Unidad de Gestión Forestal Sostenible
y
Laboratorio del Territorio

Aplicaciones forestales de LiDAR

XV Congreso Nacional sobre Tecnologías de la Información Geográfica

Eduardo M. González Ferreiro
Universidad de Santiago de Compostela
email: edu.g.ferreiro@gmail.com

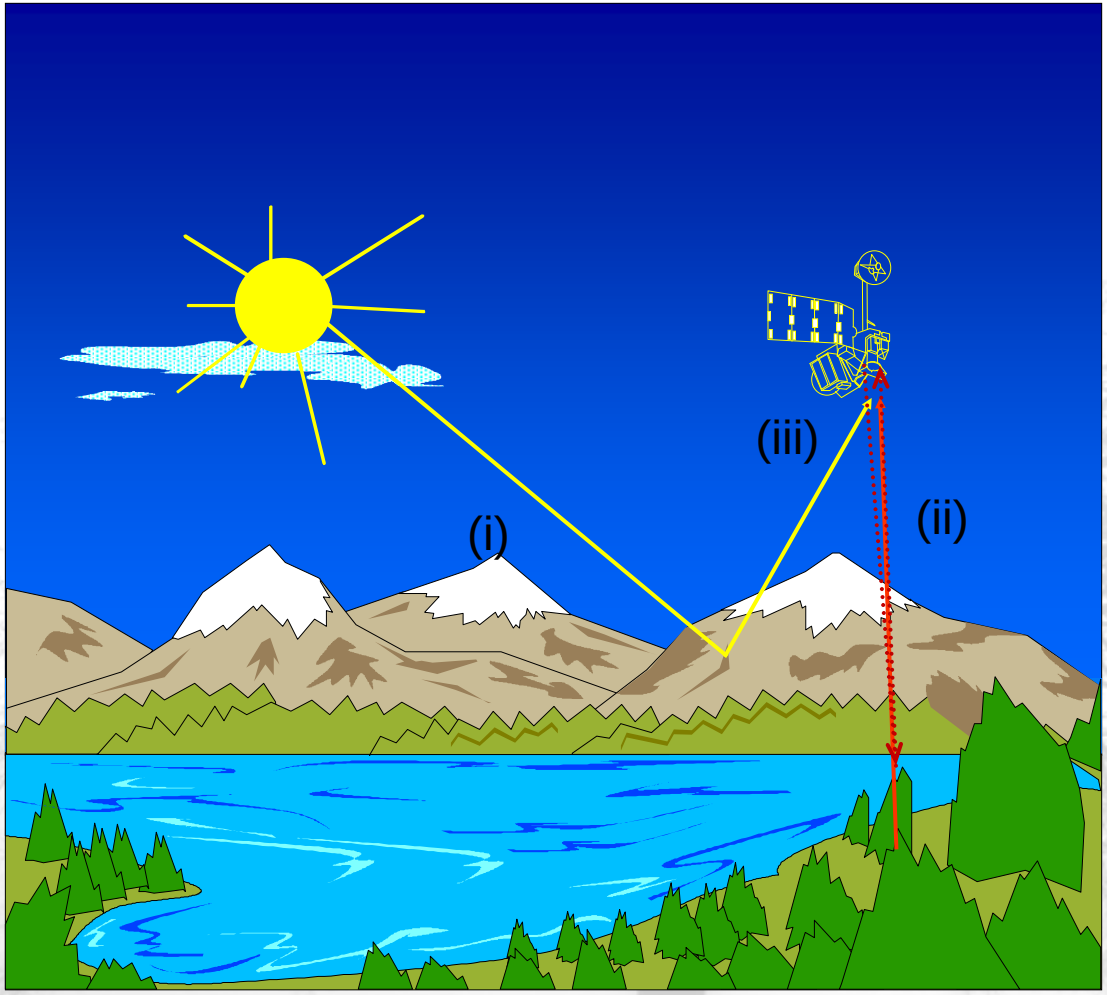
CONTENIDO:

- Introducción
- Principios de funcionamiento
- ¿Por qué LiDAR?
- LiDAR aplicado a la estimación de variables dasométricas:
    - A nivel masa
    - A nivel de árbol individual

INTRODUCCIÓN:

- LiDAR es el acrónimo de *Light Detection And Ranging*. También conocido como LaDAR (*Laser Detection and Ranging*).
- Ha tenido un rápido desarrollo desde mediados de los 90.
- Su "modus operandi" consiste en la medición de la distancia que existe entre el sensor y el objetivo.
- Es un sensor activo monocromático.

Qué es un sensor remoto activo?



