



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

Mesa Temática: INCENDIOS FORESTALES

## Efecto de la densidad de pulsos LiDAR en la caracterización estructural de combustibles en masas de pinar



Eva Marino<sup>1</sup>

José Luis Tomé<sup>1</sup>, Javier Madrigal<sup>2</sup>, Mercedes Guijarro<sup>2</sup>, Carmen Hernando<sup>2</sup>



<sup>1</sup> AGRESTA Sociedad Cooperativa

<sup>2</sup> INIA-CIFOR, Laboratorio de Incendios Forestales

Plasencia, 29 junio 2017





*Efecto de la densidad de pulsos LiDAR en la caracterización estructural de combustibles en pinar*

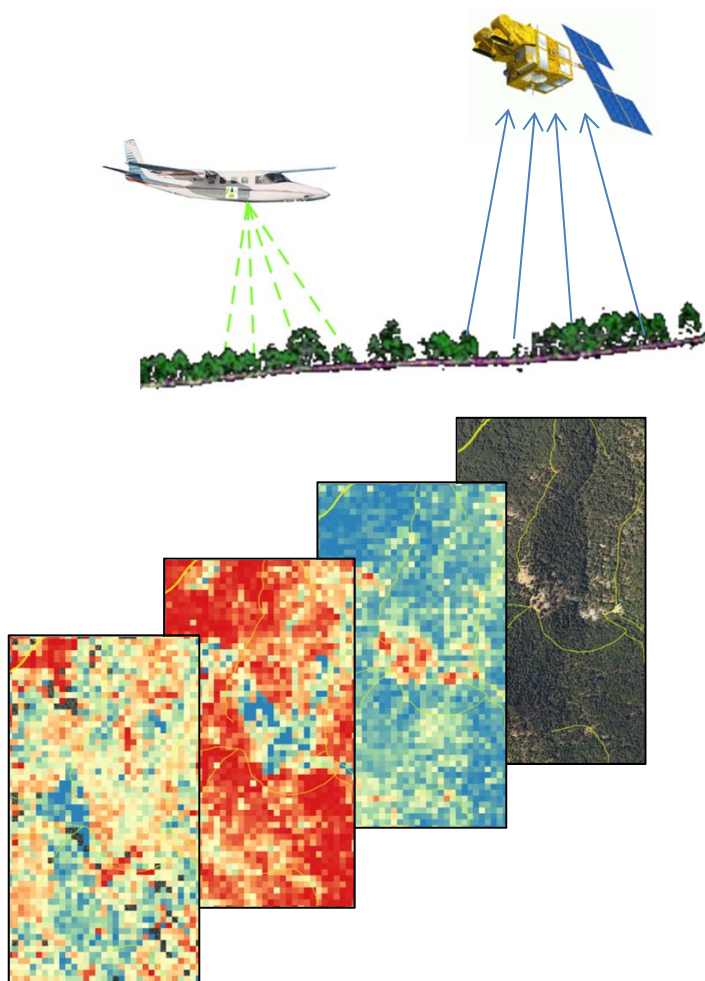


## Proyecto GEPRIF

Reducción de la Severidad del Fuego Mediante Nuevas Herramientas y Tecnologías para la Gestión Integrada de la Protección contra los Incendios Forestales



## OBJETIVO 1: Nuevos sistemas de evaluación de los combustibles



### Tecnologías complementarias

LiDAR

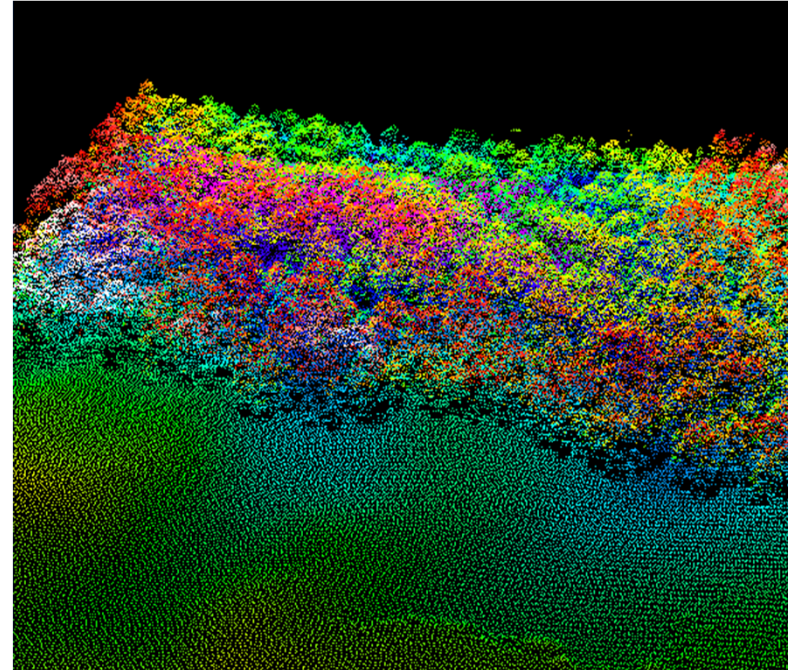
Imágenes espectrales



- Caracterización 3D de la estructura de los combustibles forestales
- Evolución de la humedad del combustible y su inflamabilidad
- Cartografía dinámica del riesgo de incendio integrando la variabilidad estacional

## LiDAR aéreo: antecedentes

- Revolución: adquisición masiva de información en grandes superficies
- Disponibilidad: PNOA cobertura nacional
- Gran potencial en aplicaciones forestales: uso más generalizado
- Info 3D: estructura de los combustibles
- ¿Son adecuadas las características de los vuelos LiDAR que usamos?



### Objetivo específico

- Analizar el efecto de densidad de pulsos LiDAR aéreo en una zona forestal
- Comparativa de métricas derivadas de vuelos distintos
  - Impacto en la modelización de parámetros estructurales (combustibles)



## Zona de estudio

Monte Pinar de Valsaín, Segovia (PN Sierra de Guadarrama)

- Masa natural de pino silvestre (7400 ha)
- Gestión forestal sostenible compatibilizando usos (producción, recreativo...)



