



MANUAL PARA LA  
CUANTIFICACIÓN  
DE EXISTENCIAS DE  
BIOMASA EN MASAS  
FORESTALES DE MATORRAL  
MEDIANTE METODOLOGÍA LIDAR  
LIFE ENERBIOSCRUB

Promotor:



Octubre 2017



# ÍNDICE

## CAPÍTULO 1. OBJETIVOS Y ANTECEDENTES

- 1.1 **Antecedentes: el Life Enerbioscrub**
- 1.2 **Objetivos del presente manual**

## CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

- 2.1 **Introducción a la tecnología LIDAR**
- 2.2 **¿Qué información tenemos de los retornos?**
- 2.3 **El resultado: la estructura de la vegetación en la nube de puntos**
- 2.4 **Ventajas de la Información LiDAR**
- 2.5 **La tecnología Lidar aerotransportada**
  - 2.5.1 **Funcionamiento del sensor**
  - 2.5.2 **Comportamiento del pulso**
- 2.5 **Cómo está clasificada la nube de puntos**
- 2.6 **Inventario LiDAR mediante métodos de masa**

## CAPÍTULO 3. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS NECESARIAS

## CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE LA BIOMASA EN ZONAS DE MATORRAL MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

- 4.1 **El LIDAR del PNOA y sus limitaciones para el cálculo de biomasa en las formaciones de matorral**
  - 4.1.1 **Mejoras de la clasificación de la nube de puntos 0,4 m - 1 m**
  - 4.1.2 **Limitaciones**
- 4.2 **Análisis de la estructura del estrato de matorral**
  - 4.2.1 **Obtención del MDE**
  - 4.2.2 **Estadísticos LiDAR**
- 4.3 **Construcción de modelos estadísticos**
  - 4.3.1 **Obtención de estratos de muestreo**
  - 4.3.2 **Parcelas de muestreo**
  - 4.3.3 **Selección de modelos estadísticos**
- 4.4 **Resultados de inventario**

## CAPÍTULO 5. CASOS DE ESTUDIO: ACCIÓN B4. LIFE ENERBIOSCRUB. Navas del Marqués

- 5.1 **Introducción del ámbito de estudio de las especies inventariadas**
- 5.2 **Ajuste modelos regresión biomasa con información LIDAR**
- 5.3 **Estimación de biomasa de matorral**



# 1 OBJETIVOS Y ANTECEDENTES

## 1.1 Antecedentes: el Life Enerbioscrub

El objetivo general del “**proyecto ENERBIOSCRUB**” es contribuir, en el marco de los objetivos generales **LIFE+** Política y Gobernanza Medioambiental, a la reducción de Gases de Efecto Invernadero (**GEI**) para aminorar los efectos que conlleva el cambio climático, mediante la demostración e implementación de tecnologías que contribuyan a reducir de forma sustancial las emisiones de GEI. El proyecto propuesto persigue la consecución de los objetivos en materia de política ambiental de la UE promoviendo la gestión de masas forestales marginales de matorral mediante la obtención de biocombustibles sólidos y de esta forma poder alcanzar los objetivos comunitarios en materia de medio ambiente: cambio climático, gestión forestal y energías renovables.

El orden de las acciones y medios se ha diseñado de la siguiente forma: dos acciones preparatorias **A1** para definir las parcelas concretas en las que desarrollar las actuaciones de desbroce y **A2** para establecer el protocolo en el desbroce y en la recogida de datos. Se han definido 7 acciones de implementación con las que se realizará el grueso de la actividad demostradora:

- **B1** es la acción en la que se efectuarán las pruebas de desbroce mecanizado en las superficies definidas en las acciones preparatorias dentro de las zonas de trabajo y que permitirá evaluar los aspectos técnicos y económicos. TRAGSA es el líder de la acción con experiencia en labores selvícolas y utilizará las tecnologías más efectivas en coste y en respeto al medio ambiente.
- En la acción **B2** se definirán los parámetros de preparación, calidad y combustión de la biomasa obtenida en los distintos desbroces para lo cual el Ciemat, líder de la acción utilizará los laboratorios y plantas piloto de preparación y combustión existentes en el CEDER-Ciemat en Lubia, Soria (Castilla y León).
- En la acción **B3** se utilizará la biomasa con la preparación más adecuada y en las condiciones definidas en B2, en las aplicaciones industriales para la fabricación de pélets, la generación de electricidad y calor en los lugares especificados.
- Las acciones **B4 y B5** son necesarias para evaluar la importancia del recurso de biomasa de las formaciones arbustivas, calcular los reservorios de carbono y los impactos de la gestión de las masas arbustivas mediante el desbroce. Lo lideran dos beneficiarios con experiencia en el estudio de biodiversidad, incendios, inventarios de carbono y suelos como INIA y AGRESTA.
- En el marco de esta última acción, por tanto se estableció una metodología para el cálculo de biomasa en formaciones de matorral mediante tecnología LIDAR, como se muestra en la Figura 1.

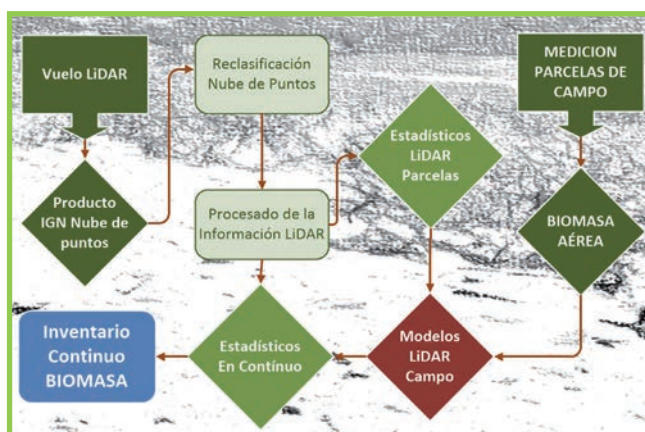


Figura 1. Metodología para el cálculo de existencias en formaciones de matorral mediante tecnología LIDAR

## 1.2 Objetivos del presente manual

Los objetivos del Manual para la cuantificación de existencias de biomasa en masas forestales de matorral y monte bajo mediante **metodología LiDAR**, son los siguientes:

- Presentar una **guía** válida para el cálculo de existencias de biomasa en masas de matorral de manera que un lector no iniciado en tecnología LiDAR pueda entender cómo es el proceso en su totalidad.
- Establecer los **límites de la predicción** y los retos que arrojan dicha metodología LiDAR para la obtención de la variable biomasa en el caso de las formaciones de matorral en la Península.

# INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

## 2.1 Introducción a la tecnología LiDAR



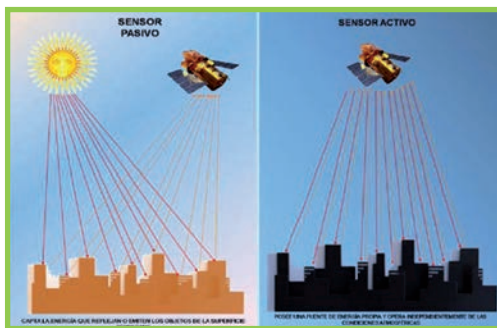
Figura 2. Funcionamiento del sensor LiDAR

“El **LiDAR (Light Detection And Ranging)** es un sistema activo de detección remota basado en un escáner láser. Esta tecnología aerotransportada y combinada con un sistema inercial y un GPS trabajando en tiempo real **permite obtener una mayor densidad de medidas de las superficies que cualquier otro sistema conocido**, presentando la **ventaja** frente a otros sensores de poder penetrar en la cubierta vegetal y capturar de esta forma **información de diferentes estratos de vegetación y del suelo**.”

El sensor LiDAR, midiendo el tiempo que tarda en ir y volver la luz emitida, **es capaz de calcular la tripleta de coordenadas** de los múltiples rebotes que tienen cada uno de los pulsos de láser que salen del sensor. Al mismo tiempo el sensor **registra las intensidades de la señal láser** (cada material refleja de manera diferencial el rayo de luz láser) con las que se pueden confeccionar imágenes de intensidades y darles tratamientos similares a los clásicos dados a imágenes capturadas con sensores pasivos.”

Aunque cuando hablamos de tecnología LiDAR podemos pensar que se trata de algo tremendamente novedoso, la realidad nos muestra algo muy diferente. Como la mayor parte de la tecnología el LIDAR viene del campo militar, los primeros escáneres datan de 1960, siendo a partir de 1970 cuando se empezaron a utilizar para generar modelos digitales de elevaciones en aplicaciones topográficas. A partir de los años 80 la tecnología empezó a utilizarse en aplicaciones forestales con lo que estamos hablando de una **historia de más de 30 años en el campo forestal**.

El primer punto clave para entender el LiDAR es que es un **sensor activo**:



Los sensores activos (LiDAR, RADAR y SONAR) usan una **fuentes de radiación electromagnética propia**, lo que les permite operar 24 horas: noche y día, lo que supone una ventaja frente a los **sensores pasivos** (sistemas fotográficos, multispectrales e hiperspectrales) en los que el **sol es la fuente de radiación electromagnética**, que interactúa con los objetos por reflexión, dispersión antes de ser captados por los detectores del sensor.

Figura 3. Diferencias entre sector activo y pasivo

## 2.2 ¿Qué información tenemos de los retornos?

Para cada retorno vamos a tener la siguiente información disponible:

- Tripleta de coordenadas: Ubicación espacial
- Clasificación: Qué tipo de superficie es dónde rebota el pulso
- Número de retorno: qué orden tienen cada uno de los retornos.
- Intensidad: medida de la “fuerza” de retorno del pulso láser que genera el punto, basada en parte en la reflectividad del objeto alcanzado por el pulso láser

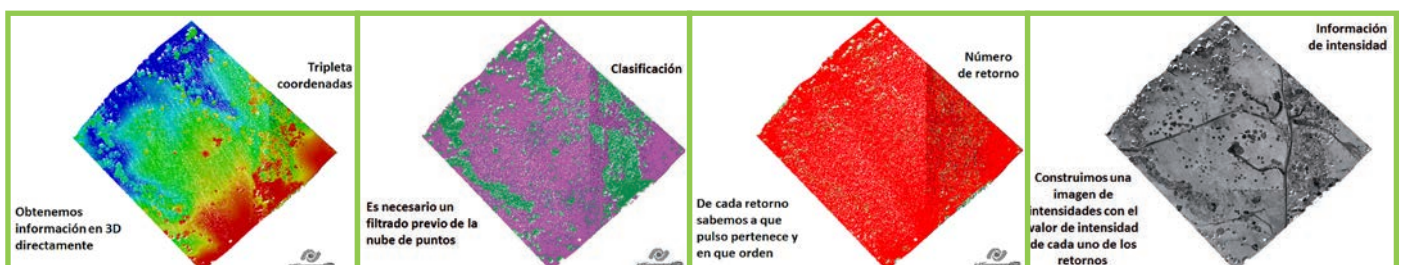


Figura 4 Información que proporcionan los retornos

CAPÍTULO  
**2**

## INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

### 2.3 El resultado: la estructura de la vegetación en la nube de puntos

La tecnología LiDAR abre nuevas e interesantes posibilidades para la descripción de las coberturas vegetales ya que proporciona un volumen enorme de **información de la estructura del bosque (estratos superiores e inferiores)**. Cada uno de los **rebotes del láser** lo podemos traducir en una **altura de la vegetación sobre el suelo** y el porcentaje de pulsos láser que no llegan directamente al suelo son una medida muy exacta de la **cobertura de la vegetación**. Los sensores LIDAR, por tanto, miden directamente tanto la **localización vertical** como la **distribución horizontal** de los elementos de las **cubiertas vegetales**.