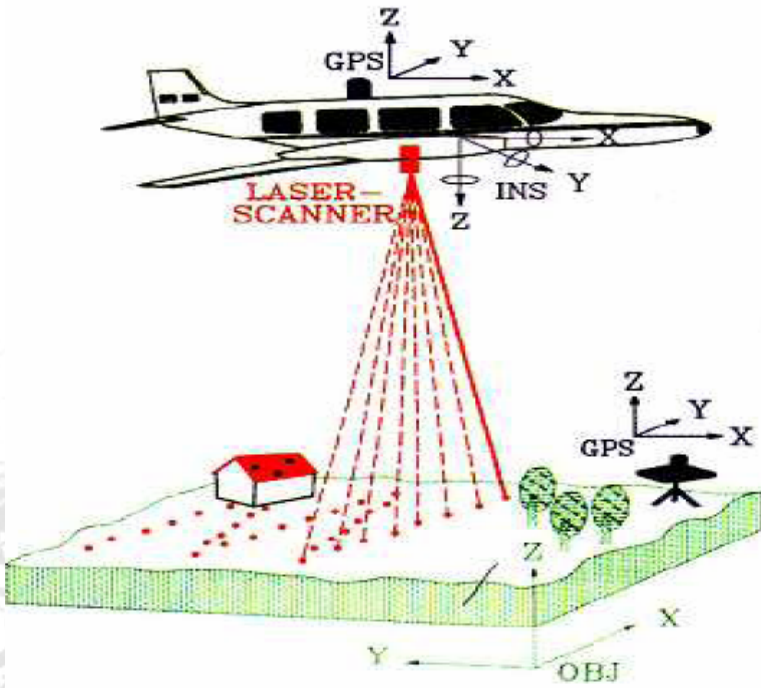
[Fuente: Chuvieco, 2002]]

Sensores remotos pasivos:
(i) Emisión
(ii) Reflexión

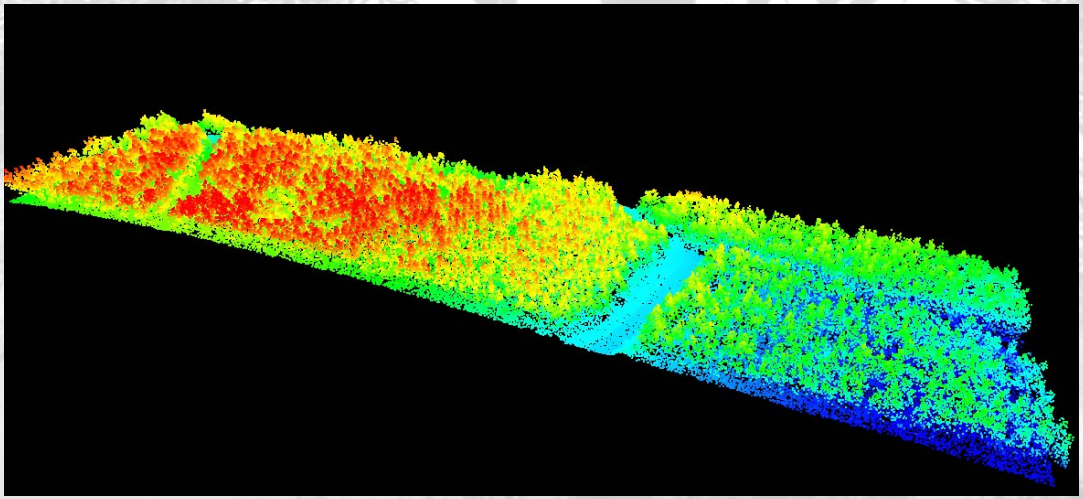
Sensores remotos activos:
(iii) Emisión-Reflexión

