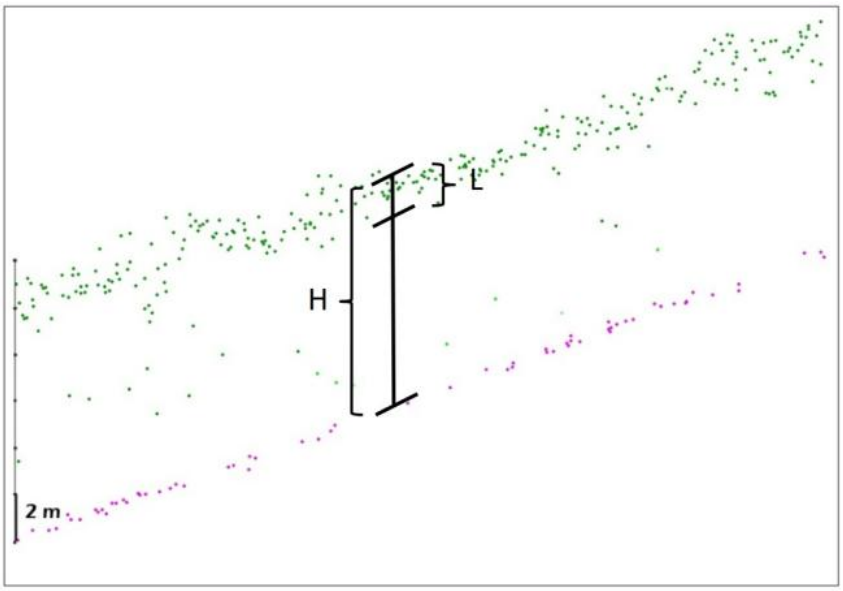

Figura 1. Razón de copa en perfil LiDAR (CRESPO y DÍEZ, 2016).

Según CRESPO y DÍEZ (2016), – en sintonía con lo manifestado por SERRADA (2008), BOUDRU (1989) y HAWLEY y SMITH (1982) -, se comprueba que las masas muy densas poseen normalmente una razón de copa R menor de 0,35. Y en masas con aprovechamiento maderable, para que sea posible realizar la primera clara, la altura de la base de la copa B debe ser mayor de 5,5 m, fundamentalmente por razones tecnológicas (ramosidad). Además, cuando no se han realizado claras recientemente en masas arboladas maderables con distribución homogénea de pies y susceptibles de ser aclaradas, C es mayor del 95%. No obstante a este respecto, se ha comprobado que, actualmente, utilizando otros sensores LiDAR diferentes esa cifra se reduce hasta el 75%

También se han tenido en cuenta, de acuerdo con CRESPO y DÍEZ (2016), : las masas arboladas con distribución de pies no homogénea (por ejemplo, por fajas), para las que se ha considerado que la posibilidad de clara existe si B tiene una

altura mínima de 5,5 m, L tiene suficiente desarrollo (>3,25 m) y C no es pobre (>57,5%), aunque R no sea menor de 0,35; los montes bajos, en los que se ha visto que cuando H>4 m ya es posible realizar resalveos con aprovechamiento de leñas (por tener diámetro suficiente) si la competencia (R suficientemente baja y C suficientemente alta) dentro de las cepas o matas es elevada; y la posible senectud para las masas más desarrolladas con cobertura no excesiva cuando R es menor de 0,17.

Se ha adaptado SilviLiDAR para mejorar su funcionamiento en masas de crecimiento muy lento con estructura horizontal discontinua en forma de pies distribuidos en grupos pequeños, cepas o matas (como los encinares), que, debido a ello, la configuración de la copa del grupo es en forma de bóveda, de tal forma que, aunque la razón de copa en el interior del grupo sea reducida, la del total del grupo aparenta ser más elevada de lo normal por la presencia de ramas verdes bajas en la periferia del mismo. Cuanto mayor sea el tamaño del grupo, menor es ese efecto borde, por lo que, se ha calculado una razón de copa máxima para efectuar resalveo variable en función de la altura del arbolado. También se ha empleado como límite inferior para efectuar resalveo una fracción de cabida cubierta variable en función de la altura del arbolado. Estos dos aspectos han sido cotejados sobre el terreno.

Todas estas consideraciones son las que principalmente han servido para elaborar el árbol de decisión (CRESPO y DÍEZ, 2016) con la definición de los tipos, que de forma actualizada es el siguiente (*Figura 2*):

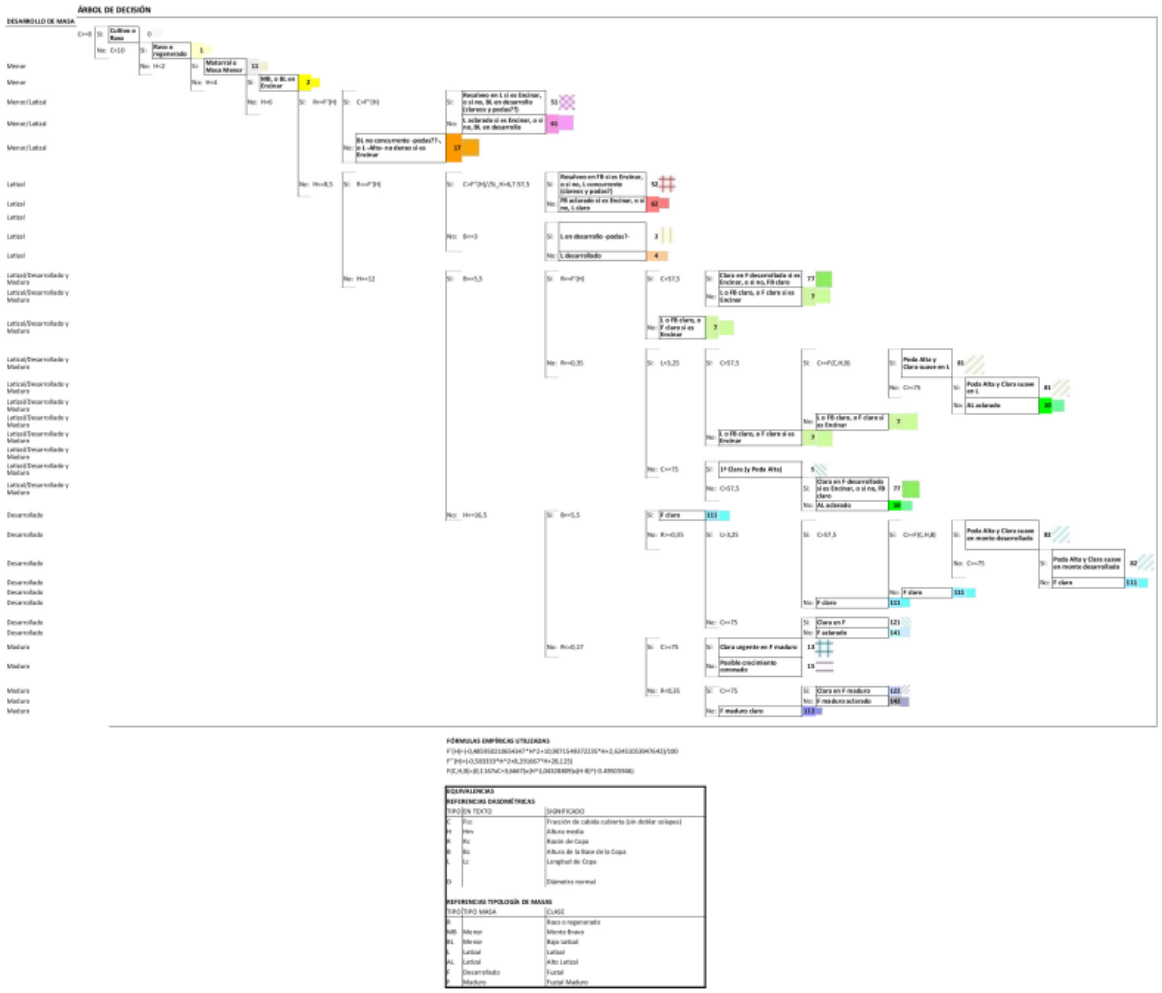

Figura 2. Árbol de decisión actualizado.