La fuerte correlación que existe entre la altura de la vegetación y algunas características biofísicas como la biomasa total, la densidad de árboles o el volumen de madera hacen que el LIDAR sea una **herramienta imprescindible para la captura de información de nuestras superficies forestales**:

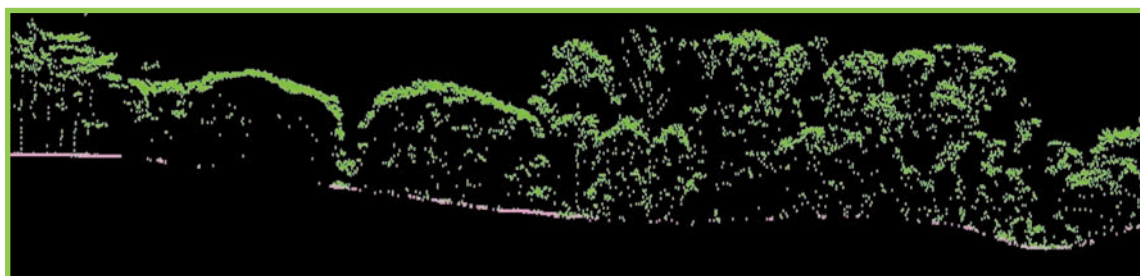


Figura 5. Vista de un perfil de datos de una Nube de Puntos LiDAR.

La nube de puntos LiDAR describe con detalle y de forma continua la estructura de la vegetación.

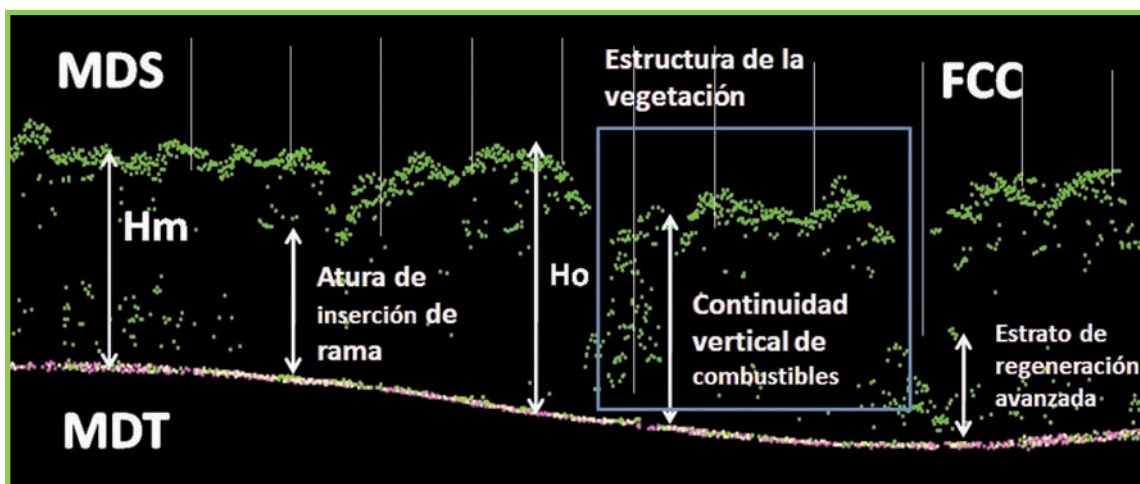


Figura 6. Parámetros relacionados con la estructura vegetal que es posible

En realidad es esta información relativa a la estructura de la vegetación en 3D la principal aportación que nos da el LIDAR frente a otros sensores tales como los RGB que también nos proporcionan información continua del terreno.

Como hemos mencionado, en las zonas forestales un mismo pulso puede tener varios retornos, tal y como se puede apreciar en la imagen de la derecha, proporcionando información de la estructura.

Por tanto, cualquier información de la vegetación que tenga que ver con la estructura será posible e incluso interesante trabajarla a partir de datos LiDAR.

CAPÍTULO  
**2**

# INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

## 2.4 Ventajas de la información LiDAR

Es importante entender que la información LIDAR no viene a sustituir a otras fuentes de información continua como la fotografía, sino que representa una nueva fuente complementaria a las ya existentes que presenta las siguientes ventajas específicas:

- Información geográfica extensa y continua.
- Volumen de información enorme de la estructura del bosque.
- Permite de una manera muy sencilla la obtención de modelos digitales del Terreno (MDT) y de Superficie (MDS) de alta precisión.

## 2.5 La tecnología LiDAR aerotransportada

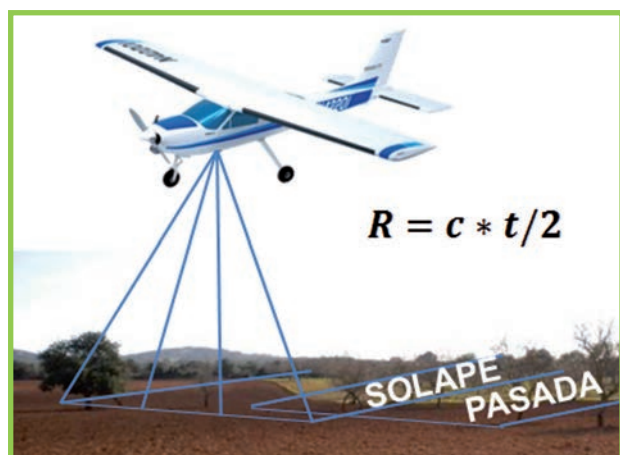
### 2.5.1 Funcionamiento del sensor



Equipo LiDAR aerotransportado está compuesto de las siguientes partes:

- Sensor láser y detector
- Receptor GPS
- Sistema Inercial de Navegación (INS)

Figura 7. Equipo de LiDAR aéreo.



Esto es, un **detector** que capta la vuelta del láser, un **GPS de alta precisión** que proporciona al sistema la posición en todo momento, un **sistema inercial de navegación** que compensa los movimientos del avión y un **ordenador con un sistema de cronometraje de precisión** que controla todo el proceso y calcula la tripleta de coordenadas de cada uno de los puntos donde “impacta el pulso” con una sencilla formula en función de la velocidad de la luz y el tiempo.

Figura 8. Donde C: velocidad de la Luz, t: tiempo

El Sensor Láser consta de la **fente láser** y un **mecanismo de escaneo** con un espejo que “distribuye el láser” siguiendo distintos patrones tal como se puede ver en la siguiente figura:

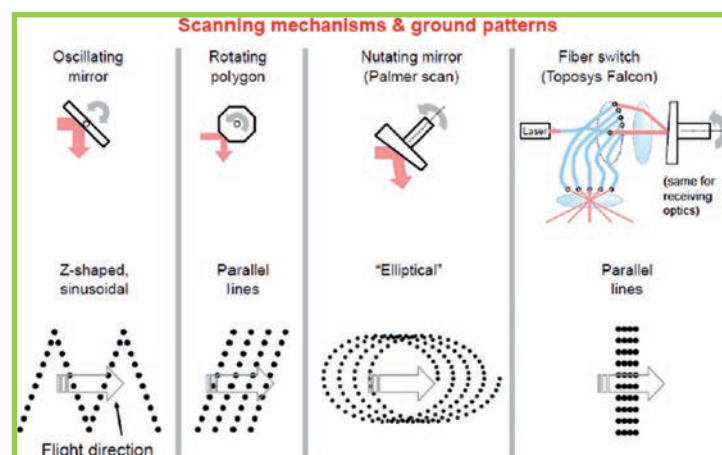


Figura 9. Fuente: Balsatvias 200



## INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

### 2.5.1 Funcionamiento del sensor

El sensor emite pulsos discretos en la banda del infrarrojo cercano (1064 nm) con una frecuencia que varía de un equipo a otro pero que puede rondar los 150.000 HZ.

La densidad de puntos depende de la configuración del sensor y del diseño del vuelo (de menos de 1 hasta más de 80 puntos por metro cuadrado).

Las características de la información LiDAR dependen fundamentalmente de:

- Sistema de escaneo.
- Altura y velocidad de vuelo: A mayor altura (menor densidad de puntos) y a mayor velocidad (menor densidad de puntos)
- Frecuencia de pulsos: A mayor frecuencia mayor densidad de puntos
- Ángulo de escaneo (FOV): Es el ángulo máximo que tiene el láser respecto al NADIR (En el contexto de los sensores remotos, el término NADIR se refiere a la disposición de los instrumentos de observación orientados de manera perpendicular a la superficie terrestre).

### INFLUENCIA DE LA CONFIGURACIÓN DEL VUELO

Parámetros de captura de imagen digital	
GSD nominal	12 cm
Cota media del terreno	1448.9
Altura de vuelo media AGL	1064.9
Altura de vuelo media AMSL	2378.75
Recubrimiento transversal	74%
Dirección	68,5° 139,00 °
Longitud de pasada media	9494 m
Parametrización del sensor LiDAR	
FOV(°)	25
Max. scan rate (Hz)	75,26
Max. laser pulse ate (Hz)	88000
Laser current (%)	14
Max. point spacing across track (m)	1
Max. point spacing along track (m)	1
Average point density (ptos/m <sup>2</sup> )	2.01
Average point spacing (m)	0.71
Average point area (m <sup>2</sup> )	0.5
Estimated across track accuracy (m)	0,13
Estimated along track accuracy (m)	0,13
Estimated height accuracy (m)	0,08
Multi Pulse in Air Mode	Desactivado

2 ptos /m<sup>2</sup>

Figura 10. Influencia de la altura de vuelo en la densidad final de puntos.

CAPÍTULO  
**2**

# INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

## 2.5.1 Funcionamiento del sensor

Parámetros de captura de imagen digital	
GSD nominal	6 cm
Cota media del terreno	1112.71
Altura de vuelo media AGL	577.14
Altura de vuelo media AMSL	21642.00
Recubrimiento transversal	65%
Dirección	214.100º 171,200 º
Longitud de pasada media	3237 m
Parametrización del sensor LiDAR	
FOV(º)	35
Max. scan rate (Hz)	763,37
Max. laser pulse ate (Hz)	133000
Laser current (%)	19
Max. point spacing across track (m)	0,59
Max. point spacing along track (m)	1,30
Average point density (ptos/m <sup>2</sup> )	0,57
Average point spacing (m)	4,10
Average point area (m <sup>2</sup> )	0,24
Estimated across track accuracy (m)	0.08
Estimated along track accuracy (m)	0.08
Estimated height accuracy (m)	0.07
Multi Pulse in Air Mode	Desactivado

**4 ptos /m<sup>2</sup>**

Figura 10. Influencia de la altura de vuelo en la densidad final de puntos.