- Buena regeneración natural
- Pinar con distintas estructuras (continuidad, estratos, regeneración)



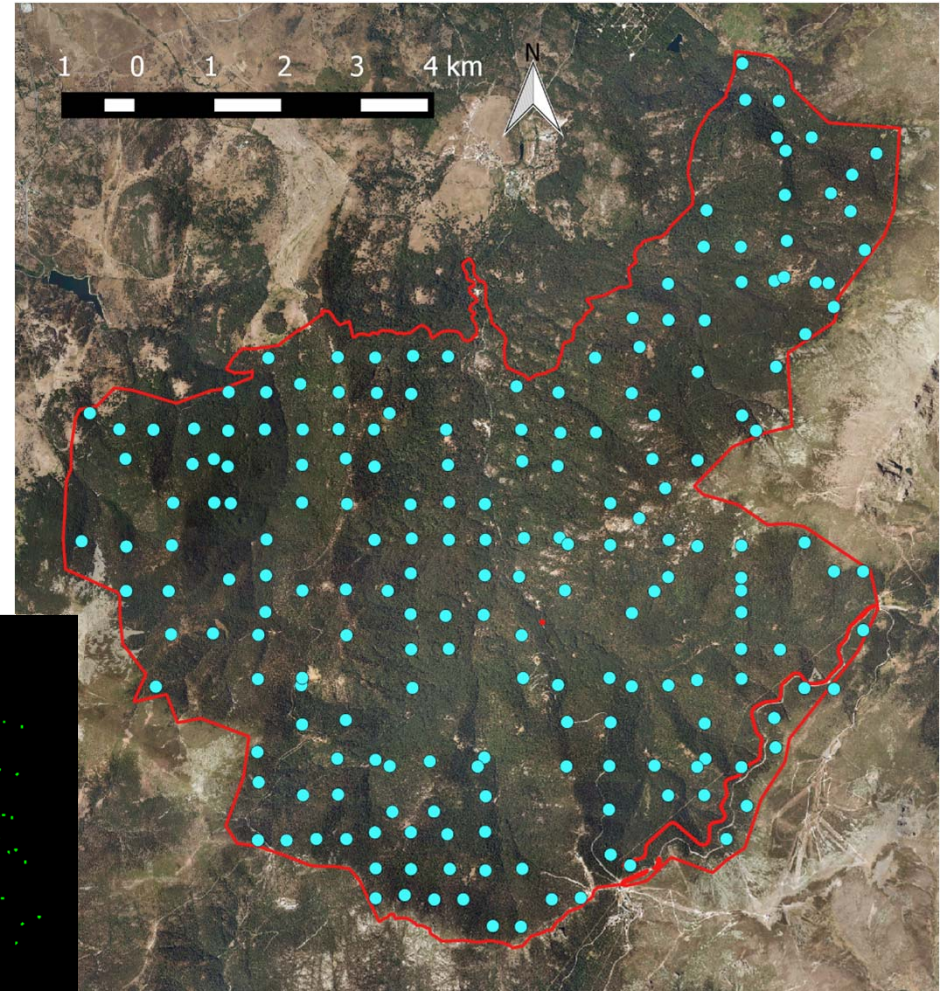
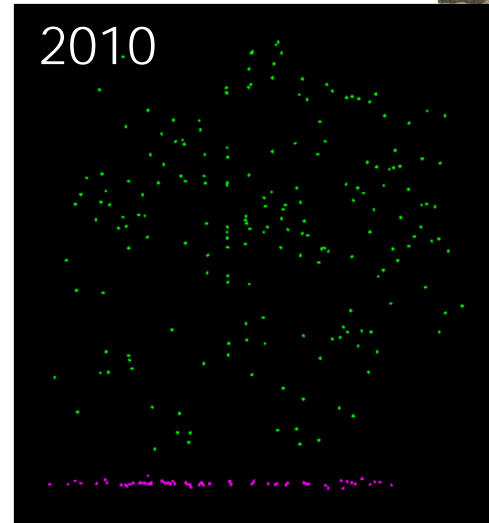
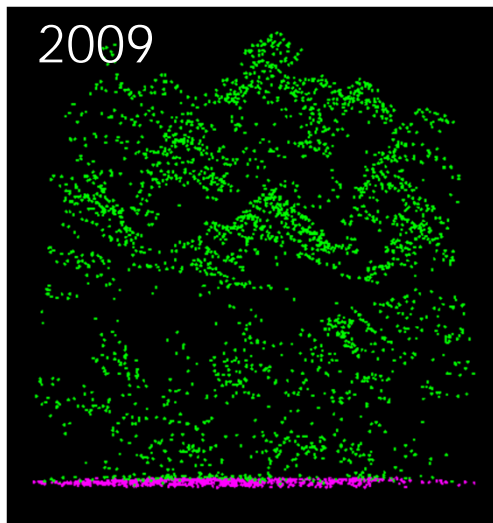
## Fuentes de datos

### Inventario de campo

- 202 parcelas circulares ( $r=13$  m)
- GPS submétrico

### Datos LiDAR con distinta densidad

- Vuelo 2009 (específico):  $1,5-5$  p/m<sup>2</sup>
- Vuelo 2010 (PNOA):  $0,5$  p/m<sup>2</sup>





## Variables estructurales

Altura dominante ( $H_0$ )

Altura de pies menores ( $H_{\text{menores}}$ )

Nº pies menores ( $N_{\text{menores}}$ )

Carga de combustible disponible en las copas (CFL)