La mayoría de los umbrales utilizados en el árbol de decisión constan en la carátula de configuración de SilviLiDAR que se presenta a continuación (*Figura 3*):

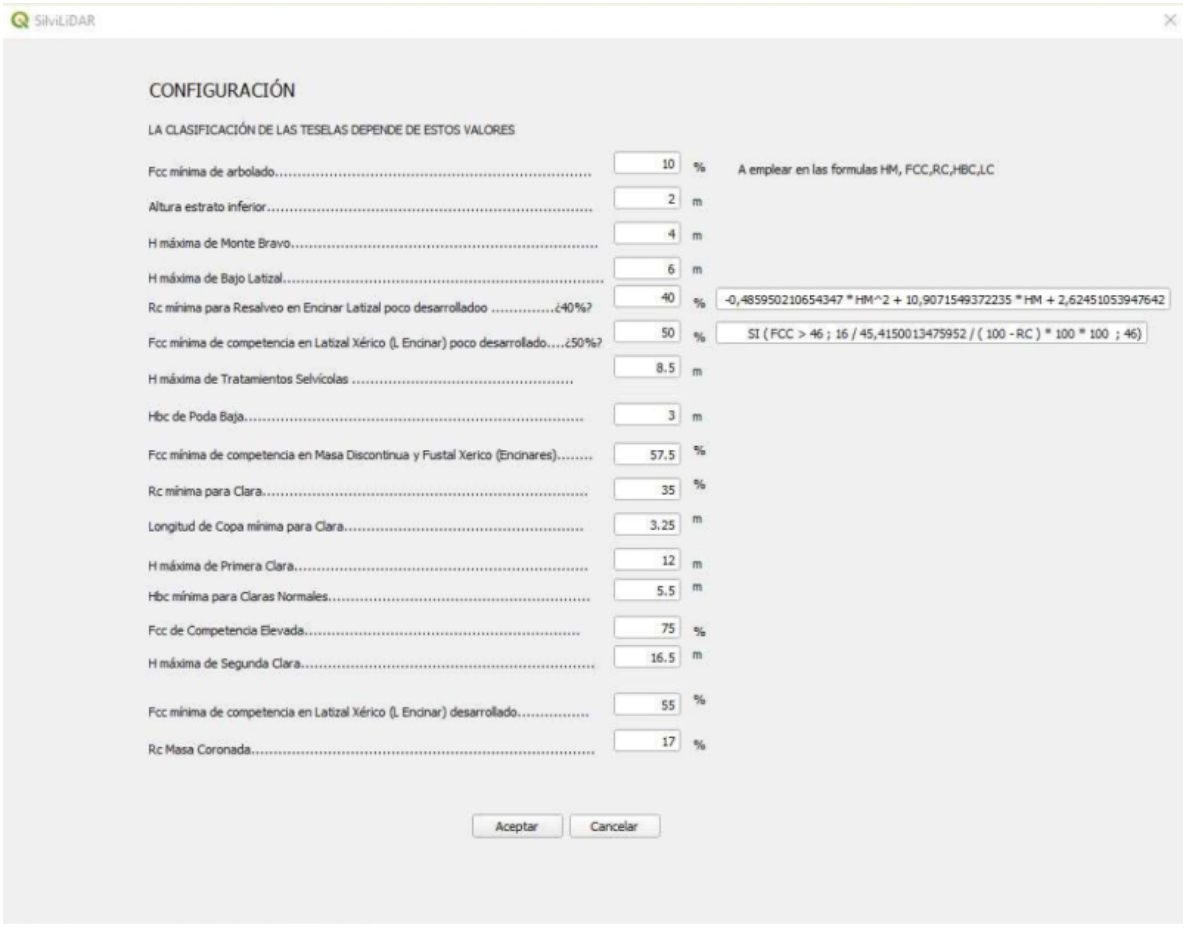

Figura 3. Carátula de configuración de SilviLiDAR actualizada.

Esta ventana de presentación de umbrales permite su variación, por ejemplo, para priorizar actuaciones dentro de las masas necesitadas de selvicultura: así, se podría disminuir el valor de “Rc mínima para Clara” para seleccionar para actuación las masas con menor razón de copa y, por lo tanto, más estresadas. También permite cambiar, por ejemplo, la “Fcc de Competencia Elevada” para adaptarse a la diferente potencia del sensor del vuelo LiDAR.

4. Resultados y discusión

Hay que indicar que no hay herramientas precedentes similares a SilviLiDAR que hagan posible una comparación entre ellas.

Se han identificado los siguientes tipos de masa ampliados, de menor a mayor desarrollo (*Figura 4*):

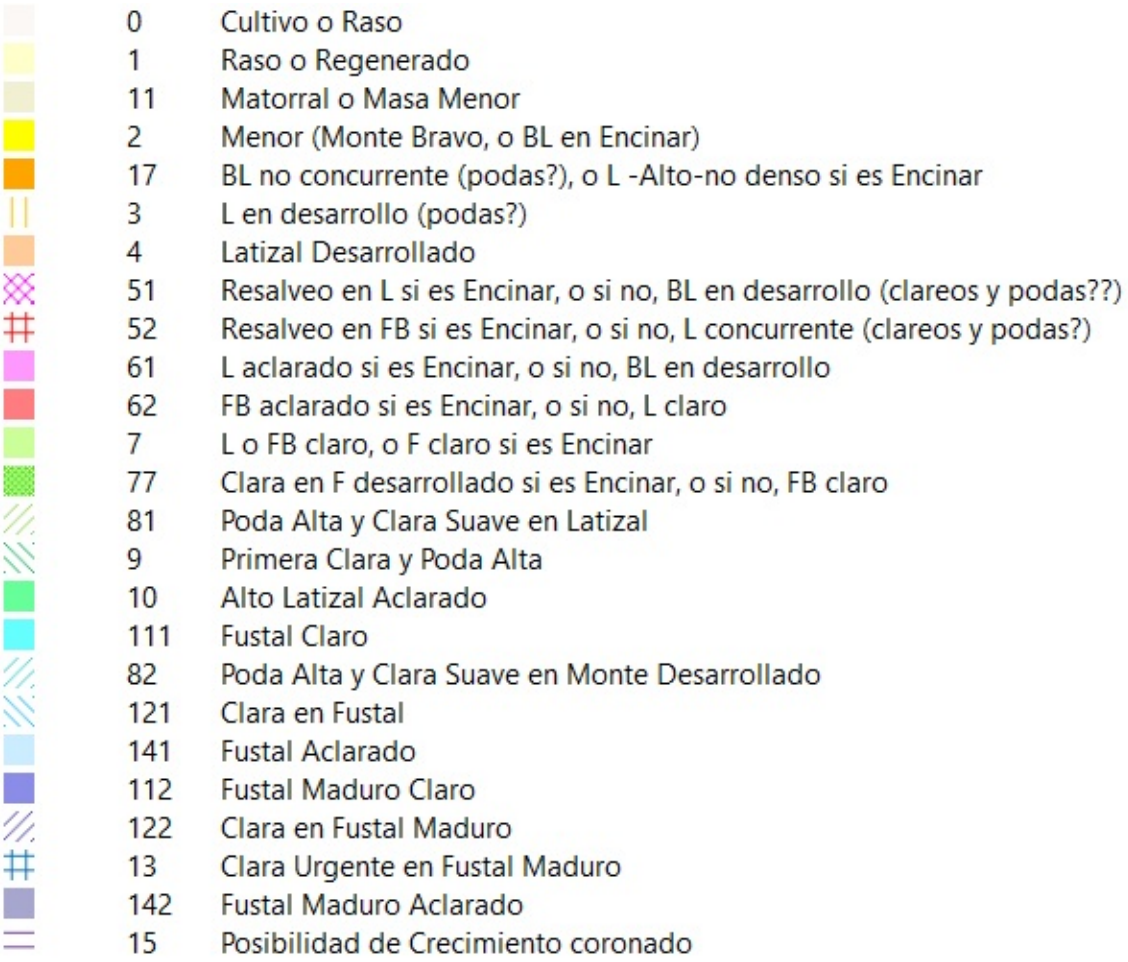

Figura 4. Tipos de masa ampliados en salida gráfica QGIS (CRESPO y DÍEZ, 2024).

Previamente a la descripción de los distintos tipos, conviene indicar que los correspondientes a las masas con menor desarrollo (tipos del 4º al 13º) tienen diferente significación, tal y como se muestra en la descripción posterior, según se trate de:

a) Formaciones típicas de los encinares o similares (aparecen en la descripción como “tipo Encinar”): Se refiere a masas de crecimiento muy lento, con distribución discontinua aglomerativa en cepas, matas o grupos (encinares, quejigares pobres, sabinares).

b) Resto de las masas arboladas.

Como casos límite están, por ejemplo, un quejigar de buen crecimiento y calidad, que se encuadraría en el grupo b), frente a un quejigar con crecimiento muy lento, que se englobaría en el grupo a).

La descripción aproximada de tipos es la siguiente:

-Cultivo o Raso (0): Zonas sin cobertura.

-Raso o Regenerado (1): Zonas con cobertura inferior al 10%

-Matorral o Masa Menor (11): Zonas con vegetación con H<2 m.