Un aspecto a tener en cuenta de la precisión vertical de los sensores LiDAR es que va a depender de las características de los objetos con los que colisiona en cada caso el pulso, mientras que la precisión horizontal dependerá fundamentalmente de la topografía de la zona de trabajo.

- Típica precisión vertical absoluta:**
  - + / - 0,05 metros en superficies duras y regular del terreno abierto.
  - + / - 0,10 metros sobre superficies blandas / vegetación (terreno plano de rodadura)

En concreto, el **PNOA (Plan Nacional de Fotografía Aérea)** garantiza 20 cm de precisión altimétrica.
- Típica precisión horizontal absoluta:**
  - + / - 0,10 a 0,20 metros en todos los terrenos, en terrenos muy montañosos depende de la altura de vuelo y la divergencia del haz

CAPÍTULO  
**2**

# INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

## 2.5.2 Comportamiento del pulso

El comportamiento del pulso depende del tipo de superficie con la que colisiona:

- En superficies sólidas se produce un único retorno (eco).
- En el agua no se produce retorno del pulso: por lo que es una tecnología muy útil para detectar láminas de agua.
- En las cubiertas vegetales se obtienen más de un retorno (eco). En el ámbito forestal esta característica es fundamental para describir la estructura de la vegetación

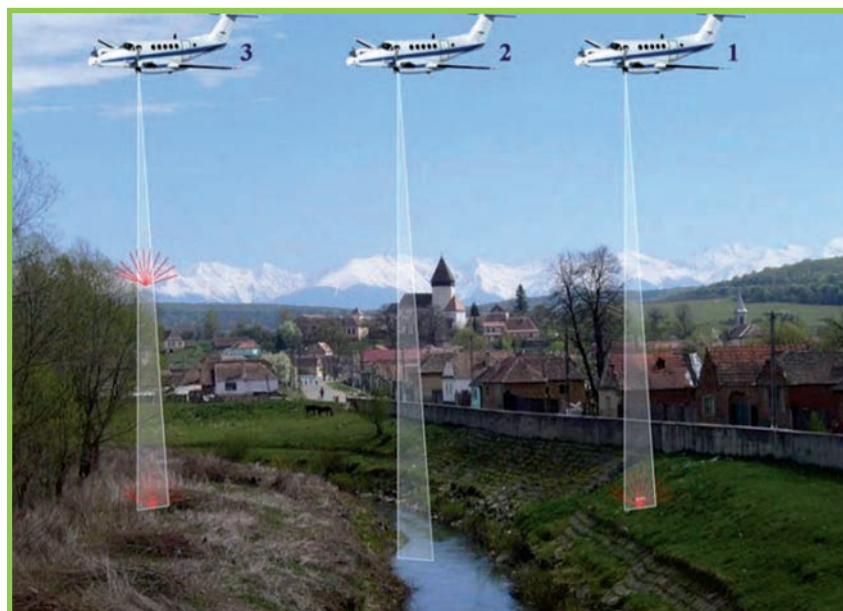


Figura 11 Comportamiento del pulso en función de la superficie de rebote. Fuente: [www.dielmo.com](http://www.dielmo.com)

Este hecho es lo que determina la importancia de esta tecnología ya que **aporta información en tres dimensiones por debajo de la cubierta arbolada.**



Figura 12 Toma de datos LiDAR. Fuente: INCLAM

Cada pulso puede tener varios retornos: siempre que hablamos de la **densidad de puntos** de una información LiDAR hacemos referencia a la densidad de **pulsos emitidos por unidad de superficie.**

También hay que tener en cuenta que, si bien hay permeabilidad de las masas forestales al pulso, **no todos los pulsos en una zona forestal siguen penetrando hasta el suelo.**

CAPÍTULO  
**2**

# INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

## 2.5.2 Comportamiento del pulso

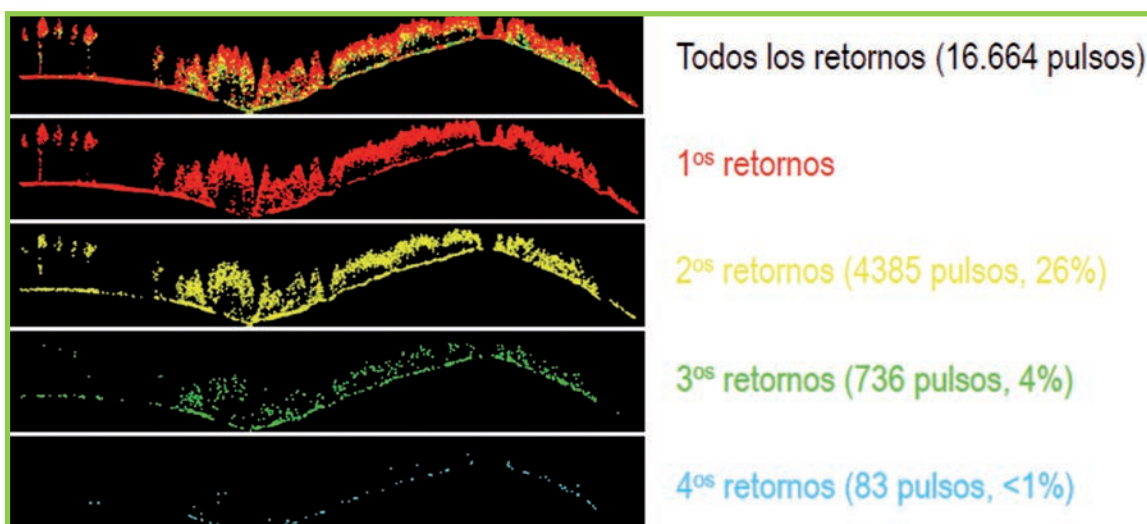


Figura 13 Representación de retornos sucesivos en una misma superficie. Fuente: McGaughey et al, 2006

En la mayor parte de los casos los pulsos quedan interceptados por la vegetación tal y como podéis observar en la figura anterior. No obstante, el 31 % de los pulsos que penetran por debajo del dosel de copas en este caso son los que nos permiten tener información de la estructura de la vegetación.

## 2.5.3 Cómo está clasificada la nube de puntos

Una de las singularidades de la captura de información LiDAR es que **una vez capturado** cualquier dato tenemos información de sus coordenadas: X,Y,Z e información de la intensidad, sin embargo **no tenemos pista alguna al respecto de qué tipo de objeto es**, salvo que sea agua, ya que no produce retorno.

Esto hace que para poder operar con información LiDAR un paso fundamental sea la clasificación de los datos a partir de la información en bruto. Para ello hay distintos métodos para trabajar en algoritmos de filtrado y clasificación. Los más utilizados son los **filtros basados en el cálculo de TIN**.

Lo primero que hace el algoritmo es seleccionar en celdas cuadradas algunos puntos bajos que son suelo con seguridad. Una vez ha hecho esto el algoritmo va eligiendo puntos cercanos a los clasificados como suelo, genera triángulos con ellos y calcula ángulos y distancias tal y como vemos en la figura. En función de esos ángulos y distancias y de los valores umbrales definidos el algoritmo decide si los puntos son o no suelo.

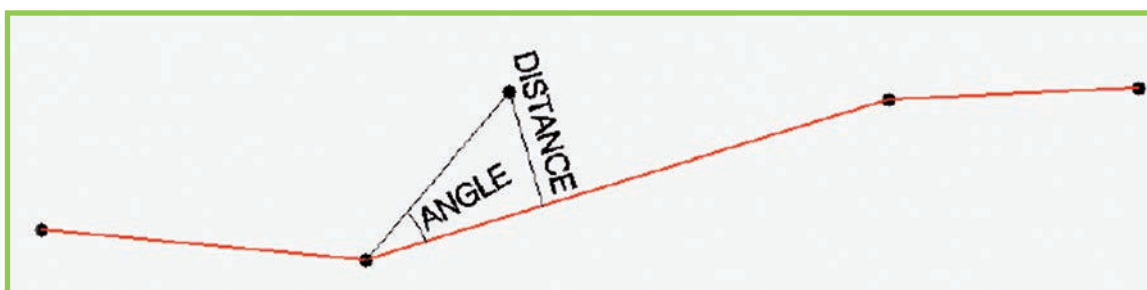


Figura 14 Proceso de clasificación de puntos

CAPÍTULO  
**2**

# INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

## 2.5.3 Cómo está clasificada la nube de puntos

De esta manera usando unos parámetros concretos pautados para tipos de terreno: “urbano”, “forestal sin pendiente”, etc. se clasifican los puntos atendiendo al siguiente estándar ASPRS<sup>1</sup>:

ASPRS Standard LiDAR Point Classes	
Classification Value (bits 0:4)	Meaning
0	Created, never classified
1	Unclassified <sup>1</sup>
2	Ground
3	Low Vegetation
4	Medium Vegetation
5	High Vegetation
6	Building
7	Clow Point (noise)
8	Model Key-point (mass point)
9	Water
10	Reserved for ASPRS Definition
11	Reserved for ASPRS Definition
12	Overlap Points <sup>2</sup>
13-31	Reserved for ASPRS Definition

Figura 15 Sistema de clasificación ASPRS

Tal y como es posible ver en la tabla anterior los más importantes a nivel forestal son el suelo (2), y la vegetación baja, media y alta (3, 4 y 5 respectivamente), que suelen equivaler a los siguientes rangos:

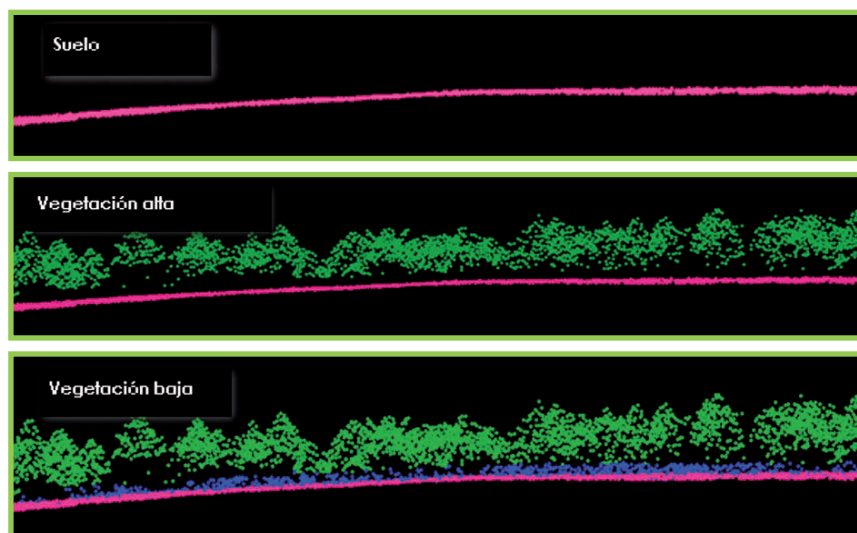


Figura 15 Ejemplo de clasificación de suelo y vegetación: Vegetación baja (3): < 0,5 m; Vegetación media (4): 0,5 - 2 m; Vegetación alta (5): > 2 m

<sup>1</sup> Códigos definidos por la ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), responsable del formato estándar de datos LiDAR “.LAS”.