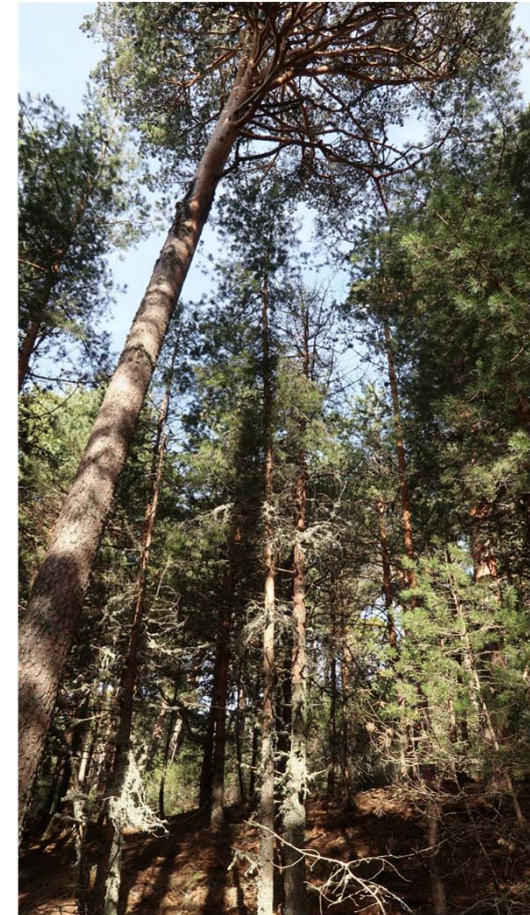
- Ecuaciones alométricas para pino silvestre en Sierra de Guadarrama (Montero et al. 2005)

$$\text{Biomasa seca (kg)} = CF e^a D^b$$

$$CF = e^{(SEE^2/2)}$$

D = diámetro normal

- Cálculo de combustibles finos: 2 valores disponibles
  - CFL<sub>1</sub> Biomasa foliar
  - CFL<sub>2</sub> Biomasa foliar + ramillas finas (< 2 cm)

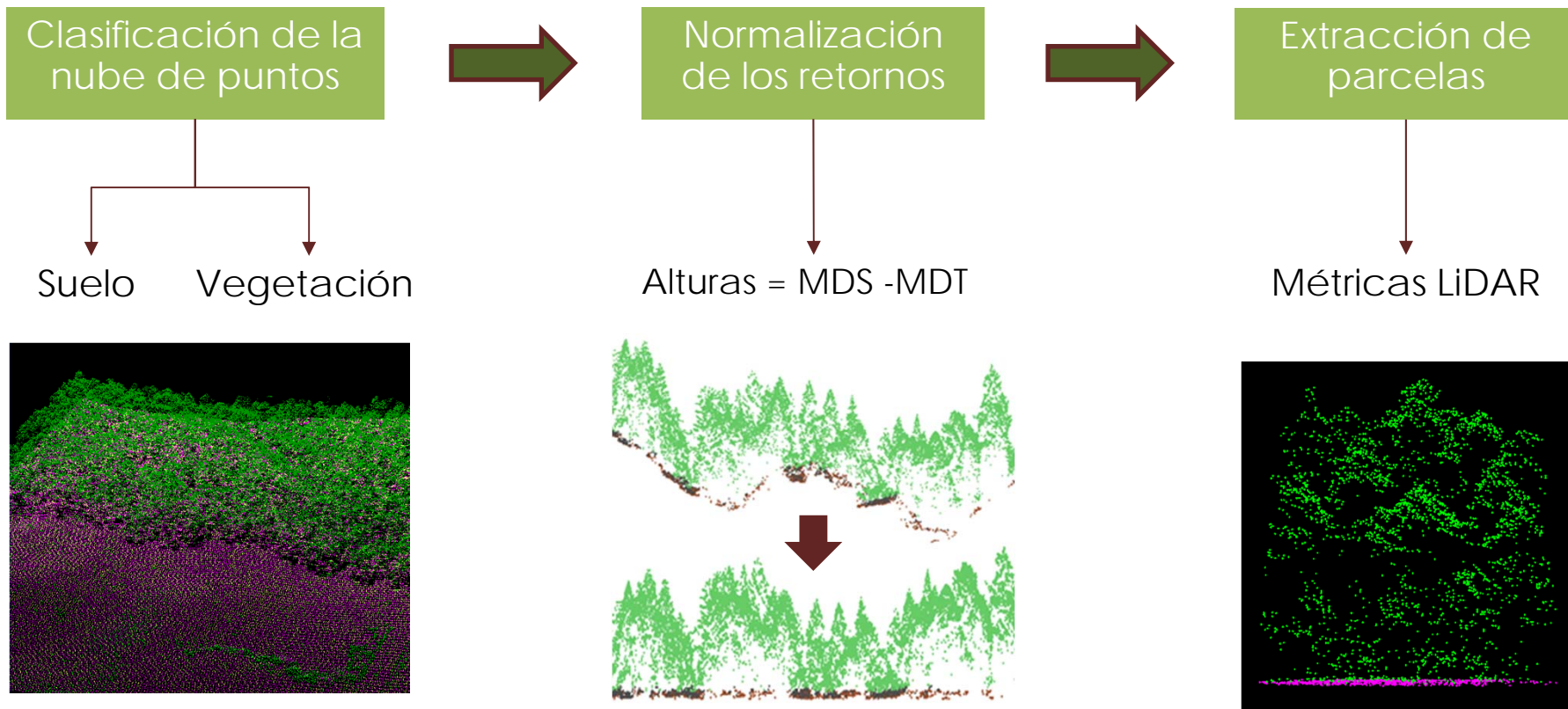


## Datos parcelas de inventario

Variable	Descripción (unidades)	Min.	Max.	Media	Desv. estandar
<b>N</b>	Densidad del arbolado (nº pies/ha)	75,34	2147,18	604,12	374,09
<b>G</b>	Área basimétrica (m <sup>2</sup> /ha)	14,29	91,01	41,67	14,53
<b>Ho</b>	Altura dominante (m)	8,53	35,37	20,56	5,07
<b>CFL<sub>1</sub></b>	Carga en copas – biomasa foliar (kg/m <sup>2</sup> )	0,32	2,08	1,00	0,35
<b>CFL<sub>2</sub></b>	Carga en copas – biomasa foliar + ramillas finas (kg/m <sup>2</sup> )	0,74	4,84	2,33	0,81
<b>N_menores</b>	Densidad del regenerado (nºpies menores/ha)	0,00	2712,22	253,34	395,20
<b>h_menores</b>	Altura media de los pies menores (m)	0,00	8,00	2,97	2,02
<b>h_mat</b>	Altura media del matorral (m)	0,00	2,5	0,64	0,51
<b>C_mat</b>	Cobertura del matorral (%)	0,00	95,00	18,59	23,54