-Menor (Monte Bravo, o Bajo Latizal en Encinar) (2): Masas con H=2-4 m, correspondientes a Bajos Latizales si se trata de formaciones “tipo Encinar”; o si no, Montes Bravos.

-Bajo Latizal no concurrente (podas??), o Latizal (Alto) no denso si es Encinar (17): Latizales Bajos con espesura no excesiva (con posibilidad, quizás en algún caso, de hacer podas bajas); o si se trata de formaciones “tipo Encinar”, Latizales Altos no densos. Tienen H=4-6 m.

-Latizal en desarrollo (podas?) (3): Latizales Altos en desarrollo; o si se trata de formaciones “tipo Encinar”, Latizales Altos o Fustales Bajos en desarrollo. Tienen H=6-8,5m y altura de la base de la copa inferior a 3 m. Con posibilidad, quizás, de hacer podas bajas.

-Latizal desarrollado (4): Latizales Altos desarrollados; o si se trata de formaciones “tipo Encinar”, Latizales Altos o Fustales Bajos desarrollados. Tienen H=6-8,5m y altura de la base de la copa superior a 3 m. No existe gran competencia.

-Resalveo en Latizal si es Encinar, o si no, Bajo Latizal en desarrollo (clareos y podas??) (51): Latizales Altos densos susceptibles de resalveo (los de mayor calidad para resalvear en los más desarrollados) o clara si se trata de formaciones “tipo Encinar”; o Latizales Bajos en desarrollo con posibilidad, en algún caso, de ser susceptibles para clareos y podas para el resto de masas. Tienen H=4-6 m.

-Resalveo en Fustal Bajo si es Encinar, o si no, Latizal concurrente (clareos y podas?) (52): Latizales Altos o Fustales Bajos densos susceptibles de resalveo o clara si se trata de formaciones “tipo Encinar”; o Latizales Altos en desarrollo susceptibles, quizás, de ser clareados y podados para el resto de las masas. Tienen H=6-8,5m.

-Latizal aclarado si es Encinar, o si no, Bajo Latizal en desarrollo (61): Latizales Altos aclarados o claros si se trata de formaciones “tipo Encinar”; o Latizales Bajos en desarrollo para el resto de masas. Tienen H=4-6 m.

-Fustal Bajo aclarado si es Encinar, o si no, Latizal claro (62): Latizales Altos o Fustales Bajos aclarados o claros si se trata de formaciones “tipo Encinar”; o Latizales Altos claros para el resto de las masas. Tienen H=6-8,5m.

-Latizal o Fustal Bajo claro, o Fustal claro si es Encinar (7): Latizales Altos o Fustales Bajos aclarados o claros; o Fustales aclarados o claros si son formaciones “tipo Encinar”. Tienen H=8,5-11,5 m.

-Clara en Fustal desarrollado si es Encinar, o si no, Fustal Bajo claro (77): Fustales desarrollados susceptibles de clara si son formaciones “tipo Encinar”; o si no, Fustales Bajos no densos. Tienen H=8,5-11,5 m.

-Poda Alta y Clara Suave en Latizal (81): Latizales Altos o Fustales Bajos con densidad

suficiente para realizar poda alta y clara suave. Tienen H=8,5-11,5 m.

-Primera Clara y Poda Alta (9): Latizales Altos o Fustales Bajos densos susceptibles de primera clara (y de poda alta). Tienen H=8,5-11,5 m.

-Alto Latizal Aclarado (10): Latizales Altos o Fustales Bajos aclarados. Tienen H=8,5-11,5 m.

-Fustal Claro (111): Fustales claros. Tienen H=11,5-16,5 m.

-Poda Alta y Clara Suave en Monte Desarrollado (82): Fustales con densidad suficiente como para realizar clara suave y, tal vez si se aceptan diámetros altos, poda alta.

-Clara en Fustal (121): Fustales densos susceptibles de clara. Tienen H=11,5-16,5 m.

-Fustal Aclarado (141): Fustales aclarados. Tienen H=11,5-16,5 m.

-Fustal Maduro Claro (112): Fustales Maduros claros. Tienen H>16,5 m.

-Clara en Fustal Maduro (122): Fustales Maduros densos susceptibles de clara. Tienen H>16,5 m.

-Clara urgente en Fustal Maduro (13): Fustales Maduros muy densos susceptibles de clara urgente. Tienen H>16,5 m.

-Fustal Maduro Aclarado (142): Fustales Maduros aclarados. Tienen H>16,5 m.

-Posibilidad de Crecimiento coronado (15): Fustales Maduros posiblemente con crecimiento coronado, por lo que cabe la posibilidad de proceder a la regeneración. Tienen H>16,5 m.

Es destacable por su mayor importancia la representación de los tipos susceptibles de actuaciones selvícolas, que son los que aparecen con trama de fondo:

a) En las formaciones “tipo Encinar”:

*Tratamientos selvícolas, fundamentalmente en:

-Tipo (3): Podas en Latizales Altos o Fustales Bajos en desarrollo.

*Resalveos o claras, normalmente en:

-Tipo (51): Resalveo o clara en Latizales Altos densos (los más desarrollados de este tipo si la calidad es mayor).

-Tipo (52): Resalveo o clara en Fustales Bajos densos.

-Tipo (77): Claras en Fustales desarrollados.

b) En el resto de masas:

*Tratamientos selvícolas, fundamentalmente en:

-Tipo (3): Podas en Latizales Altos en desarrollo.

-Tipo (51): Clareos y podas, en algún caso, de Latizales Bajos.

-Tipo (52): Clareos y podas en Latizales Altos en desarrollo. Este es el tratamiento selvícola de más certidumbre.

*Claras o cortas, normalmente en:

-Tipo (81): Poda alta y clara suave en Latizales Altos o Fustales Bajos con densidad suficiente.

-Tipo (9): Primera clara (y poda alta) en Latizales Altos o Fustales Bajos densos.

-Tipo (82): Clara suave y, tal vez si se aceptan diámetros altos, poda alta en Fustales con densidad suficiente.

-Tipo (121): Clara en Fustales densos.

-Tipo (122): Clara en Fustales Maduros densos.

-Tipo (13): Clara urgente en Fustales Maduros muy densos.

-Tipo (15): Cortas de regeneración en Fustales Maduros posiblemente con crecimiento coronado.

Los tipos identificados son tales que han podido ser diferenciados a partir de la nube de puntos LiDAR y que son más útiles para la gestión forestal. Dicha diferenciación ha sido cotejada sobre el terreno, habiendo servido de ayuda, también, la utilización de los perfiles en alzado de la nube de puntos LiDAR y, en los montes ordenados, la rodalización o subrodalización existente.

Buena parte de los tipos válidos para rebollares (*Quercus pyrenaica* Willd.) se corresponden con los representados gráficamente con perfiles LiDAR en alzado en CRESPO y GARCIA (2017) .

A continuación se muestra el resultado de aplicar SilviLiDAR a varias masas arboladas que refleja la funcionalidad y la aplicabilidad práctica de dicha herramienta, con validación llevada a cabo con lo evidenciado sobre el terreno y sobre planificaciones existentes:

-Despliegue de todo el espectro de tipos de masa, mostrando las zonas susceptibles de tratamientos selvícolas (zonas con píxeles transparentes con trama) y evolución del monte tras 2 coberturas LiDAR, mediante el testeo de la herramienta SilviLiDAR en un monte con aplicación de ordenación superior al turno (o sea, ya transformado) (*Figura 5*):