CAPÍTULO  
**2**

# INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

## 2.5.3 Cómo está clasificada la nube de puntos

A partir de los elementos de la nube de puntos LiDAR clasificados como suelo (valor de clasificación "2"), se pueden generar modelos digitales de una gran resolución, cuyo límite tendrá que ver con la densidad de puntos de suelo que tengamos. Estos MDE generados a partir de LiDAR serán la base para la construcción de curvas de nivel.

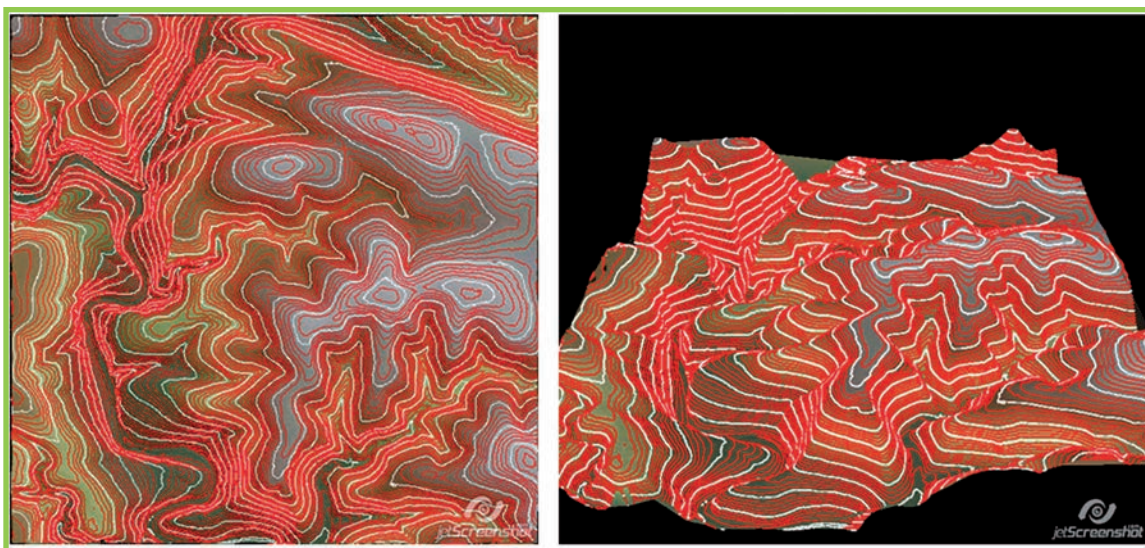


Figura 17 Modelo digital del terreno (MDT) y curvas de nivel obtenidos a partir de los puntos "suelo" de la clasificación.

## 2.6 Inventario LiDAR mediante métodos de masa

Una de las principales aplicaciones forestales es la realización de inventarios forestales. En vuelos con baja densidad de puntos se emplean los denominados métodos de masa. En éstos se realizan modelos que predicen las variables forestales de manera continua a partir de las relaciones existentes entre el comportamiento de la nube de puntos y la realidad de dicha variable en el terreno.

Éstos se basan en el ajuste de regresiones, normalmente no lineales, que relacionan los estadísticos de la nube de puntos LiDAR, con las principales variables de masa que necesitamos obtener en un inventario forestal (altura de a vegetación, número de árboles, área basimétrica, volumen, biomasa, carbono).

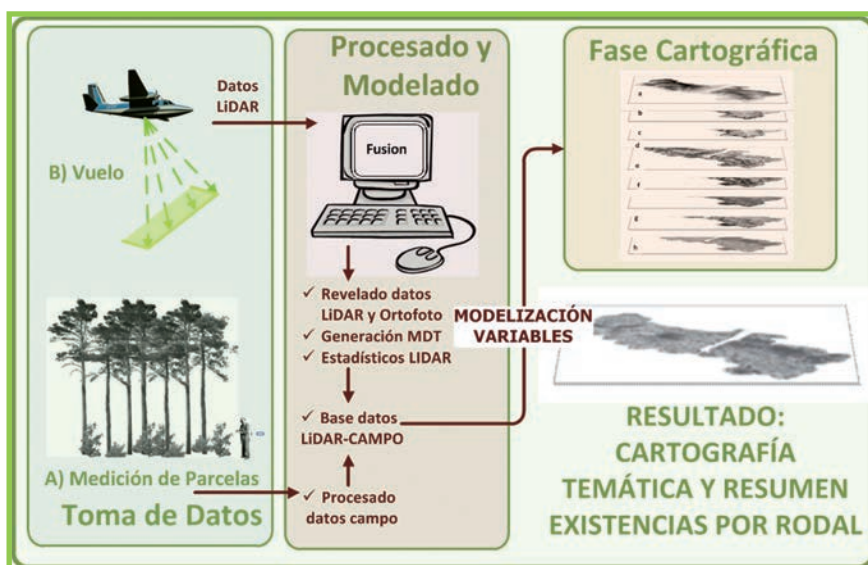


Figura 18 Flujo de trabajo en los métodos de masa



## INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

### 2.6 Inventario LiDAR mediante métodos de masa

Es recomendable disponer de la información del vuelo LiDAR, previamente al diseño del inventario de campo, ya que el procesado de los datos LiDAR nos va a dar una información muy valiosa para el diseño del muestreo de campo.

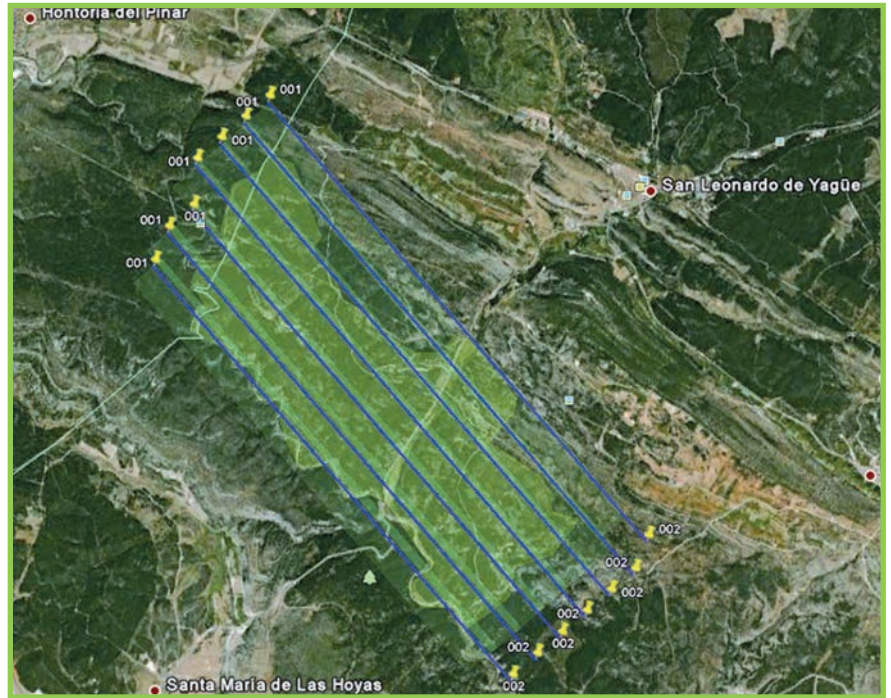


Figura 19 La toma de datos en campo comprende dos fases el vuelo y la medición de parcelas de campo.



Apoyándonos en la información disponible: mapa de vegetación, datos LiDAR procesados y conocimiento sobre el terreno, debemos proceder a la **estratificación de la masa**.

El estrato LiDAR puede tener un rango bastante amplio, en muchas ocasiones los estratos del inventario LiDAR diferencian especies y mezclas de especies.

Figura 20 Definición de estratos LiDAR que representen la variabilidad de la variable a pedecir.

## INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

### 2.6 Inventario LiDAR mediante métodos de masa

Es necesaria una muestra de parcelas de campo que represente la variabilidad de la masa en cada estrato, que según la bibliografía estadística debe ser de **al menos 30 parcelas/estrato**.

Se recomienda la utilización de la información LiDAR para analizar la variabilidad de la masa dentro de los estratos.

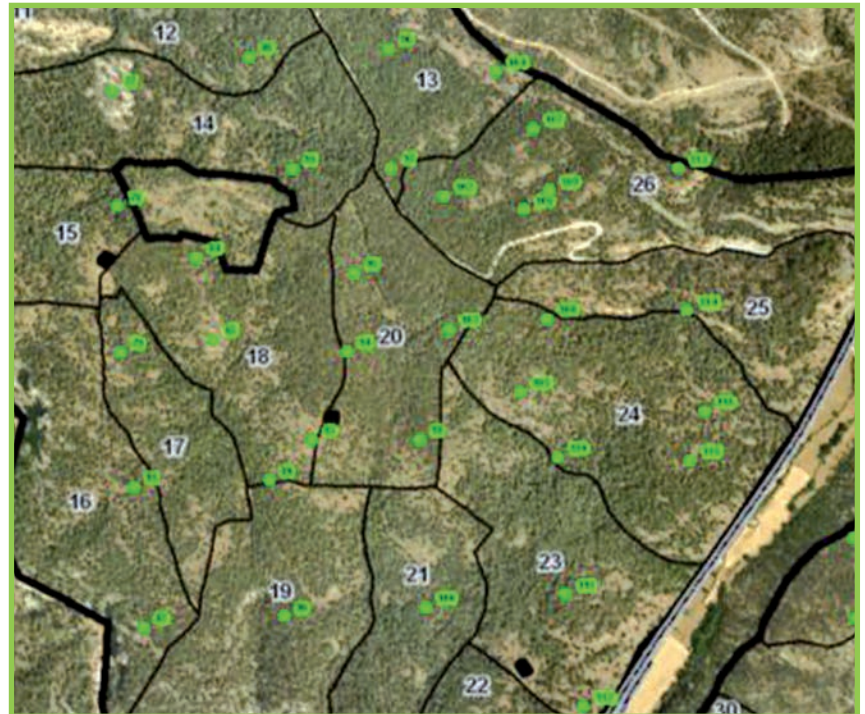


Figura 21 Determinación de las parcelas de inventario.

Con objeto de minimizar el error es importante que el **tamaño de parcela de campo coincida con el tamaño de celda** utilizado para la obtención de los estadísticos mediante el procesado de la nube de puntos LiDAR.

En los métodos de masa se comparan los estadísticos de la nube de puntos LiDAR en una parcela concreta con los resultados de la medición de campo de la citada parcela por lo que la precisión a la hora de medir el centro de esta parcela va a ser un factor determinante en que comparemos datos reales. Esto supone que haya que medir los centros de parcela con la mayor precisión posible, de hecho, aunque no hay un error determinado establecido, **se recomienda trabajar con parcelas de precisión submétrica**.