## Procesado datos LiDAR



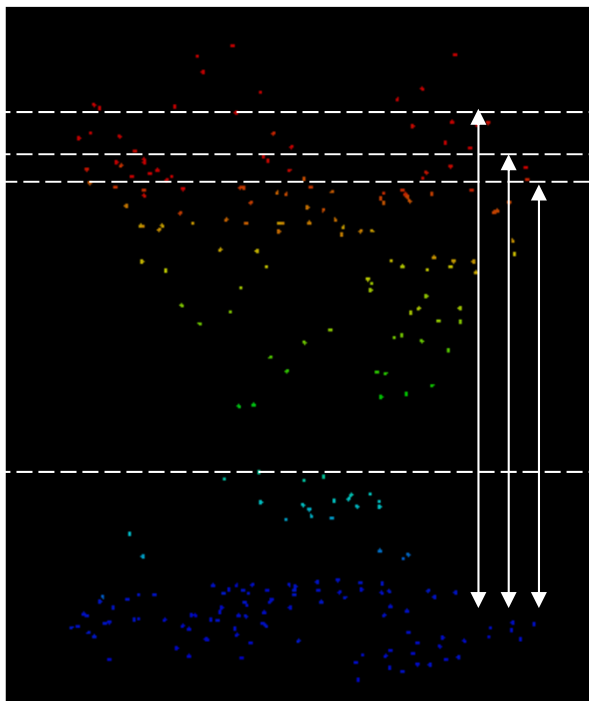
## Métricas LiDAR y variables estructurales asociadas

Percentiles altos de alturas de los retornos

- ✓ altura del estrato arbolado

Altura media del estrato < 2m

- ✓ combustibles de matorral, sotobosque y regenerado



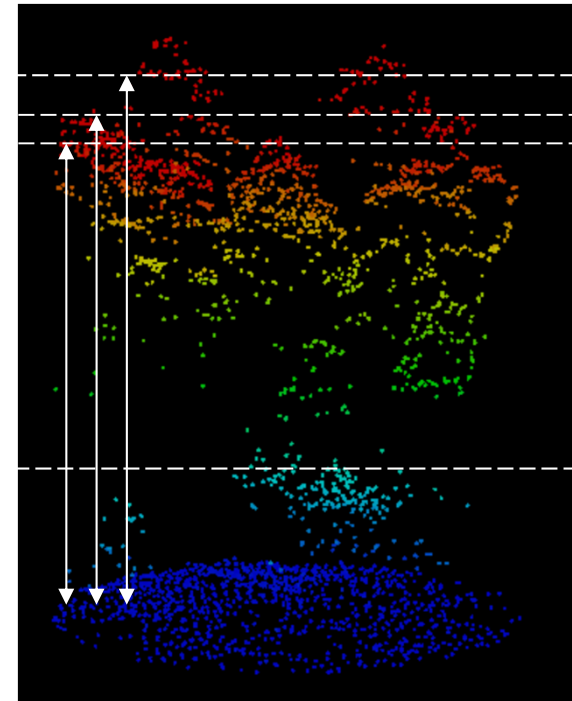
H\_P99

H\_P95

H\_P90

?

H\_mat ?



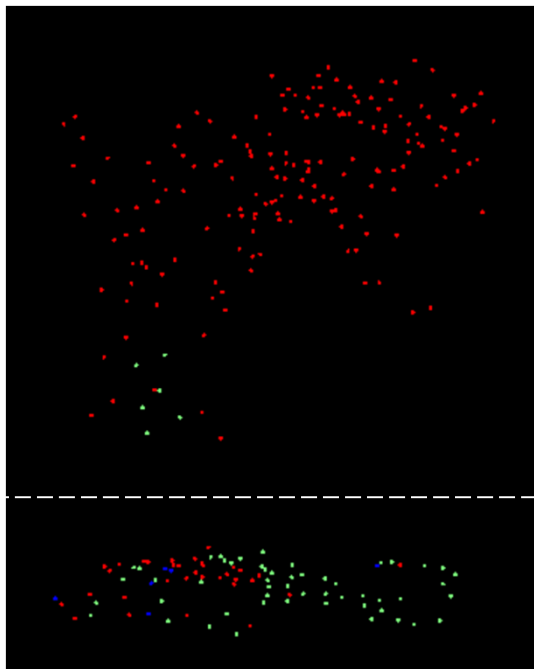
## Métricas LiDAR y variables estructurales asociadas

Porcentajes de primeros retornos para el total del perfil de la vegetación y las copas (> 2 m)

- ✓ fracciones de cabida cubierta (MORSDORF et al. 2006)

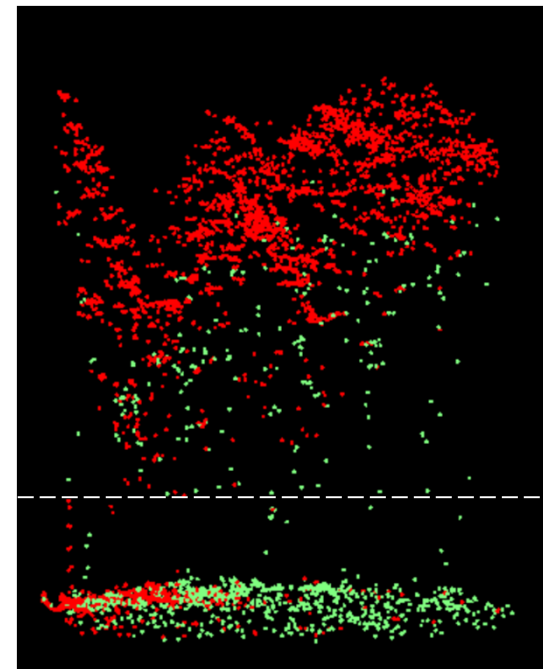
Porcentaje de todos los retornos en el estrato < 2m