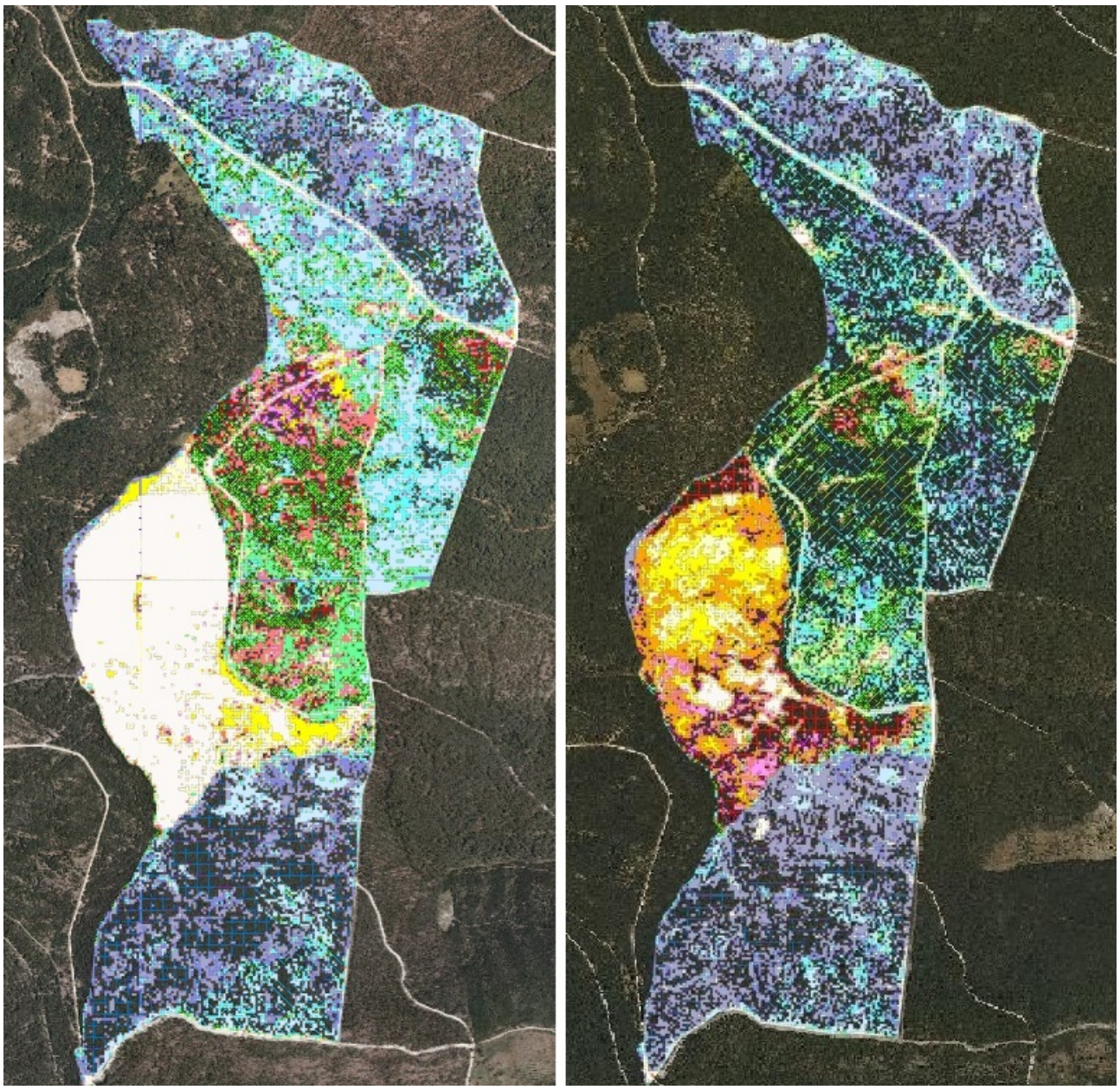

Figura 5. Silvilidar con LiDAR del PNOA de 2010 (izquierda) y de 2021 (derecha) de un cuartel ordenado y transformado del MUP 172 "Pinar Grande" de Soria sobre ortofotos del PNOA de 2009 y 2020, respectivamente

Se observa toda la gama de colores de la tipología como corresponde a un cuartel en el que están representados todos los estados de desarrollo de la masa arbolada. También se ven las zonas susceptibles de actuaciones selvícolas (tratamientos selvícolas y claras). Y con todo ello, la rodalización, necesaria para cualquier planificación forestal, se ve muy facilitada. Tal y como se observa, SilviLiDAR sirve de ayuda para la realización de proyectos de ordenación.

Comparando las dos imágenes se aprecia la evolución que ha tenido el monte en los 11 años que han transcurrido entre ambos vuelos LiDAR: la zona sur de tono azul oscuro y violeta son fustales en los que se observa que disminuyen los enclaves susceptibles de claras urgentes (zonas con píxeles transparentes con trama cuadrada azul) porque se han

realizado en dicho período; zona central blanca/amarilla de masas menores en 2010 y amarillo/rojo en 2021 con zonas susceptibles de tratamientos selvícolas (transparentes con trama cuadrada de color rojo); zona central de tonos verdes con masas latizales que en 2021 ya aparecen susceptibles de efectuar claras (transparentes con trama rayada verde); zona central/norte fundamentalmente de tonos azul claro de fustales jóvenes que en 2021 aparecen como susceptibles de hacer claras (transparente con trama rayada azul); y zona norte violeta de fustales donde parece que se han efectuado claras en parte y no hay en 2021 todavía zonas continuas evidentes para realizar claras, que son las transparentes con trama rayada en diagonal violeta.

-Detección de masas irregulares: Masas con presencia de más de 2 niveles de estado de desarrollo con ubicación contigua. Se pueden ver en la *Figura 6*.

Figura 6. Silvilidar del MUP 89 de Soria mostrando algunas zonas irregulares (recintos rojos)

Se aprecian zonas donde aparecen más de dos estados de desarrollo (con colores diferentes), indicativo de irregularidad de la masa.

-Detección de masas recientemente aclaradas: Gran abundancia de teselas opacas que indican que la masa está aclarada (en *Figura 7*).

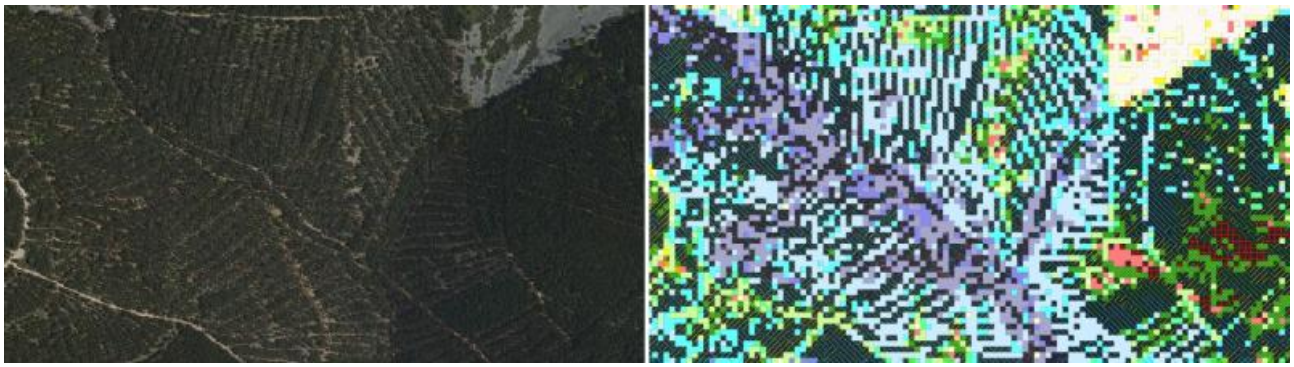

Figura 7. Silvilidar del MUP 194 de Soria mostrando zonas aclaradas con predominio de colores opacos y ortofoto del PNOA de referencia de la zona a la izquierda

-Selección de zonas para resalvear en masas de crecimiento muy lento con distribución en cepas o matas: Ejemplo de encinares (*Figura 8*).