Figura 22 Información para la generación de modelos.

- Datos LiDAR : Archivos en formato LAS clasificados con una densidad dada

Procesado Datos LiDAR → Estadísticos

- Datos de Campo: Parcelas de 500-625 m<sup>2</sup> donde hemos medido variables de masa (diámetros normales, alturas, etc. )

Cubicación de Parcelas → Variables/ha

# INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

## 2.6 Inventario LiDAR mediante métodos de masa

Una vez realizado el trabajo de campo se procede a la obtención de modelos según este proceso:

1. Estimación de la variable en la parcela de campo.
2. Obtención de estadísticos LiDAR en las parcelas de campo
3. Ajuste de modelos Variable en campo- estadísticos LiDAR. Se podrán empelar modelos paramétricos y no paramétricos.

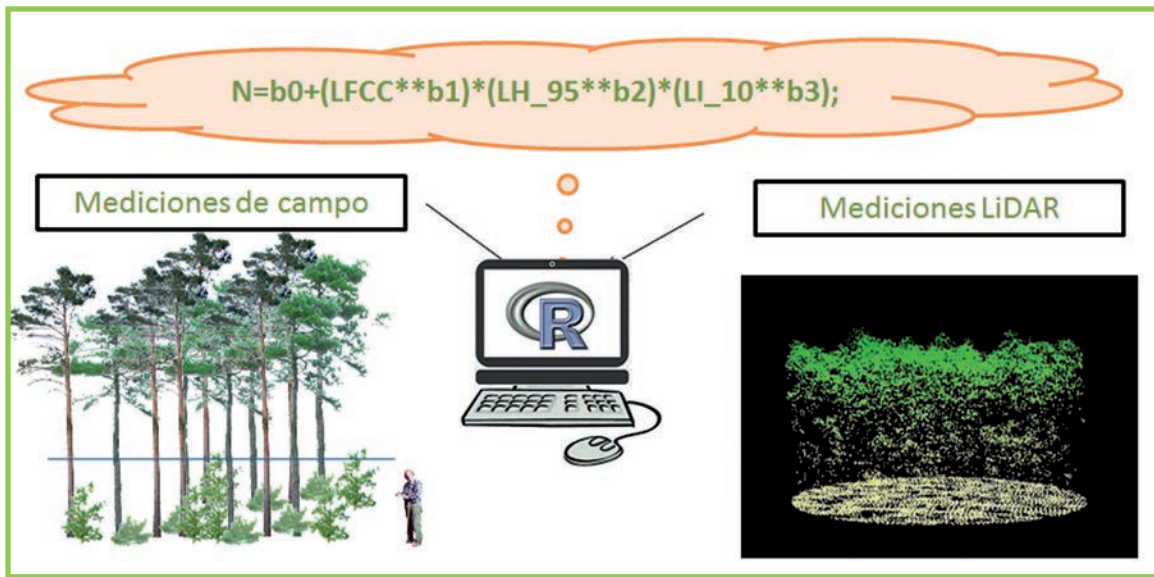


Figura 23 Generación de modelos

De la batería de modelos obtenidos se seleccionarán aquellos que generen mejor ajuste estadístico.

```

R Commander
-----
Fichero  Editar  Datos  Estadísticos  Gráficas  Modelos  Distribuciones  Herramientas  Ayuda

Conjunto de datos: Datos  Editar conjunto de datos  Visualizar conjunto de datos  Modelo: LinearModel.3

Ventana de instrucciones
load("C:/CURSOS_Y_JORNADAS/Curso_LiDAR_Agresta_2013/R/Practicas")
LinearModel.1 <- lm(V ~ LFCC +LH_20 +LH_50 +LH_95, data=Datos_practica)
summary(LinearModel.1)
summary(LinearModel.2, cor=FALSE)

Ventana de resultados
Call:
lm(formula = V ~ LFCC + LH_60, data = Datos)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.53732 -0.09979  0.03551  0.10635  0.26780

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -2.9485     0.8857  -3.329 0.001881 **
LFCC         0.9027     0.2231   4.045 0.000232 ***
LH_60        1.8340     0.1203  15.247 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Mensajes
[3] NOTA: El conjunto de datos Datos tiene 43 filas y 35 columnas.
[4] ERROR: No ha sido seleccionado ningún elemento.
    
```

Figura 24 Selección de modelos estadísticos

# INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LIDAR

## 2.6 Inventario LiDAR mediante métodos de masa

Es posible modelar cualquier variable que tenga sentido medir en campo, que será mejor ajustada cuanto mayor sea la correlación entre la estructura de la vegetación (datos LIDAR) y las variables biofísicas medidas.

Una vez **generados los modelos los aplicamos a toda la superficie** utilizando la cartografía de estadísticos generada mediante el procesado de todos los datos.

De esta manera tenemos una **cartografía de las variables modeladas de manera continua** en el territorio con una resolución equivalente al tamaño de celda que estemos usando para el inventario.

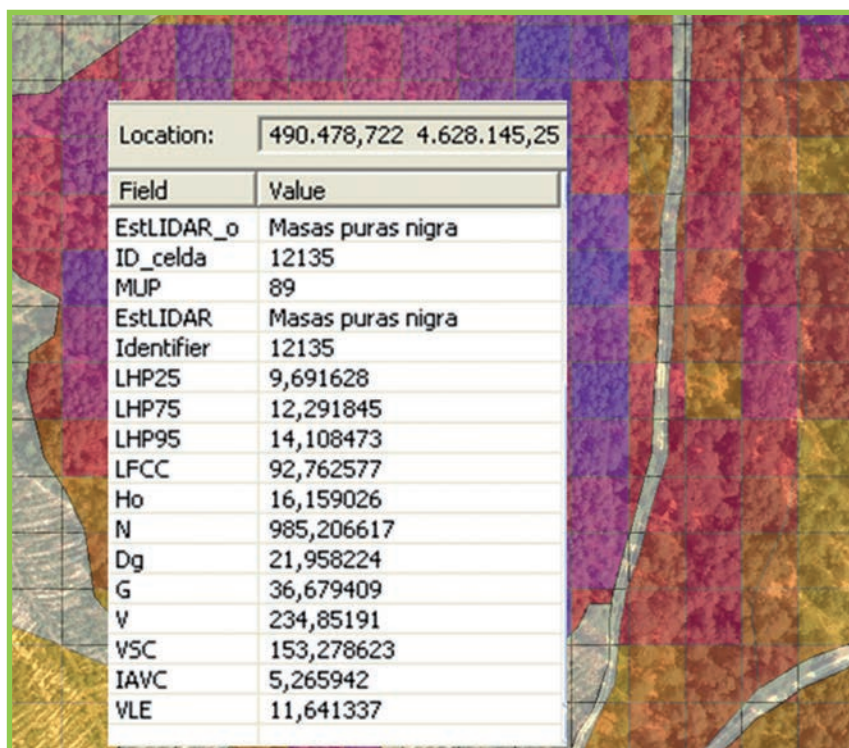


Figura 25 Aplicación de los modelos de manera continua a la zona de estudio.



## CAPÍTULO 3 HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS NECESARIAS

Trabajando con LIDAR es necesario utilizar una serie de software disponibles en el mercado para el análisis de estos datos, esto es, programas que permiten obtener información cuantitativa de los datos (segmenta, clasifica, filtra, fusiona, genera MDE).

En cuanto a las posibles herramientas con mayor potencial de análisis existentes en el mercado, en este manual se van a recomendar las siguientes:

- **Terrascan y Terrasolid.** Funcionan sobre la plataforma Microstation, software propietario. Se trata del paquete de herramientas más utilizado por las empresas de producción cartográfica en LiDAR.
- **LASTOOLS.** Lastools es una herramienta interesante de software propietario pero parcialmente libre. Está construida desde un punto de vista colaborativo y es una de las herramientas con mayor proyección existentes en la actualidad. En cuanto a las herramientas libres del paquete, destaca laszip, que nos permite comprimir las nubes de puntos LiDAR.
- **FUSION** Por último y entre los software libres más interesantes, podemos encontrar.
- **QGIS** No es propiamente un programa de análisis de datos LiDAR, si no un software SIG de escritorio, a través del cual pueden realizarse y lanzarse algoritmos de los programas anteriores. Siguiendo la política de utilizar software libre es un programa gratuito y de código abierto.
- **R:** es un entorno de software libre para la computación estadística y gráfica. Se instala sobre una gran variedad de sistemas operativos. Con R, es posible la obtención de modelos matemáticos que relacionen los estadísticos LiDAR con parámetros dasométricos tales como biomasa, volumen con corteza, área basimétrica.

## EVALUACIÓN DE LA BIOMASA EN ZONAS DE MATORRAL MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

### 4.1 El LiDAR del PNOA y sus limitaciones para el cálculo de biomasa en las formaciones de matorral

En 2009, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) motivado por una serie de usuarios que para distintas aplicaciones civiles necesitaban obtener Modelos Digitales de alta precisión a partir de tecnología LiDAR, toma la decisión de llevar a cabo una cobertura nacional de LIDAR, dentro del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), un proyecto cofinanciado entre la Administración General del Estado y las comunidades autónomas coordinado por el propio IGN y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

El potencial de estos datos de LIDAR del PNOA es muy elevado pero en el caso del cálculo de biomasa en formaciones de matorral en la península, especialmente, en la zona cantábrica se tiene constancia de algunas limitaciones.

Las nubes de puntos proporcionadas por el PNOA están clasificadas por métodos semiautomáticos utilizando el software TERRASCAN, asignando a cada retorno los siguientes códigos (clases ASPRS):

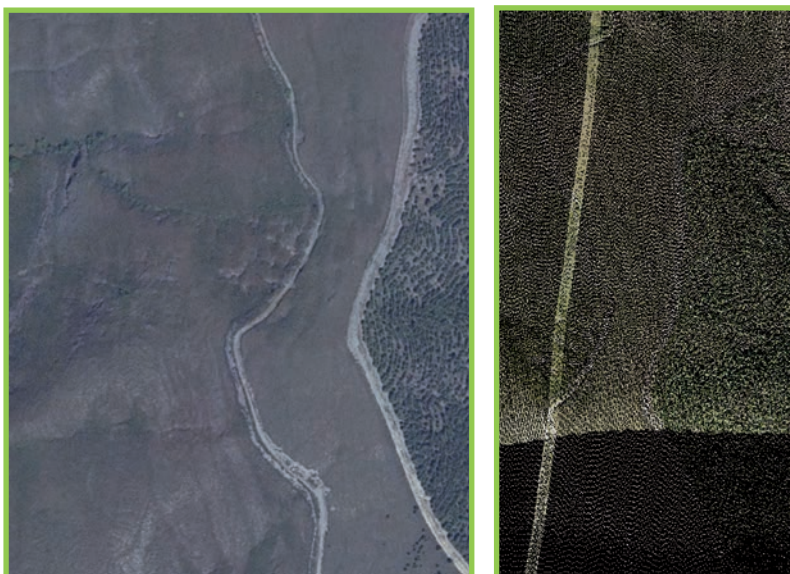
- 0. Sin datos
- 1. Sin clasificar
- 2. Suelo
- 3. Vegetación baja
- 4. Vegetación media
- 5. Vegetación alta
- 6. Edificio

La clasificación semiautomática realizada a nivel nacional por el equipo del PNOA identifica adecuadamente la vegetación alta correspondiente a las zonas arboladas, sin embargo por debajo de 2 m de altura sobre el nivel del suelo es mayor la dificultad para discriminar entre puntos correspondientes al terreno y a puntos de vegetación.