- ✓ cobertura en el estrato inferior (matorral, sotobosque, y regenerado) (RIAÑO et al. 2003)



FCC copas  
FCC total  
(1º retornos)

FCC mat  
(todos retornos)





## Métricas LiDAR y variables estructurales asociadas

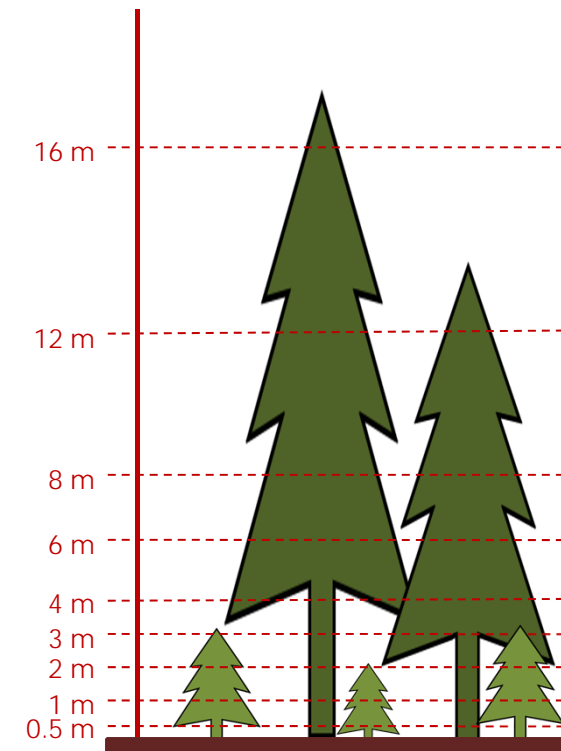
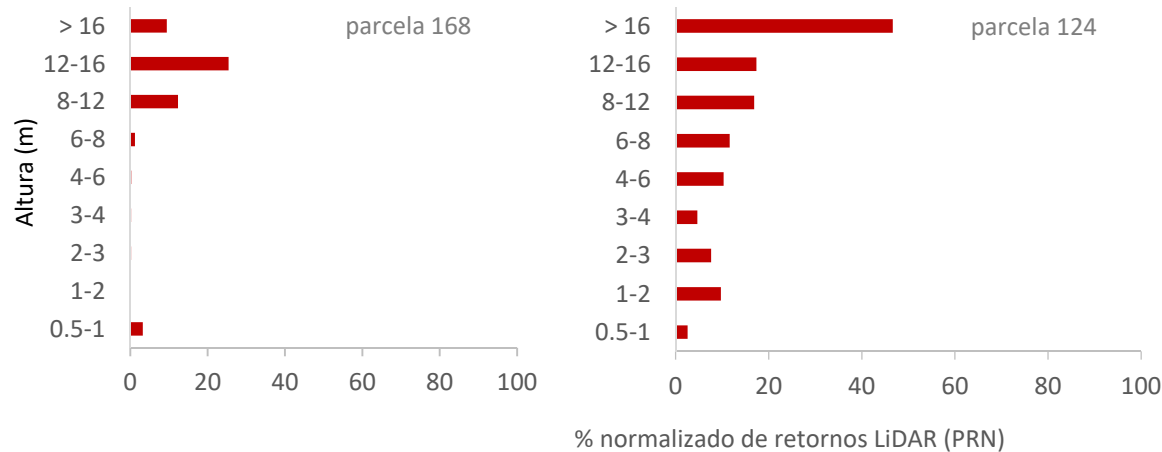
Índice Canopy Relief Ratio del perfil total y del estrato superior de las copas (CRR\_05a50, CRR\_2a50)

- ✓ estructura vertical de la masa, continuidad de combustibles (PARKER & RUSS, 2004)

$$CRR = \frac{H_{med} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$$

Porcentajes nº de retornos por tramos de alturas (PRN)

- ✓ distribución y densidad aparente del combustible, valor normalizado (SKOWRONSKI et al. 2007)



## Resultados: métricas LiDAR

Variable	Estrato	Test (p-valor)
FCC_total	0.5-50 m	Wilcoxon (p=0.00308)
FCC_copas	2-50 m	Wilcoxon (p=0.00193)
FCC_mat	0.5-2 m	Wilcoxon (p=0.00715)
H_P99	2-50 m	T-test (p=0.8873)
H_P95	2-50 m	T-test (p=0.7103)
H_P90	2-50 m	T-test (p=0.6416)
H_mat	0.5-2 m	Wilcoxon (p=0.8512)
CRR_total	0.5-50 m	Wilcoxon (p=0.6447)
CRR_copas	2-50 m	Wilcoxon (p=0.9063)
PRN_16a50	16-50 m	Wilcoxon (p=0.4762)
PRN_12a16	12-16 m	Wilcoxon (p=0.7284)
PRN_8a12	8-12 m	Wilcoxon (p=0.4836)
PRN_6a8	6-8 m	Wilcoxon (p=0.118)
PRN_4a6	4-6 m	Wilcoxon (p= 0.01844)
PRN_3a4	3-4 m	Wilcoxon (p= 0.01471)
PRN_2a3	2-3 m	Wilcoxon (p= 0.01778)
PRN_1a2	1-2 m	Wilcoxon (p= 0.04982)
PRN_05a1	0.5-1 m	Wilcoxon (p=0.0000)



**Efecto significativo** sobre variables estructurales relacionadas con la **cobertura o densidad** de la vegetación

- FCC arbolado
- FCC estrato inferior
- PRN (tramos inferiores)