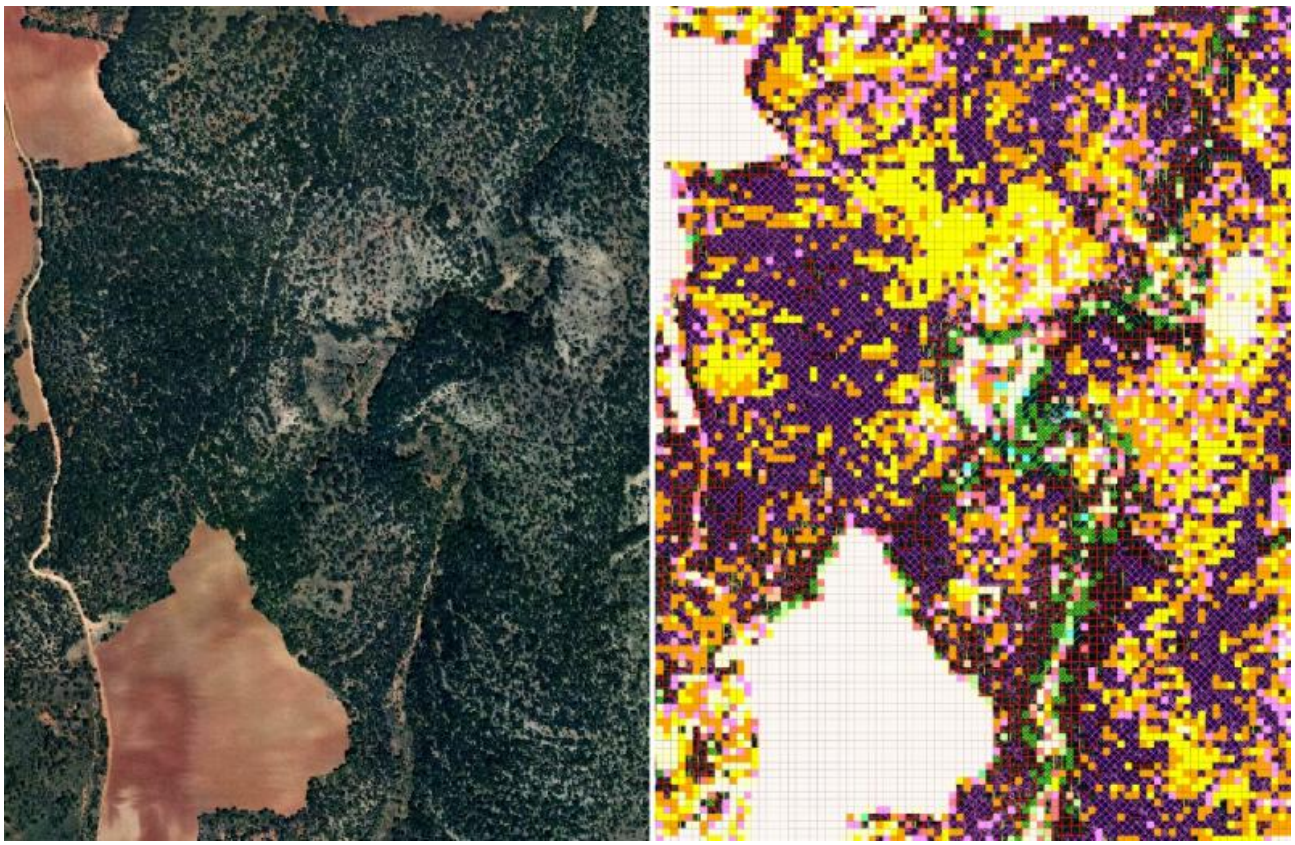

Figura 8. Silvilidar de encinar de Soria donde se observan zonas susceptibles de resalveos con trama transparente rayada de tono violeta o rojo y trama punteada de color verde, y ortofoto del PNOA de referencia de la zona a la izquierda

Se observa la gran heterogeneidad de la masa arbolada. Destacan con trama las zonas susceptibles de resalveo en diversos tonos en función del estado de desarrollo (violeta para latizales altos, rojo para fustales bajos y verde para fustales desarrollados).

-Selección de zonas para hacer claras en repoblaciones forestales con distribución en fajas, aunque la cobertura no sea completa (*Figura 9*).

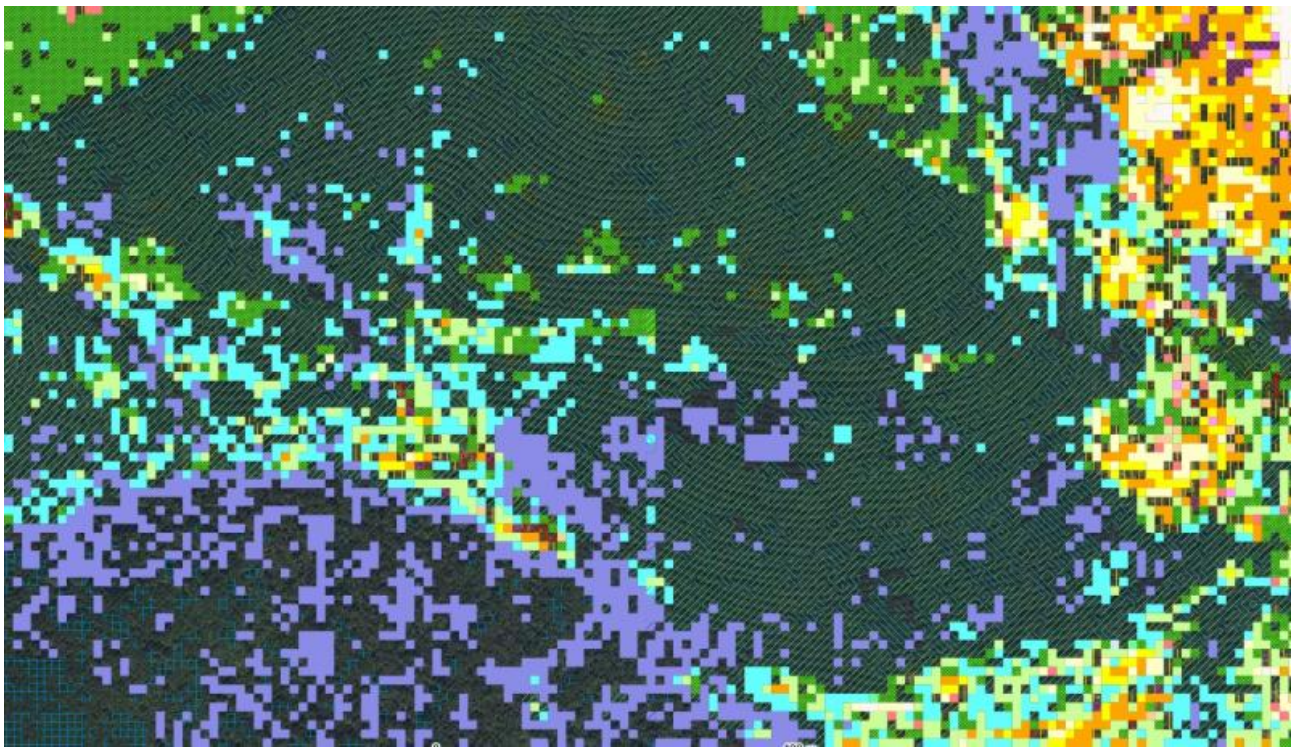

Figura 9. Silvilidar de repoblación por fajas de Burgos donde se observan zonas susceptibles de claras con trama transparente rayada de tono verde

Para que una masa arbolada sea susceptible de efectuar claras normalmente debe tener una razón de copa suficientemente reducida y una fracción de cabida cubierta muy elevada, pero si la distribución del arbolado no es homogénea, como en el caso de repoblaciones por fajas, es suficiente para ello (preferiblemente acompañadas de poda alta) si la altura de la base de la copa es, como mínimo, la altura de poda alta, teniendo un desarrollo de copa (longitud de copa) suficiente y cobertura no pobre, aunque la razón de copa no sea muy reducida. Esto es lo que ocurre en la zona con píxeles transparentes con trama rayada de la *Figura 9*.

-Selección de rodales para efectuar claras en masas sin ordenar: Zonas con susceptibilidad para realizar claras (*Figura 10*).