#### 4.1.1 Mejoras de la clasificación de la nube de puntos 0,4 m - 1 m.

Con objeto de verificar la calidad de la clasificación de los datos LiDAR para estudiar el matorral entre 0,4 m y 4 m de altura, en la acción B4 del proyecto Life Enerbioscrub se realizaron varias pruebas de procesado de los datos, cuyos resultados mostraron problemas de clasificación en el tramo entre 0,4 m y 1 m por encima de la altura del suelo.

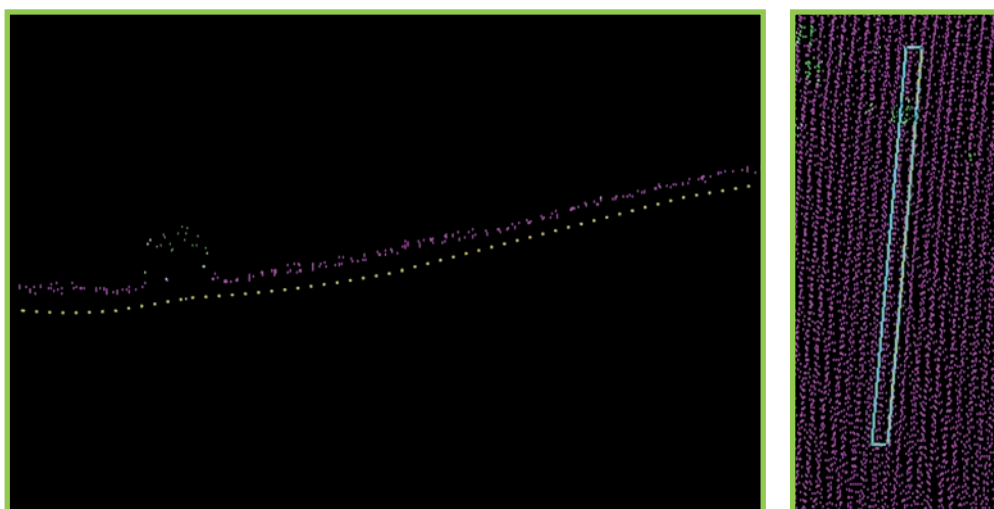
**Figura 26** Imagen de ortofotografía aérea de un Brezal a la izquierda. A la derecha recreación 3D con información LiDAR



## EVALUACIÓN DE LA BIOMASA EN ZONAS DE MATORRAL MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

### 4.1.1 Mejoras de la clasificación de la nube de puntos 0,4 m - 1 m.

**Figura 27** Corte y perfil de la nube de puntos de LiDAR de la figura anterior. En color rosa los puntos que están clasificados como suelo (2) y sin embargo, se trata de vegetación baja.



Debido a estos problemas de clasificación es necesario abordar la reclasificación de los datos para afinar la separación entre suelo y vegetación de baja altura mediante unas de las herramientas existentes en el mercado lasground, perteneciente al paquete de herramientas de Lastools). Para ello se recomienda realizar configuración manual de los parámetros de la herramienta, hasta encontrar una combinación óptima para afinar la clasificación del matorral.

**Figura 28** Los puntos amarillos constituyen puntos de información correspondientes a vegetación por debajo de 1 m de altura obtenidos en el proceso de reclasificación con Lasground. Comparación entre los datos previos a la clasificación y tras la reclasificación de la nube de puntos LiDAR mediante la herramienta LASGROUND en la parcela Z2\_222 de L2 Garray



### 4.1.2 Limitaciones

Se considera que los factores que afectan de forma negativa a la clasificación son la baja penetrabilidad de los pulsos láser en los tipos de matorral estudiados (especialmente en brezales y tojales), caracterizados por una elevada fracción de cubierta, así como la dificultad para la discriminación entre pulsos correspondientes a suelo y vegetación (retornos clasificados como vegetación por encima de 0,4 metros) en el caso de alturas bajas (inferiores a 1 m), dada la baja densidad de pulsos láser (0,5 pulsos/m<sup>2</sup>) del vuelo LiDAR del PNOA.

Como conclusión puede decirse, que en muchos casos esta información LiDAR ya capturada y disponible es una fuente de información válida para la caracterización y cuantificación del matorral. Sin embargo, en algunos casos, debido a la propia estructura de las masas de matorral y la densidad de puntos del vuelo LiDAR disponible, **la información del PNOA no permite caracterizar de forma adecuada la estructura del matorral actual.**

Otro factor a considerar es el tiempo transcurrido desde el vuelo. Por ejemplo, la rápida dinámica de los matorrales cantábricos unido a los años transcurridos desde la realización del vuelo LiDAR disponible pueden recomendar el uso alternativo de información satelital actualizada. En cambio la dinámica de matorral que encontramos en zonas más mediterráneas hace más favorable el uso del LiDAR en la caracterización de matorral.

## EVALUACIÓN DE LA BIOMASA EN ZONAS DE MATORRAL MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

### 4.2 Análisis de la estructura del estrato de matorral

#### 4.2.1 Obtención del MDE

Como ya se ha descrito, en el caso del matorral se requiere realizar una nueva clasificación de la nube de puntos, de manera que sea posible, su normalización, es decir, un proceso por el cual a cada retorno de vegetación se le extrae la elevación del terreno definida por el MDE y así obtener las alturas de la vegetación sobre el suelo.

El proceso de normalización de la vegetación consiste en restar a la altitud del dato LiDAR clasificado como vegetación, la altitud del terreno para obtener la altura de la vegetación sobre el suelo.

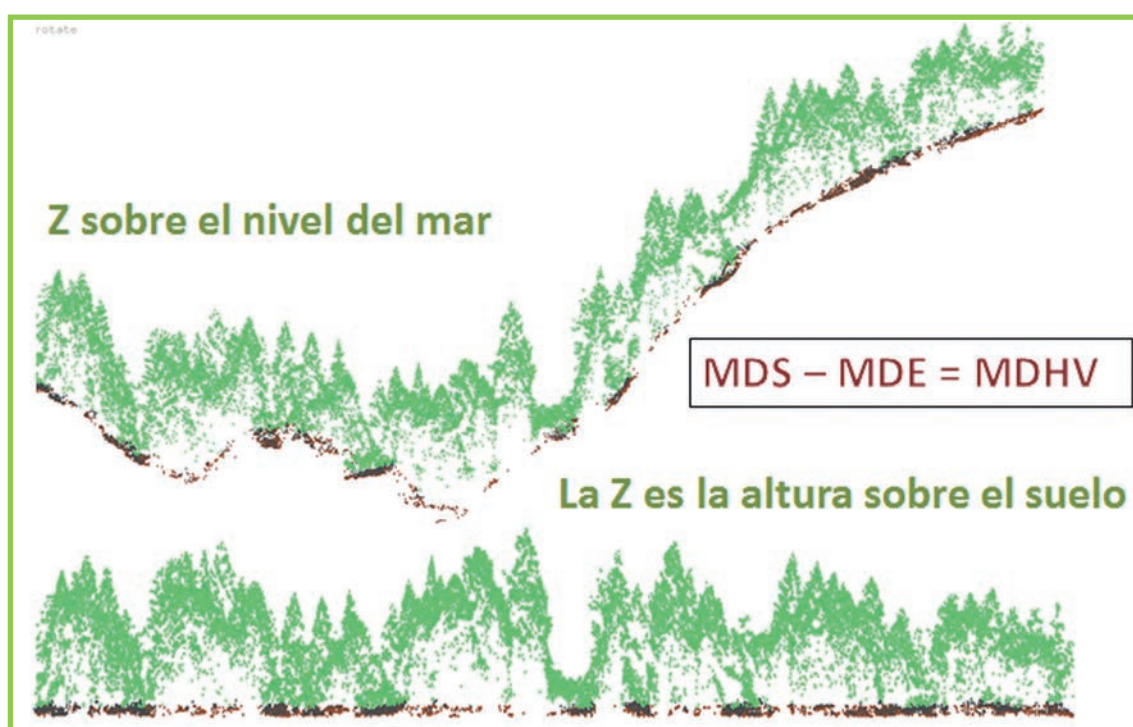


Figura 29 Normalización de la altura de la vegetación.

Para generar el modelo de elevaciones, se emplea el comando CreateGridSurface del programa FUSION.

#### 4.2.2 Estadísticos LiDAR

Para poder analizar la información de la nube de puntos es necesario que la procesemos estadísticamente, para lo cual debemos definir un tamaño de celda que sea lo suficientemente grande para que dispongamos en cada una de las cuadrículas del número suficiente de puntos para tener una estadística robusta.

Es decir, dependiendo de la densidad de puntos del LiDAR podremos hacer estadística en celdas de mayor o menor tamaño. En el caso del proyecto LIFE Energioscrub, basándose en datos LiDAR del PNOA, se ha utilizado una celda de 400 m<sup>2</sup>, es decir, de 20 x 20 m, que es el tamaño mínimo de celda, que permita conseguir una estadística robusta (con medias de 200 retornos por celda).

Para cada una de las celdas de 20x20 metros se deben calcular una colección de estadísticos a partir de los retornos correspondientes a vegetación por encima de 0,4 metros (Tabla 1). Los estadísticos hacen referencia tanto a alturas (altura mínima, máxima, mediana, media, desviaciones típicas, percentiles de alturas, estadísticos de dispersión, etc.) como a intensidades (mínimas, máximas, percentiles, etc.).



## EVALUACIÓN DE LA BIOMASA EN ZONAS DE MATORRAL MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

### 4.2.1 Obtención del MDE

Los estadísticos se obtienen a través del comando GridMetrics, del programa FUSION, introduciendo como uno de los parámetros de entrada el MDE antes obtenido.