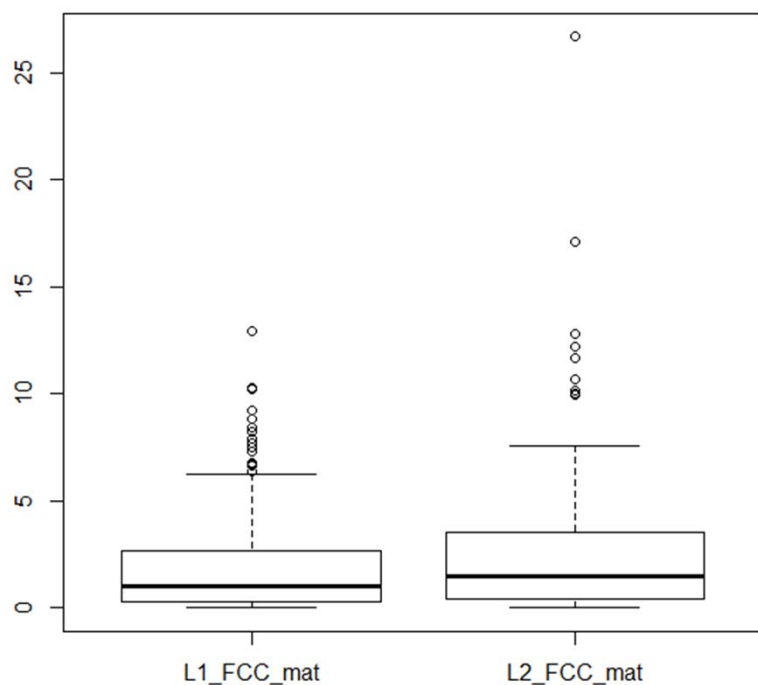


Diferencias **NO significativas** en PRN de **tramos superiores** (> 6m)

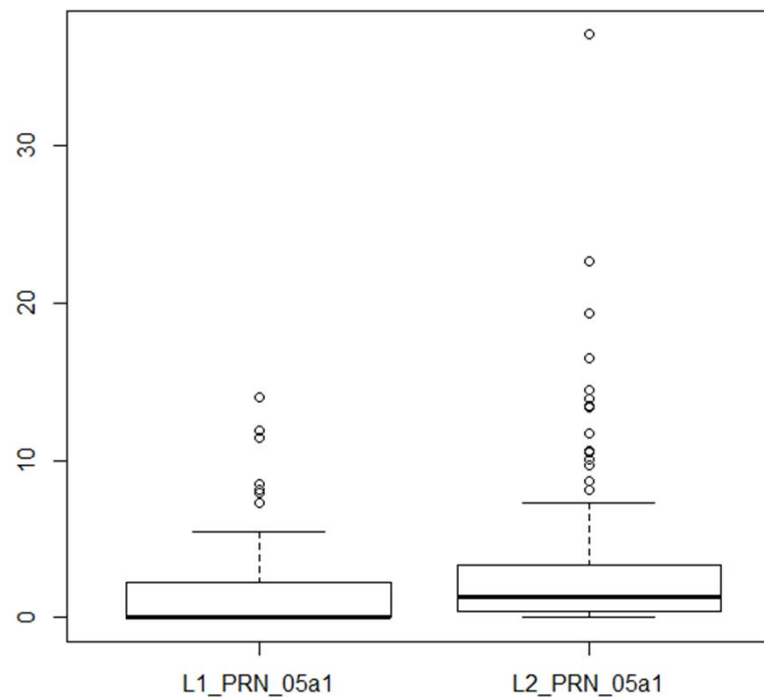
- Pérdida penetrabilidad del laser a menor densidad del pulso

## Resultados: métricas LiDAR

L1 = LiDAR PNOA  
L2 = LiDAR específico



FCC\_mat = cobertura  
estrato inferior (< 2m)



PRN\_05a1 = % normalizado  
retornos entre 0,5 y 1 m



## Resultados: métricas LiDAR

Variable	Estrato	Test (p-valor)
FCC_total	0.5-50 m	Wilcoxon (p=0.00308)
FCC_copas	2-50 m	Wilcoxon (p=0.00193)
FCC_mat	0.5-2 m	Wilcoxon (p=0.00715)
H_P99	2-50 m	T-test (p=0.8873)
H_P95	2-50 m	T-test (p=0.7103)
H_P90	2-50 m	T-test (p=0.6416)
H_mat	0.5-2 m	Wilcoxon (p=0.8512)
CRR_total	0.5-50 m	Wilcoxon (p=0.6447)
CRR_copas	2-50 m	Wilcoxon (p=0.9063)
PRN_16a50	16-50 m	Wilcoxon (p=0.4762)
PRN_12a16	12-16 m	Wilcoxon (p=0.7284)
PRN_8a12	8-12 m	Wilcoxon (p=0.4836)
PRN_6a8	6-8 m	Wilcoxon (p=0.118)
PRN_4a6	4-6 m	Wilcoxon (p= 0.01844)
PRN_3a4	3-4 m	Wilcoxon (p= 0.01471)
PRN_2a3	2-3 m	Wilcoxon (p= 0.01778)
PRN_1a2	1-2 m	Wilcoxon (p= 0.04982)
PRN_05a1	0.5-1 m	Wilcoxon (p=0.0000)