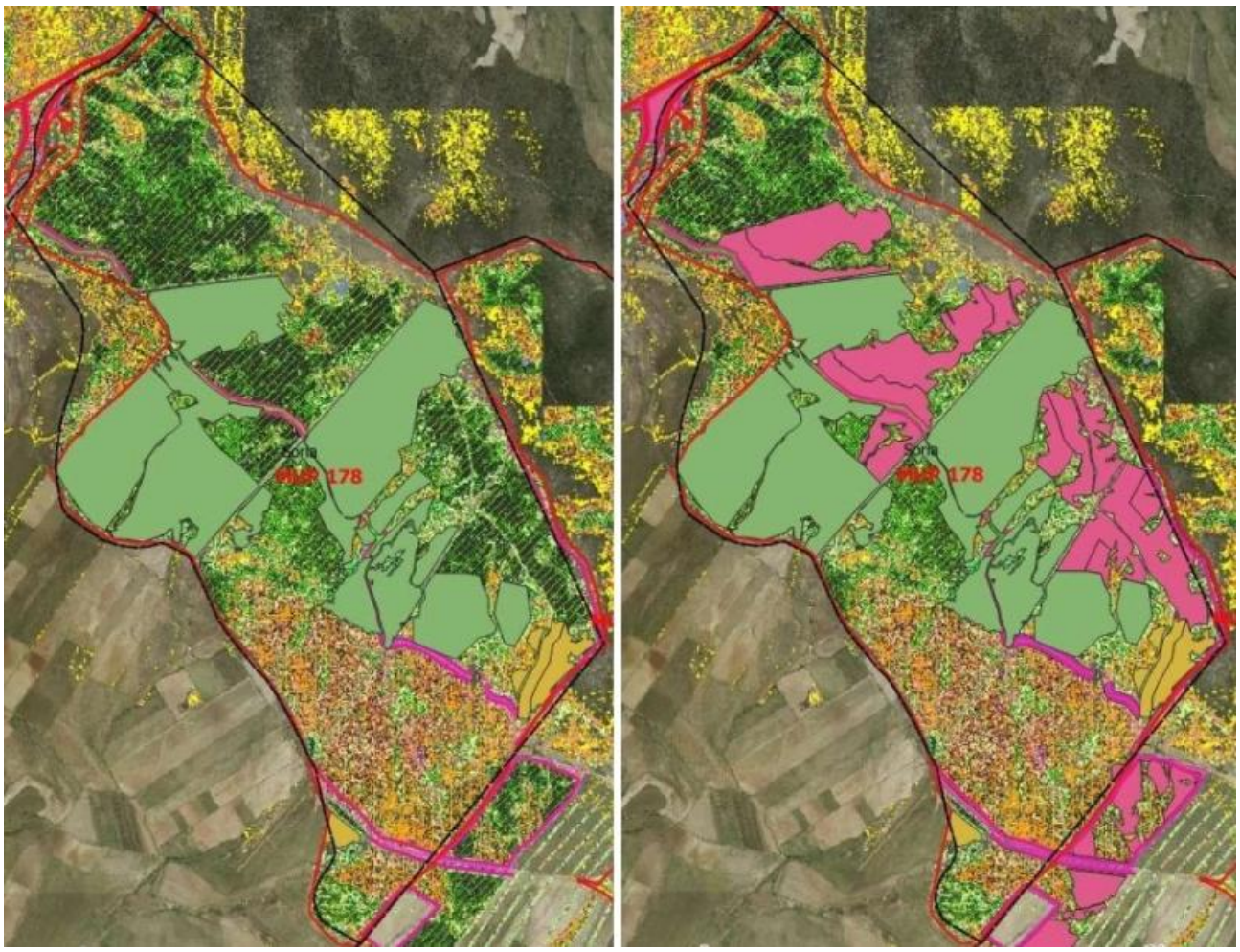

Figura 10. Silvilidar del MUP 178 de Soria mostrando a la izquierda zonas susceptibles de claras con trama transparente rayada de tono verde y a la derecha en rosa opaco las seleccionadas para hacer claras. En verde opaco, las zonas ya aclaradas

En este caso SilviLiDAR sirve para optimizar la selección de zonas para ejecutar claras ya que permite seleccionar de entre las que aparecen con píxeles transparentes con trama rayada verde, las de mayor amplitud superficial y homogeneidad.

-Priorización de rodales para efectuar claras en masas ordenadas: Zonas con susceptibilidad para realizar claras, que se seleccionan atendiendo a la amplitud superficial continua y, si acaso, al grado de estrés competitivo indicado por la magnitud de la reducción de la razón de copa (*Figura 11*).

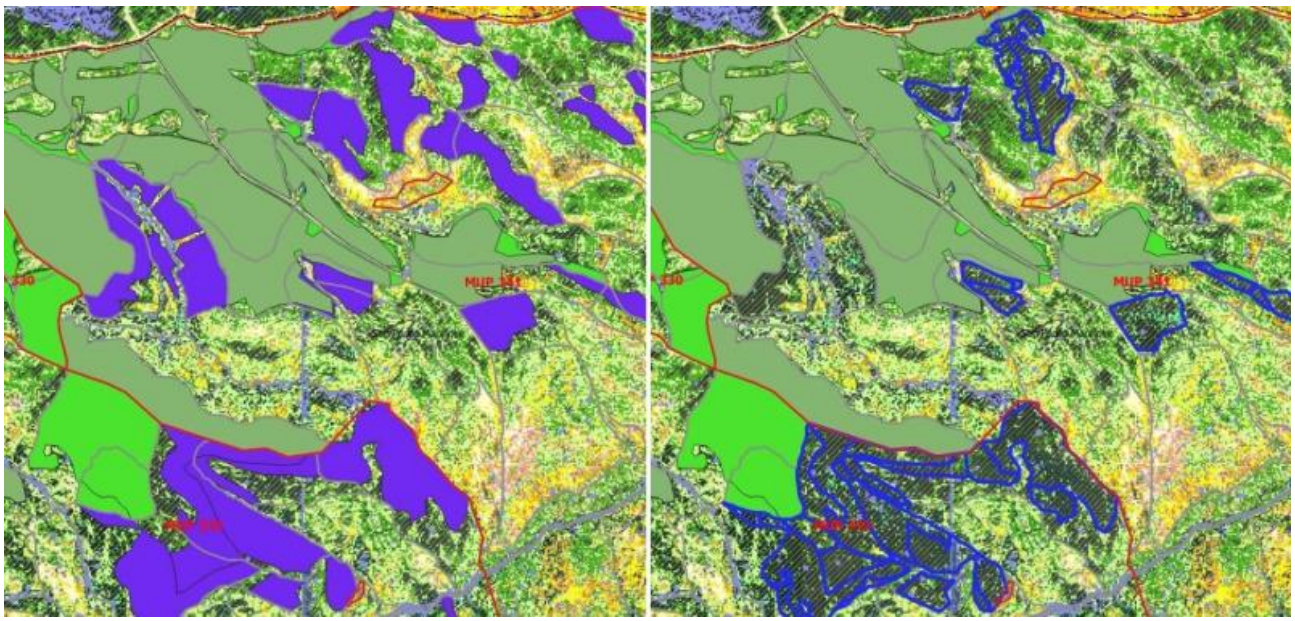

Figura 11. Silvilidar del Grupo de Montes ordenados de UP de Ballenera en Soria mostrando a la izquierda zonas previstas en la ordenación para claras (recintos con fondo azul) y a la derecha las zonas elegidas actualmente para hacer claras con trama transparente rayada de tono verde y delimitadas con borde azul

Entre las zonas programadas en la planificación para realizar claras, si hay que priorizar, se seleccionan en primer lugar aquellas que aparecen como transparentes con trama rayada verdosa con mayor homogeneidad y amplitud. Dentro de estas, si hubiera que restringir la selección, se podrían elegir por grado de reducción de la razón de copa, reduciendo en el cuadro de configuración de SilviLiDAR el umbral “Rc mínima para clara”.

-Selección de rodales de rebollar de calidad, para primera intervención selvícola: Zonas de latizal alto susceptibles para realizar la primera clara en enclaves con *Quercus pyrenaica* (*Figura 12*).

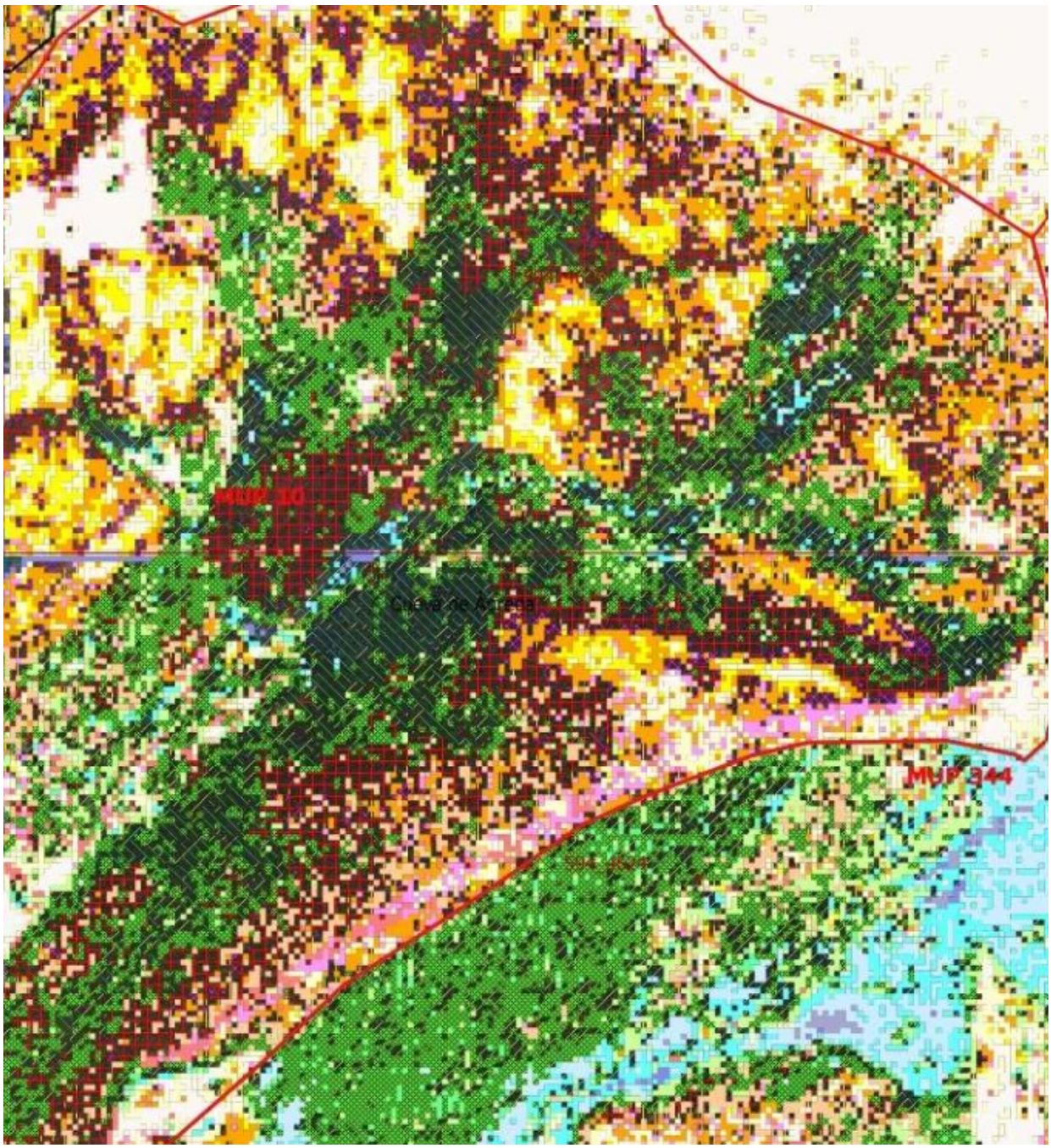

Figura 12. Silvilidar del MUP 10 de Soria mostrando zonas susceptibles de claras en rebollar de calidad con trama rayada de tono verde sobre fondo transparente

En los rebollares, las zonas con mayor calidad se identifican por tener buen desarrollo (al menos tono verde) y con espesura elevada (trama rayada sobre fondo transparente).