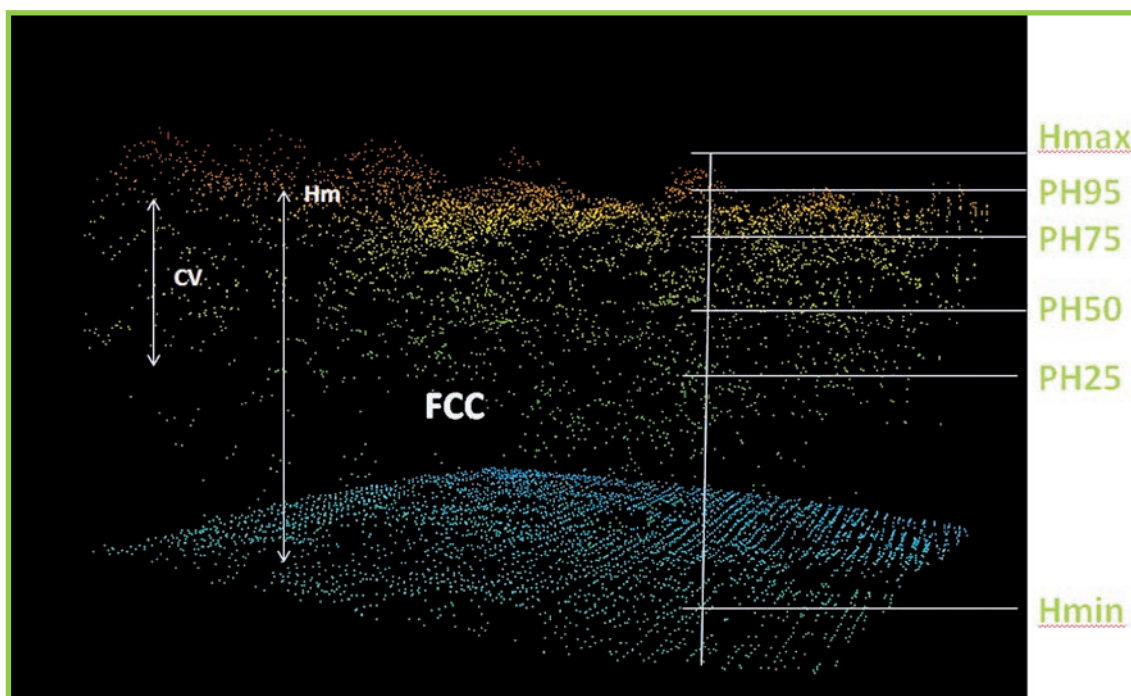


Figura 30 Identificación de estadísticos LiDAR para una celda

# EVALUACIÓN DE LA BIOMASA EN ZONAS DE MATORRAL MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

## 4.2.1 Obtención del MDE

**Tabla 1** Estadísticos estimados con retornos LiDAR con altura superior a 40 cm en celdas cuadradas de 20 metros de lado (para formaciones de matorral).

Estadísticos LiDAR relacionados con la elevación y el número de retornos	Estadísticos LiDAR relacionados con la elevación únicamente
Mínima: Altura mínima de la celda	Número de primeros retornos por encima de la altura mínima (altura mínima: la que le definamos en la configuración habitualmente se usan 2 metros para el arbolado). En este caso por encima de 0,4 m, para la masa de matorral
Máxima: Altura máxima de la celda	Número segundos retornos por encima de la altura mínima definida
Media: Altura media de la celda	Número terceros retornos por encima de la altura mínima definida
Moda: valor con una mayor frecuencia en una distribución de datos en la celda	Número cuartos retornos por encima de la altura mínima definida
Desviación estándar: raíz cuadrada de la varianza de la celda	Número quintos retornos por encima de la altura mínima definida
Varianza: media de las diferencias cuadráticas de "n" alturas puntuaciones con respecto a su media aritmética en la celda	Número sextos retornos por encima de la altura mínima definida
Coefficiente de variación: relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable	Número séptimos retornos por encima de la altura mínima definida
Rango intercuartílico: Diferencia entre el tercer y el primer cuartil de una distribución	Clow Point (noise)
Número octavos retornos por encima de la altura mínima definida	Model Key-point (mass point)
Skewnees: Mide la asimetría a nivel de celda	Número novenos retornos por encima de la altura mínima definida
Kurtosis: coeficiente de apuntamiento de la celda	Otros retornos por encima de la altura mínima definida
Percentil 1: Altura tal que el 1 % de los retornos están por debajo de ella.	Porcentaje de primeros retornos por encima de la altura de corte definida. Fracción de Cabida Cubierta FCC (altura mínima: la que le definamos en la configuración habitualmente se usan 2 metros para el arbolado). En este caso por encima de 0,4 m, para la masa de matorral
Percentil 10: Altura tal que el 10 % de los retornos están por debajo de ella.	Todos los primeros retornos por encima de la altura de corte definida
Percentil 20: Altura tal que el 20 % de los retornos están por debajo de ella.	Porcentaje de primeros retornos por encima de la altura media
Percentil 25: Altura tal que el 25 % de los retornos están por debajo de ella.	Porcentaje de primeros retornos por encima de la moda
Percentil 30: Altura tal que el 30 % de los retornos están por debajo de ella.	Porcentaje de todos los retornos por encima de la altura media
Percentil 40: Altura tal que el 40 % de los retornos están por debajo de ella.	Porcentaje de todos los retornos por encima de la moda

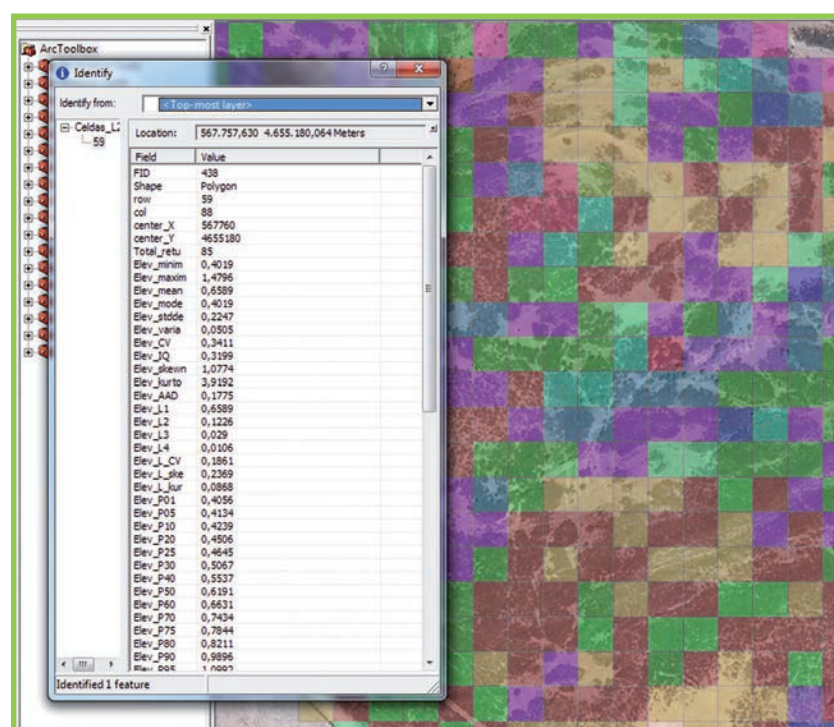


# EVALUACIÓN DE LA BIOMASA EN ZONAS DE MATORRAL MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

## 4.2.1 Obtención del MDE

Tabla 1 Estadísticos estimados con retornos LIDAR con altura superior a 40 cm en celdas cuadradas de 20 metros de lado (para formaciones de matorral).

Estadísticos LiDAR relacionados con la elevación y el número de retornos	Estadísticos LiDAR relacionados con la elevación únicamente
Percentil 50: Altura tal que el 50 % de los retornos están por debajo de ella.	100 * (Todos los retornos por encima de la media)/ (Primeros retornos por encima de la media)
Percentil 60: Altura tal que el 60 % de los retornos están por debajo de ella.	100 * (Todos los retornos por encima de la moda)/ (Primeros retornos por encima de la moda)
Percentil 70: Altura tal que el 70 % de los retornos están por debajo de ella.	Número de primeros retornos por encima de la altura media
Percentil 75: Altura tal que el 75 % de los retornos están por debajo de ella.	Número de primeros retornos por encima de la moda
Percentil 80: Altura tal que el 80 % de los retornos están por debajo de ella.	Numero de retornos totales por encima de la altura media
Percentil 90: Altura tal que el 90 % de los retornos están por debajo de ella.	Numero de retornos totales por encima de la moda
Percentil 95: Altura tal que el 95 % de los retornos están por debajo de ella, muy relacionada con la altura dominante	Número total de primeros retornos en la celda
Percentil 99: Altura tal que el 99 % de los retornos están por debajo de ella.	Número total de retornos en la celda



Llevando la batería de estadísticos generados para las celdas a un sistema de información geográfico, en nuestro caso a QGIS, tendremos cartografía temática de cómo se distribuyen los estadísticos de la vegetación en el territorio.

Destacan por su interés para el diseño del muestreo de campo los estadísticos porcentaje de primero retornos por encima de la altura de corte (0,4 m), indicador de la fracción de cabida de cubierta (FCC) de cada celda, y altura media (HM).

Figura 31 Capa vectorial de estadísticos LIDAR en el área demostrativa de Acrijos (L2Z1 Garray). Life Enerbiocrub. Acción B4

# EVALUACIÓN DE LA BIOMASA EN ZONAS DE MATORRAL MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

## 4.3 Construcción de modelos estadísticos

### 4.3.1 Obtención de estratos de muestreo

En cada celda 20 x 20 m, se deben combinar los estadísticos los estadísticos fcc (fracción de cabida cubierta) y hm (altura media), clasificados por rangos. Se obtiene pues, una superficie clasificada según los estratos antes mencionados.

Tabla 2 Variables y rangos utilizados en la definición de estratos para cada especie.

Variable	Rango
FCC	< 20 %
	20-40 %
	40-60 %
	> 60 %
HM	< 0,7 m
	0,7-1 m
	1-1,5 m
	> 1,5 m

### 4.3.2 Parcelas de muestreo

Como ya se ha mencionado para construir modelos matemáticos que relacionen las existencias con los estadísticos LiDAR, es necesario el cálculo de dichas existencias en una serie de parcelas de muestreo. Para construir modelos robustos, se ha demostrado que se requieren un mínimo de 30 parcelas por cada modelo que se pretenda construir. Así, la distribución de las 30 parcelas de muestreo por área de estudio debe ser proporcional a la superficie correspondiente a cada combinación de valores presente en el ámbito de muestreo (estrato), empezando por aquellos más representativos según superficie. Para seleccionar la ubicación de las parcelas se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- Que se encontraran en zonas homogéneas y suficientemente grandes para ubicar la totalidad de la parcela dentro del mismo estrato.
- Que fueran representativas de la variabilidad pretendida.

Las parcelas de muestreo deben ser circulares de 11,3 metros de radio en planta, de superficie equivalente a una celda de información LiDAR de 20x20 m (400 m<sup>2</sup>). En cada uno de estos puntos se pueden localizar a su vez 5 subparcelas circulares de 2 metros de radio (12,6 m<sup>2</sup>) en las que concentrar los trabajo de desbroce y pesado de matorral.