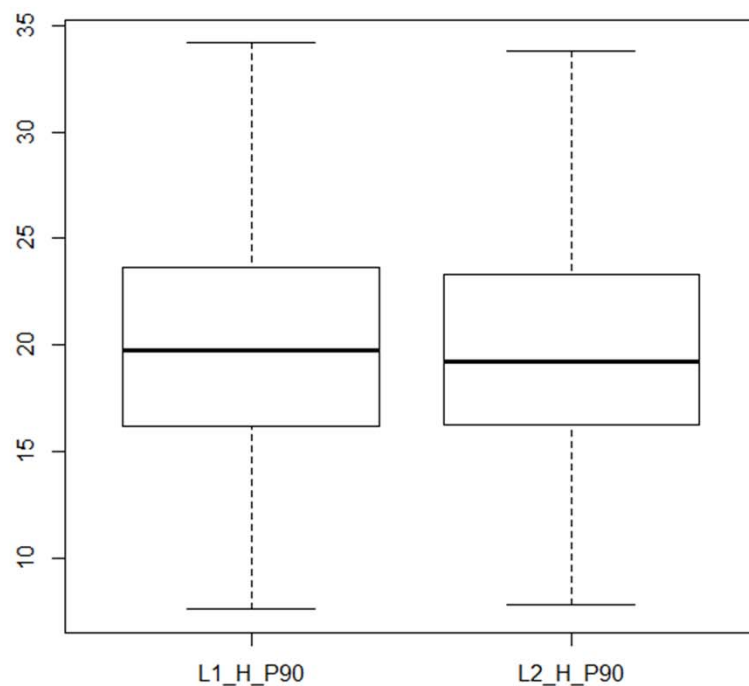


**Efecto NO significativo** sobre variables estructurales relacionadas con las **alturas** de la vegetación

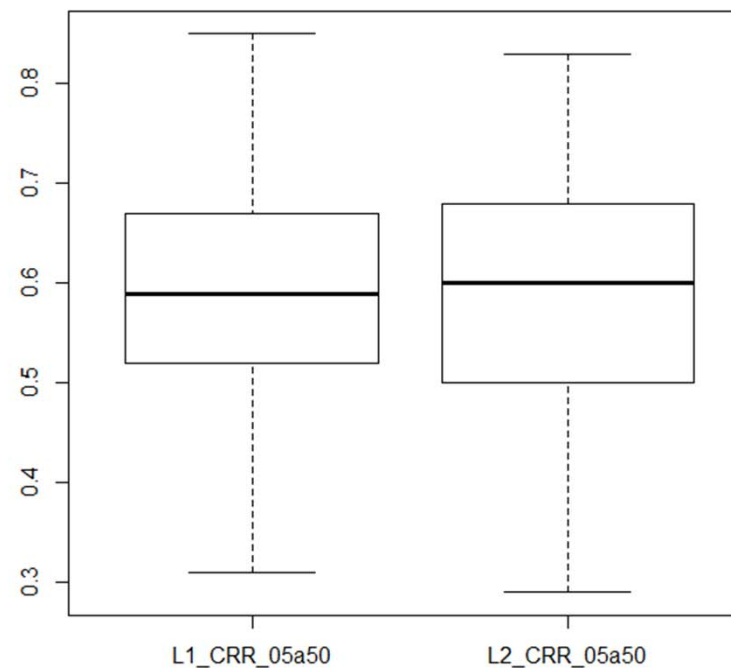
- Altura del arbolado
- Altura del estrato inferior
- Índices derivados (CRR)

## Resultados: métricas LiDAR

L1 = LiDAR PNOA  
L2 = LiDAR específico



H\_P90 = altura del percentil  
90 de los retornos



CRR\_05a50 = índice estructura  
vertical de la vegetación

## Resultados: modelos de estimación de variables estructurales

Variable dependiente	Vuelo LiDAR	Tipo de modelo	Variable independiente	Parámetro estimado	R <sup>2</sup> ajustado	p-valor
CFL1	L1	Potencial	Intercepto	-6,77597***	0,651	< 0,0001
			FCC_total	1,44679***		
			H_P20	0,16498***		
CFL1	L2	Potencial	Intercepto	-5,08179***	0,593	< 0,0001
			FCC_total	1,09876***		
			H_P10	0,14653***		
CFL2	L1	Potencial	Intercepto	-5,91996***	0,651	< 0,0001
			FCC_total	1,44357***		
			H_P20	0,16569***		
CFL2	L2	Potencial	Intercepto	-4,23502***	0,594	< 0,0001
			FCC_total	1,09792***		
			H_P10	0,14674***		
Ho	L1	Lineal	Intercepto	3,9251***	0,882	< 0,0001
			H_P80	0,5734***		
			H_P90	0,3063**		
Ho	L2	Lineal	Intercepto	4,0633***	0,874	< 0,0001
			H_P80	0,5117***		
			H_P90	0,3693**		

L1 = LiDAR PNOA

L2 = LiDAR específico



## Resultados: modelos de estimación de variables estructurales

Variable dependiente	Vuelo LiDAR	Tipo de modelo	Variable independiente	Parámetro estimado	R <sup>2</sup> ajustado	p-valor
CFL1	L1	Potencial	Intercepto	-6,77597***	0,651	< 0,0001
			FCC_total	1,44679***		
			H_P20	0,16498***		
CFL1	L2	Potencial	Intercepto	-5,08179***	0,593	< 0,0001
			FCC_total	1,09876***		
			H_P10	0,14653***		
CFL2	L1	Potencial	Intercepto	-5,91996***	0,651	< 0,0001
			FCC_total	1,44357***		
			H_P20	0,16569***		
CFL2	L2	Potencial	Intercepto	-4,23502***	0,594	< 0,0001
			FCC_total	1,09792***		
			H_P10	0,14674***		
Ho	L1	Lineal	Intercepto	3,9251***	0,882	< 0,0001
			H_P80	0,5734***		
			H_P90	0,3063**		
Ho	L2	Lineal	Intercepto	4,0633***	0,874	< 0,0001
			H_P80	0,5117***		
			H_P90	0,3693**		

L1 = LiDAR PNOA

L2 = LiDAR específico

## Resultados: modelos de estimación de variables estructurales

Variable dependiente	Vuelo LiDAR	Tipo de modelo	Variable independiente	Parámetro estimado	R <sup>2</sup> ajustado	p-valor
CFL1	L1	Potencial	Intercepto	-6,77597***	0,651	< 0,0001
			FCC_total	1,44679***		
			H_P20	0,16498***		
CFL1	L2	Potencial	Intercepto	-5,08179***	0,593	< 0,0001
			FCC_total	1,09876***		
			H_P10	0,14653***		
CFL2	L1	Potencial	Intercepto	-5,91996***	0,651	< 0,0001
			FCC_total	1,44357***		
			H_P20	0,16569***		
CFL2	L2	Potencial	Intercepto	-4,23502***	0,594	< 0,0001
			FCC_total	1,09792***		
			H_P10	0,14674***		
Ho	L1	Lineal	Intercepto	3,9251***	0,882	< 0,0001
			H_P80	0,5734***		
			H_P90	0,3063**		
Ho	L2	Lineal	Intercepto	4,0633***	0,874	< 0,0001
			H_P80	0,5117***		
			H_P90	0,3693**		