Todas estas aplicaciones de la herramienta SilviLiDAR relacionadas con la determinación de zonas para actuación selvícola han sido contrastadas sobre el terreno a la hora de obtención y delimitación de tajos para tratamientos selvícolas (para inclusión en proyectos de obra) o lotes para aprovechamientos de madera (para inclusión en expedientes de aprovechamiento).

Otras funcionalidades de SilviLiDAR:

-Proyección en el tiempo: Dado que no se dispone de vuelos LiDAR en cualquier momento, SilviLiDAR incorpora una funcionalidad que permite estimar como sería la masa en un momento posterior al vuelo. Para ello, se introduce un incremento de altura del arbolado y la aplicación estima un incremento de la fracción de cabida cubierta (a partir de un altura de 6 m), suponiendo que la longitud de copa se mantiene constante a partir de latizal.

-Localización automatizada de zonas de monte similares estructuralmente a unas dadas: SilviLiDAR permite, dentro del área de estudio, buscar las zonas en las que la masa forestal es similar a algunas muestras que se le indican mediante una capa de polígonos que contiene uno o varios recintos.

A continuación se muestran las carátulas de entrada de datos de cada una de las dos modalidades de aplicación de esta funcionalidad (pixel a pixel y por zonas) (*Figura 13*)

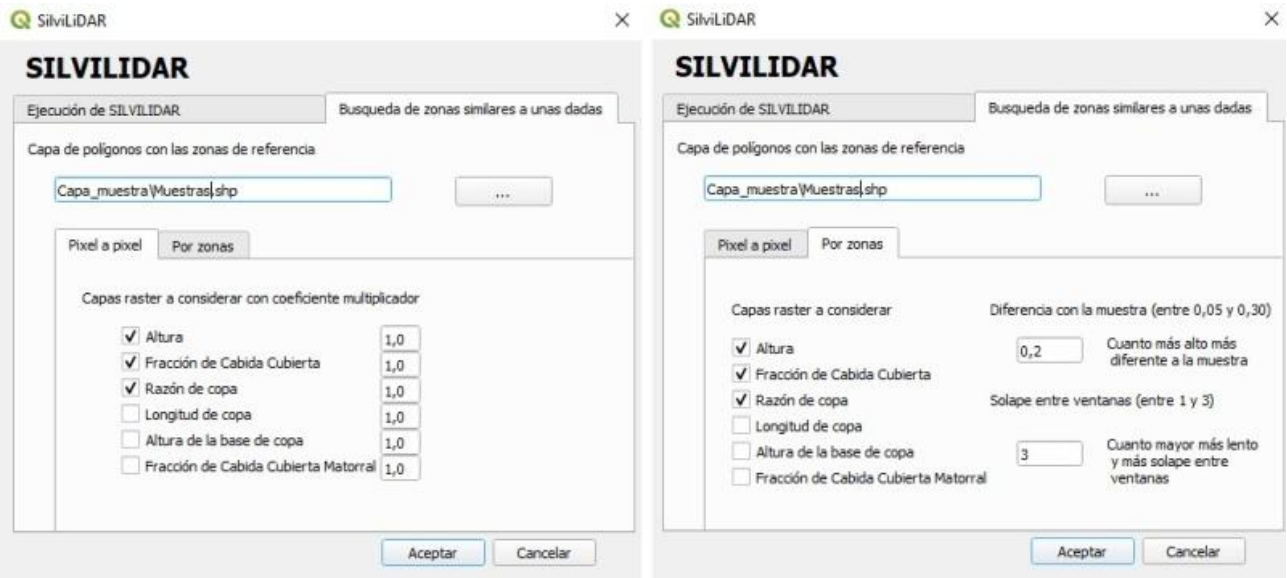

Figura 13. Carátulas de entrada de datos de SilviLiDAR para la búsqueda de zonas similares: la de la izquierda para búsqueda pixel a pixel y la de la derecha para búsqueda por zonas

De las muestras se obtiene el histograma, la media y la desviación estándar de los parámetros seleccionados de entre los disponibles (altura, fracción de cabida cubierta, razón de copa, longitud de la copa, altura de la base de la copa y Fracción de Cabida cubierta de matorral) (*Figura 14*) para a continuación calcular el rango típico (media - desviación típica, media + desviación típica).

DATOS DE LAS ZONAS DE REFERENCIA

Altura Lidar

Datos de la muestra	Media	Desviación estandar
Polígono 1	11.7	1.0
Polígono 2	11.5	0.6
Todos los polígonos	11.6	0.9

Razón de Copa Lidar

Datos de la muestra	Media	Desviación estandar
Polígono 1	48.6	5.8
Polígono 2	47.3	5.1
Todos los polígonos	48.2	5.6

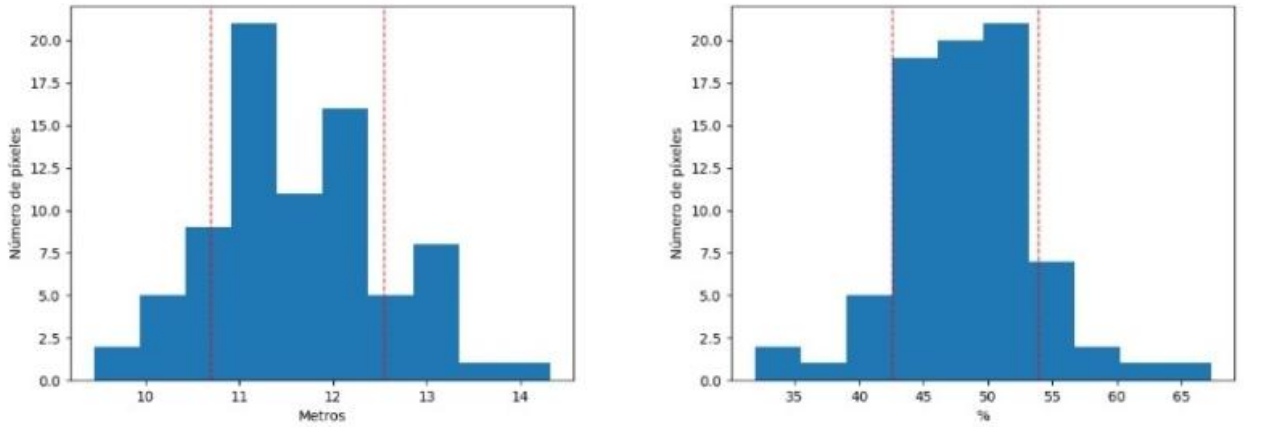

Figura 14. Ejemplo de salida de distribución de datos de zonas de referencia para altura Lidar (izquierda) y para razón de copa (derecha)

Finalmente, en la modalidad pixel a pixel se buscan, de toda la zona de estudio, los píxeles que tienen valores dentro del rango típico de las muestras. Por ello es preciso que las muestras sean zonas homogéneas.

Y la otra opción, buscar zonas similares por zonas en lugar de pixel a pixel, permite buscar zonas con un histograma de los parámetros seleccionados de entre los disponibles similares. De este modo las muestras pueden ser no homogéneas, ya que buscará las zonas con una proporción de valores similar.