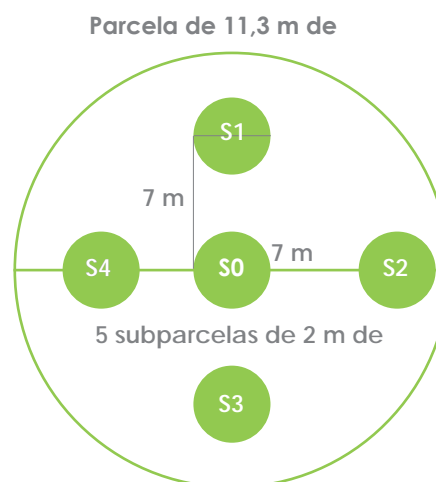


Figura 32 Diseño parcela de muestreo



## EVALUACIÓN DE LA BIOMASA EN ZONAS DE MATORRAL MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

### 4.3.1 Obtención de estratos de muestreo

Los parámetros a medir son los siguientes:

**Tabla 3** Toma de datos a realizar en la parcela para la construcción de modelos

Toma de datos en la parcela	Toma de datos en la subparcela
Altura dominante (cm)	Altura dominante (cm)
Altura máxima (cm)	Altura máxima (cm)
% relativo de especies presentes	% relativo de especies presentes
% FCC matorral en la parcela	% FCC matorral en la parcela
	Biomasa fresca (pesado de todos los individuos de especies leñosas de la subparcela mediante corta con motosierra y pesaje in situ)
	Muestra representativa de entre 1,5 kg y 2,5 kg para su envío al laboratorio del CEDER



**Figura 33** Desbroce de *Cistus laurifolius* y pesaje in situ en el área demostrativa de Acrijos L2Z1 Garray

## EVALUACIÓN DE LA BIOMASA EN ZONAS DE MATORRAL MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

### 4.3.3 Selección de modelos estadísticos

En el proceso de diseño y ajuste de regresiones se pueden elaborar varias baterías de modelos de entre las cuales se deben seleccionar aquellos que proporcionaron mejores resultados en la fase de diagnóstico y validación. Se pueden generar modelos lineales y no lineales.

Para la selección de modelos se deben utilizar diferentes criterios:

- En primer lugar se debe realizar una diagnosis para comprobar el grado de cumplimiento de los requerimientos estadísticos de cada tipo de modelo.
- Posteriormente, se estima la bondad de ajuste del modelo a partir de la base de datos utilizada en su construcción, mediante el cálculo del R2, el eam (error absoluto medio) y el rmse (error cuadrático medio).
- Por otro lado se puede calcular el AIC (criterio de información de Akaike) de cada modelo y comparar los resultados entre sí, eligiendo aquellos que tengan un AIC menor;
- Por último, es posible realizar una validación cruzada "leave one out" de los modelos preseleccionados con los criterios anteriores. Para esta fase de selección de modelos se puede utilizar los siguientes paquetes de R: stats, DAAG, AICcmodavg.

Los estadísticos que se muestran más significativos en la obtención de modelos para el cálculo de biomasa de matorral son los siguientes:

- LFCC la fracción de cabida cubierta de LiDAR (Percentage.first.returns.above.0.40). Porcentaje de primeros retornos por encima de la altura de corte definida. Fracción de Cabida Cubierta FCC en este caso por encima de 0.4 m
- Percentil 40: Altura tal que el 40 % de los retornos están por debajo de ella.

## 4.4 Resultados de inventario

En resumen, se genera una cartografía de celdas de tamaño 20x20 m (tamaño equivalente a la superficie de las parcelas de campo), correspondientes a las celdas de procesado de la información LIDAR. De esta forma, se obtiene una cartografía digital continua para la zona de estudio en la que se recogen los valores por hectárea de la variable biomasa seca (t/ha) para cada una de las celdas.

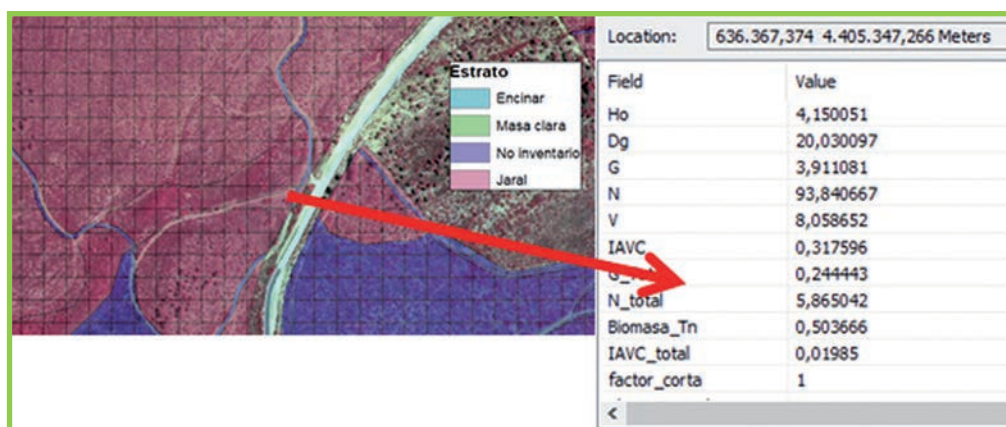


Figura 34 Resultado de inventario LIDAR. Se obtienen variables para cada celda.

# CASOS DE ESTUDIO: ACCIÓN B4 LIFE ENERBIOSCRUB Navas del Marqués

## 5.1 Introducción al ámbito de estudio de las especies inventariadas

El área que se ha estudiado en el ámbito del proyecto se centran en cuatro localidades de España: L1-Las Navas del Marqués (Ávila). Se ha establecido un radio de suministro de 20 km en torno a la central de distrito a alimentar con biomasa de matorral.

El matorral en el área de estudio está formado por escobonales de *Genista cinerascens* situados en laderas de pendiente suave y moderada.

Tabla 4 Superficies de actuación potencial definidas en la acción A1

Zona de actuación	Tipo de matorral	Radio influencia (km)	Superficie potencial (ha)	Provincias incluidas
L1 (Las Navas del Marqués)	Escobonal	20	125.662,87	Ávila, Madrid y Segovia

El trabajo de campo se ha centrado en dos áreas:

- L1Z1: Majada de Santa María
- L1Z2: Matallana

Tabla 5 Caracterización de las áreas demostrativas

Área demostrativa	Superficie parcial (ha)	Superficie total (ha)	Puntos de muestreo (nº)
L1Z1 (Majada de Santa María)	16,5	29	15
L1Z2 (Matallana)	12,34		15



Figura 35  
Localización de las superficies de actuación L1Z1, Majada de Santa María.



Figura 36  
Localización de las superficies de actuación L1Z2, Matallana

## CASOS DE ESTUDIO: ACCIÓN B4 LIFE ENERBIOSCRUB Navas del Marqués

### 5.2 Ajuste modelos regresión biomasa con información LiDAR

Una vez levantadas las parcelas de campo y conocidas sus coordenadas con precisión submétrica se calculó la batería de estadísticos de coberturas y distribución de alturas de la vegetación correspondiente a cada una de las parcelas medidas, de forma que fuera posible describir mediante información LiDAR la estructura del matorral en cada parcela de campo. Los estadísticos calculados para las parcelas de inventario son los mismos que los estimados en toda la superficie de la zona de trabajo en celdas cuadradas de 20x20 m.



Figura 37 Levantamiento de parcelas de campo en la zona de Las Navas del Marqués

Una vez conocidos los coeficientes de transformación de materia verde a materia seca para cada parcela (datos proporcionados por CEDER), se procedió al cálculo del peso de materia seca por hectárea en cada una de ellas.

Tabla 6 Resultados de las parcelas de campo

Variable	mean	sd	Min	Máx	nº parcelas
Hm (m)	1.56	0.33	0.70	2.10	30
Biomasa seca (t/ha)	16.28	8.62	0.47	36.14	30

## CASOS DE ESTUDIO: ACCIÓN B4 LIFE ENERBIOSCRUB Navas del Marqués

### 5.2 Ajuste modelos regresión biomasa con información LiDAR

Se ajustaron, por tanto, modelos de regresión multivariable para la estimación de la variable biomasa seca (t/ha) para la especie *Genista cinerascens* (*Genista*).

Tabla 7 Bondad de ajuste de los modelos paramétricos obtenidos

Variable	Modelo (tipo)	Promedio	Promedio diferencias	Promedio diferencias (%)	eam	eam (%)	emc	eam (%)	R <sup>2</sup>
Biomasa seca (t/ha)	Lineal	16.28	-0.0001	0.00%	(%)	eam	eam	22.08%	0.81
Biomasa seca (t/ha)	Potencial	16.28	0.07	0.45%	(%)	R	4.82	29.64%	0.75

eam = error cuadrático medio; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación

Tabla 8 Resultados validación cruzada de los modelos paramétricos obtenidos

Variable	Modelo (tipo)	Promedio	Promedio diferencias	Promedio diferencias (%)	eam	eam (%)	emc	eam (%)	R <sup>2</sup>
Biomasa seca (t/ha)	Lineal	16.28	0.059	0.36%	3.21	19.74%	4.18	25.65%	0.77
Biomasa seca (t/ha)	Potencial	16.28	0.065	0.40%	4.20	25.77%	5.81	35.70%	0.55

eam = error cuadrático medio; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación

### 5.3 Estimación de biomasa de matorral

Dada las limitaciones antes mencionadas respecto a los datos LIDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea para el cálculo de biomasa de las formaciones de matorral, se realiza el cálculo del modelo de regresión ajustado para la especie *Genista cinerascens* y se ha aplicado a la cartografía de escobonales correspondiente a la superficie potencial de actuación de Las Navas del Marqués (L1); esta cartografía de matorral se ha obtenido a partir de la Cartografía de la vegetación en las áreas desarboladas del Mapa Forestal de España a escala 1:50.000 (MFE50) y el Mapa Forestal de España a escala 1:25.000 (MFE25); se ha generado una cartografía de celdas de tamaño 20x20 m (tamaño equivalente a la superficie de las parcelas de campo), correspondientes a las celdas de procesamiento de la información LIDAR. De esta forma, se ha obtenido una cartografía digital continua para la zona de estudio en la que se recogen los valores por hectárea de la variable biomasa seca (t/ha) para cada una de las celdas.

Tabla 9 Resultados de inventario

Biomasa seca (t)	Biomasa media (t/ha)
83.333,12	5,71

# AUTORES



MANUAL PARA LA CUANTIFICACIÓN DE EXISTENCIAS DE BIOMASA EN  
MASAS FORESTALES DE MATORRAL MEDIANTE METODOLOGÍA LIDAR  
**LIFE ENERBIOSCRUB**

## **Agresta S.Coop.**

Natalia Bernal Caputo

Adela Trassierra Villa

Jessica Esteban Cava

Jose Luis Tomé Morán

Tomás Sánchez Pellicer

Alfredo Fernández Landa

Pablo Sabin Galán



MANUAL PARA LA CUANTIFICACIÓN DE EXISTENCIAS DE BIOMASA EN  
MASAS FORESTALES DE MATORRAL MEDIANTE METODOLOGÍA LIDAR  
LIFE ENERBIOSCRUB

Promotor:



Agresta S. Coop.  
[www.agresta.org](http://www.agresta.org)