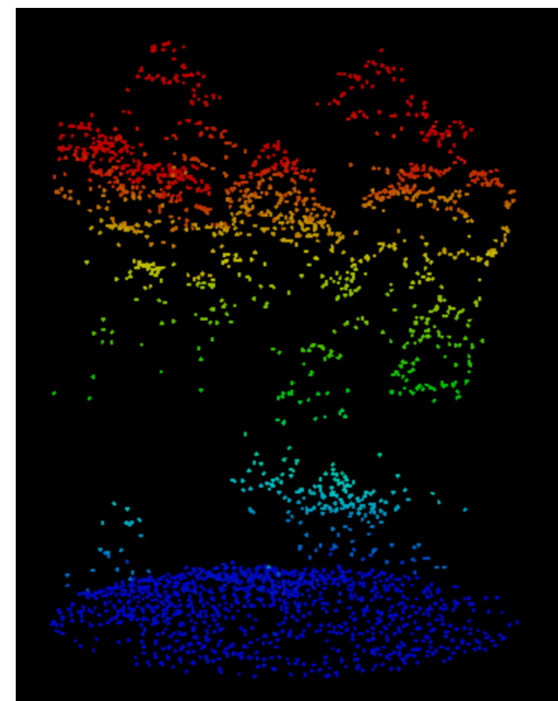
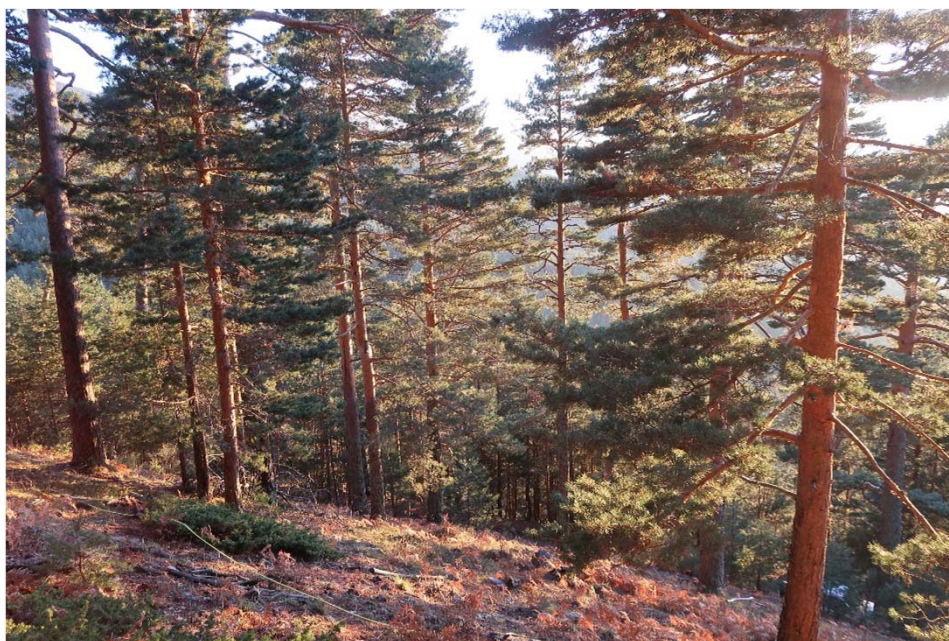
L1 = LiDAR PNOA

L2 = LiDAR específico

## Conclusiones

Comparación directa de las nubes de puntos

- ✓ diferente respuesta de las métricas LiDAR según los parámetros estructurales
- ✓ efecto no significativo para las **alturas** del arbolado
- ✓ diferencias significativas en las métricas relacionadas con la **cobertura de la vegetación**
- ✓ diferencias en la distribución del **perfil vertical** de retornos para **tramos de altura inferiores**

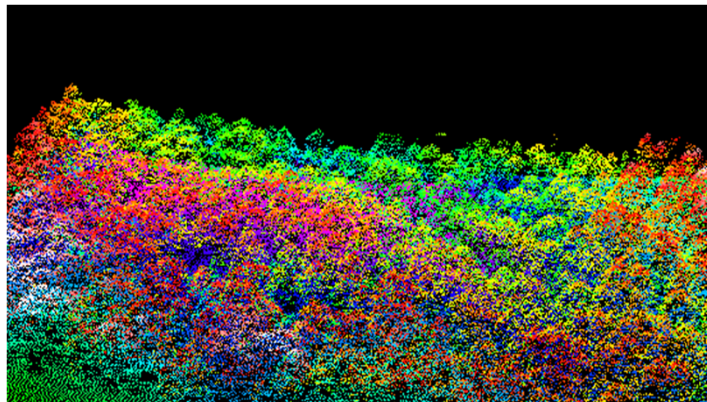




## Conclusiones

Estimación de parámetros estructurales de las masas arboladas

- ✓ **altura dominante:** modelos robustos y con buena capacidad predictiva independientemente de la densidad de pulsos
- ✓ **carga de combustible de las copas:** modelos similares con ambas densidades LiDAR y altamente significativos, aunque con menor porcentaje de variabilidad explicada
- ✓ **densidad y altura de los pies menores:** más difícil de estimar con ambas densidades



### Necesidades

- Investigar **nuevos modelos** de predicción (combustibles superficie y copas)
- Profundizar en **efectos reales** de la densidad de pulsos (densidades más altas) en la **caracterización de combustibles forestales**

## **AGRADECIMIENTOS**

Javier Donés, Centro de Montes y Aserradero de Valsaín



ORGANISMO  
AUTÓNOMO  
PARQUES  
NACIONALES

**Contacto**  
[emarino@agresta.org](mailto:emarino@agresta.org)

Contribuye al desarrollo del sector forestal  
¡Ven a proponernos tus retos!



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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



26 - 30 junio 2017 | **Plasencia**  
Cáceres, Extremadura



[www.congresoforestal.es](http://www.congresoforestal.es)



Instituto Nacional de Investigación  
y Tecnología Agraria y Alimentaria



Stand 15