A continuación se representa el resultado con un ejemplo (*Figura 15*):

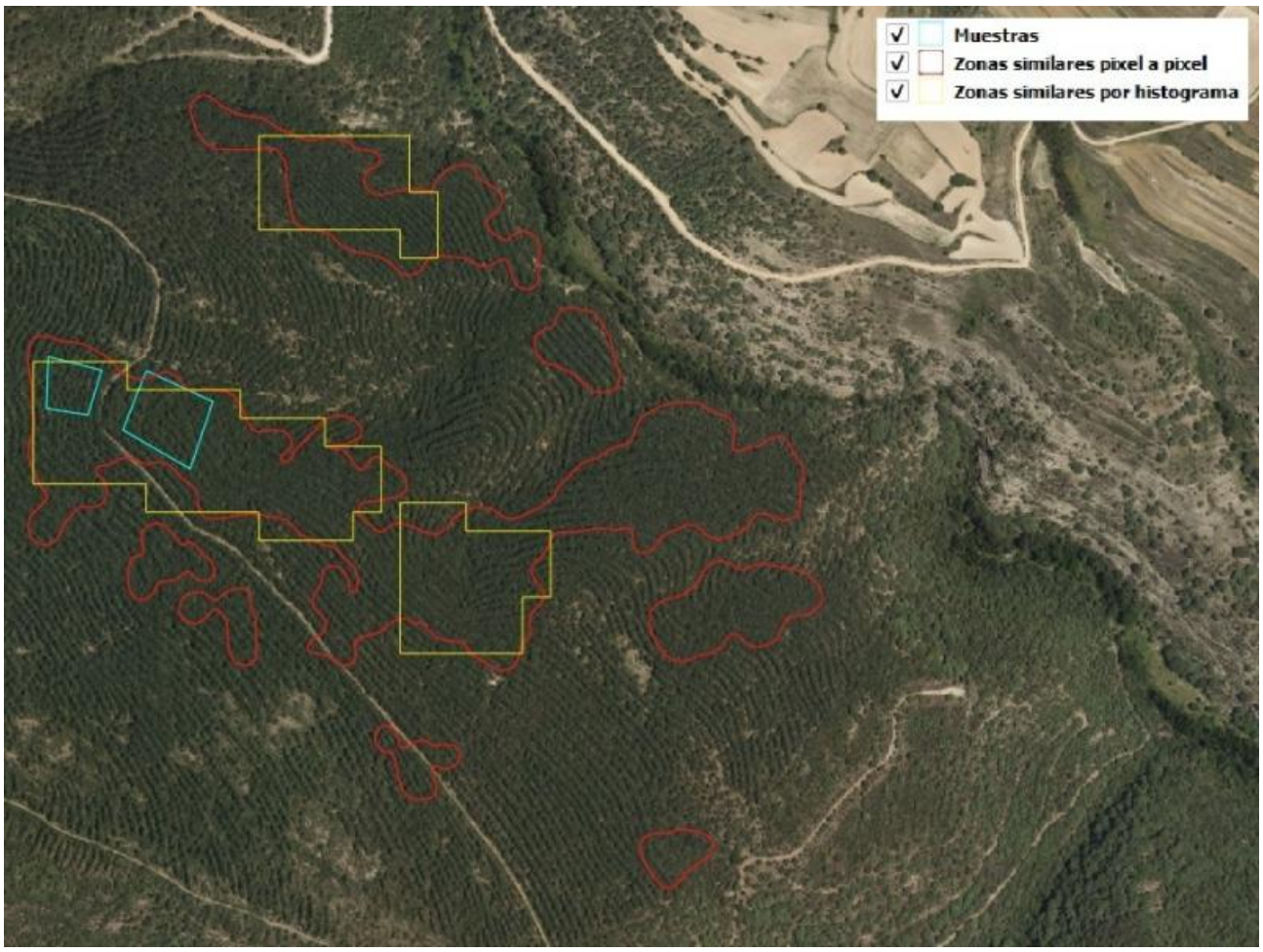

Figura 15. Resultado de localización de zonas similares a las de las muestras de color azul: en rojo las zonas similares por la modalidad pixel a pixel y en amarillo las zonas similares por histograma de zonas parecido

En este ejemplo se dibujan dos polígonos de muestra que cumplen las condiciones para realizar una poda. Se ejecuta con el método pixel a pixel y da como resultado que las zonas dibujadas en rojo contienen pixeles con una altura, una razón de copa y una fracción de cabida cubierta parecidas.

Ejecutando de nuevo la herramienta, esta vez por zonas, genera los polígonos amarillos que contienen un histograma de distribución de los mismos parámetros similar.

-Mejora posible en la cuantificación de existencias: Los parámetros LiDAR elaborados pueden utilizarse para mejorar presumiblemente, por su mayor sentido biológico y dasométrico, la cuantificación de existencia del bosque, que hasta ahora se lleva a cabo con los estadísticos brutos del vuelo LiDAR. Esto podría suponer extender la utilización de las funciones calculadas a un ámbito espacial y temporal mayor que el actual.

5. **Conclusiones**

-La aplicación SilviLiDAR es un complemento que permite el manejo de los datos de la nube de puntos LiDAR a través de los parámetros LiDAR elaborados

basados en altura, razón de copa y fracción de cabida cubierta LiDAR, y de forma flexible.

-La aplicación SilviLiDAR es un complemento que permite fácilmente la caracterización de las masas arboladas en función de su estructura y estado de desarrollo, la visualización de las zonas de monte susceptibles de actuaciones selvícolas (zonas a aclarar por estrés competitivo excesivo, zonas a efectuar tratamientos selvícolas) y la priorización de las mismas. La salida gráfica obtenida es como un “escaneado” del monte con el diagnóstico selvícola del mismo.

-Esta caracterización efectuada con SilviLiDAR supone una aproximación rápida a la rodalización necesaria para la planificación forestal, con el consiguiente abaratamiento de esta última.

-Sería muy interesante repetir periódicamente estos vuelos LiDAR**,** en período vegetativo (con el fin de que la copa esté poblada de hojas en plena funcionalidad), para el seguimiento de la evolución del monte y para la mejora de aplicaciones como SilviLiDAR. También sería importante controlar las características de cada vuelo LiDAR, sobre todo, en cuanto a la capacidad del sensor, por su afección a la cuantificación de los parámetros LiDAR resultantes, ya comprobado en cuanto a la potencia del sensor sobre los valores de la fracción de cabida cubierta LiDAR.

Esta misma aplicación SilviLiDAR, adaptando la clasificación de tipos de masa, puede utilizarse para otras posibles líneas de desarrollo, como puede ser la cartografía de modelos de combustible y de defensa contra incendios.

6. Bibliografía

BOUDRU, M.; 1989. Fôret et Sylviculture: Traitement des fôrets. Les Presses Agronomiques de Gembloux. Belgica.

CRESPO, A.; GARCÍA, I.; 2013a. Tipificación de las masas de rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) de Castilla y León para su gestión. 6º Congreso Forestal Español. 9 pp. Vitoria.

CRESPO, A.; GARCÍA, I.; 2013b. Manual de tipificación, inventario y gestión de rebollares. Junta de Castilla y León.

CRESPO,A.; DÍEZ, F. J.; 2016. SilviLiDAR: Aplicación informática para la diagnosis selvícola utilizando LiDAR. Junta de Castilla y León.

CRESPO, A.; GARCÍA, I.; 2017. Catálogo básico LiDAR de tipología de rebollares (*Quercus pyrenaica* Willd.). 7º Congreso Forestal Español. 8 pp. Plasencia.

GARCÍA, D.; GODINO, M.; MAURO, F.; 2012. LIDAR: Aplicación práctica al inventario forestal. Editorial Académica Española. España.

7. HAWLEY, R.C.; SMITH, D.M.; 1982. Silvicultura Práctica. Ediciones Omega S.A. Barcelona.

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL; 2009-2020. Ortofotos PNOA. Madrid.

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL; 2010-2021. LiDAR-PNOA. Madrid.

LANIER, L.; 1986. Precis de Sylviculture. ENGREF. Nancy.

McGAUGHEY, J.; 2008. Fusion. U. S. Forest Service. Department of Agriculture.

QGIS DEVELOPMENT TEAM; 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source. Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org.

RAPIDLASSO GMBH.; 2007-2024. Paquete de software LAStools. Gilching (Germany). http://lastools.org.

RODRÍGUEZ, E.; 2012. Inventario forestal con LiDAR (light detection and ranging). Editorial Académica Española. España.

SERRADA, R.; 2008. Apuntes de Selvicultura. Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal. Madrid.

SCHÜTZ, J.P.; 1990. Sylviculture 1. Principes d'education des fôrets. Pres. Pol. et Univ. Rom. Lausanne. Suiza.

TOMÉ, J.L.; MONTERO, M.; 2016. Seguimiento de la estructura de los sistemas naturales de la Red de Parques Nacionales mediante la tecnología LiDAR. En: VI Seminario de Seguimiento a largo plazo en la Red de Parques Nacionales. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. CENEAM. Valsaín (Segovia).