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

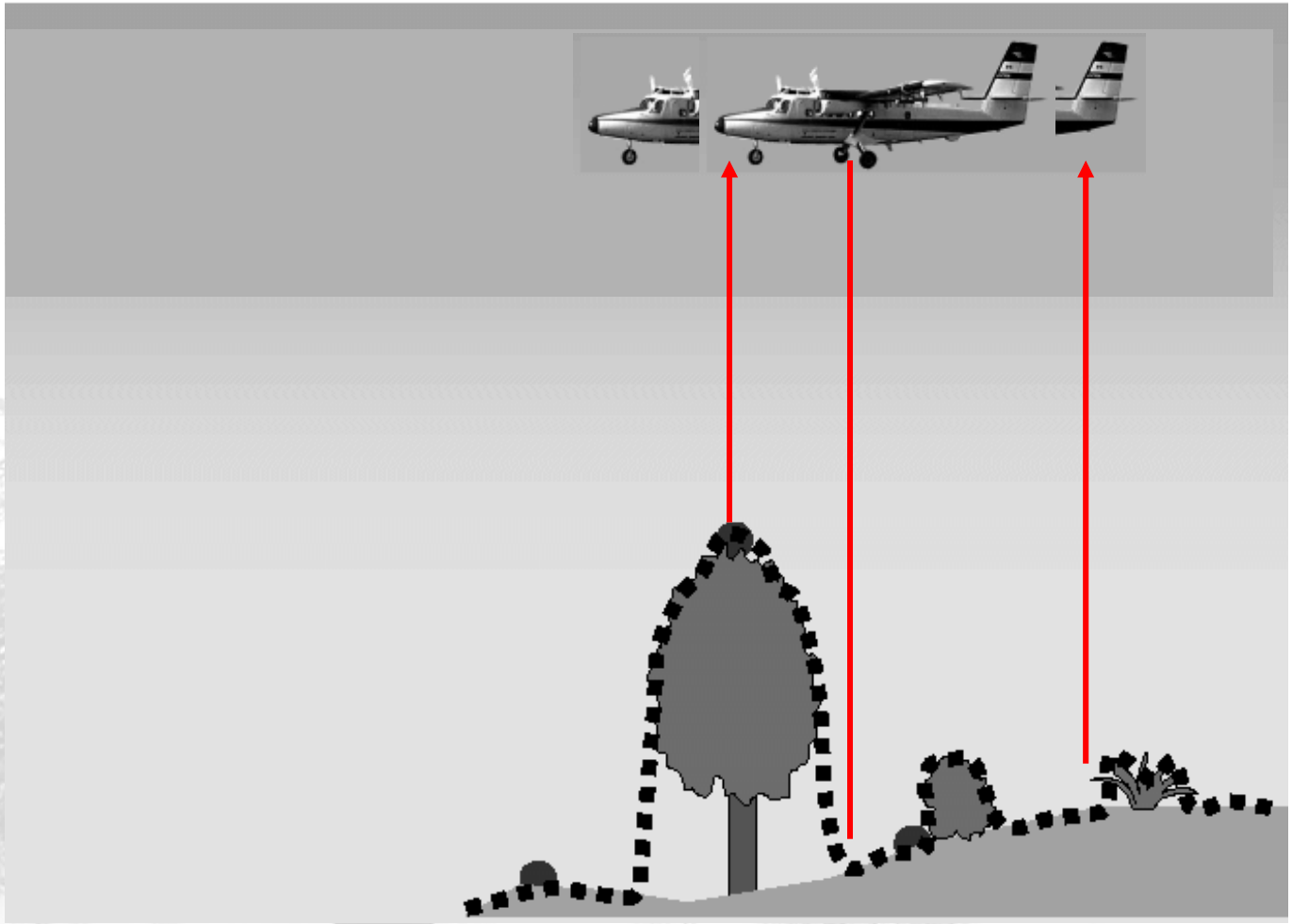
El **tiempo** que tarda el pulso láser en llegar al objeto con el que impacta y regresar al receptor es transformado en **distancia**.



[Fuente: http://www.sbgmaps.com/lidar.htm(ACCESO, 18/VI/2009)]



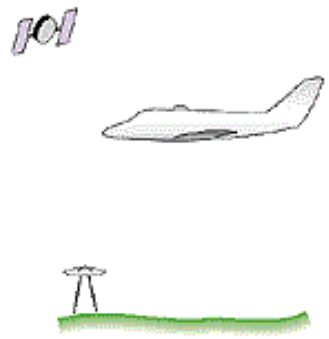
El resultado de un vuelo es una **red irregular 3D** de puntos (X,Y,Z) que describe la forma de la superficie en un momento determinado.



[Fuente: Introducción de la Tecnología LiDAR para Aplicaciones Ambientales. Mariano García Alonso. Dpto. Geografía Universidad de Alcalá]

Principios de funcionamiento de la tecnología

Componentes del Sistema LiDAR:



Emisor-receptor láser, la mayoría de los sistemas comerciales emiten en el infrarrojo cercano (~1064 nm).

• Escáner, desvía los haces de luz emitidos por el emisor en un determinado ángulo.

• GPS diferencial, proporciona las coordenadas exactas del escáner

• Unidad de Medición Inercial (*IMU*), informa sobre la dirección del pulso láser. Mide en todo momento los parámetros de orientación del avión (angulos de cabeceo, alabeo y guiñada).

• Contador de alta precisión, permite calcular la distancia entre el escáner y los objetos contra los que impacta el láser la posición (coordenada Z).

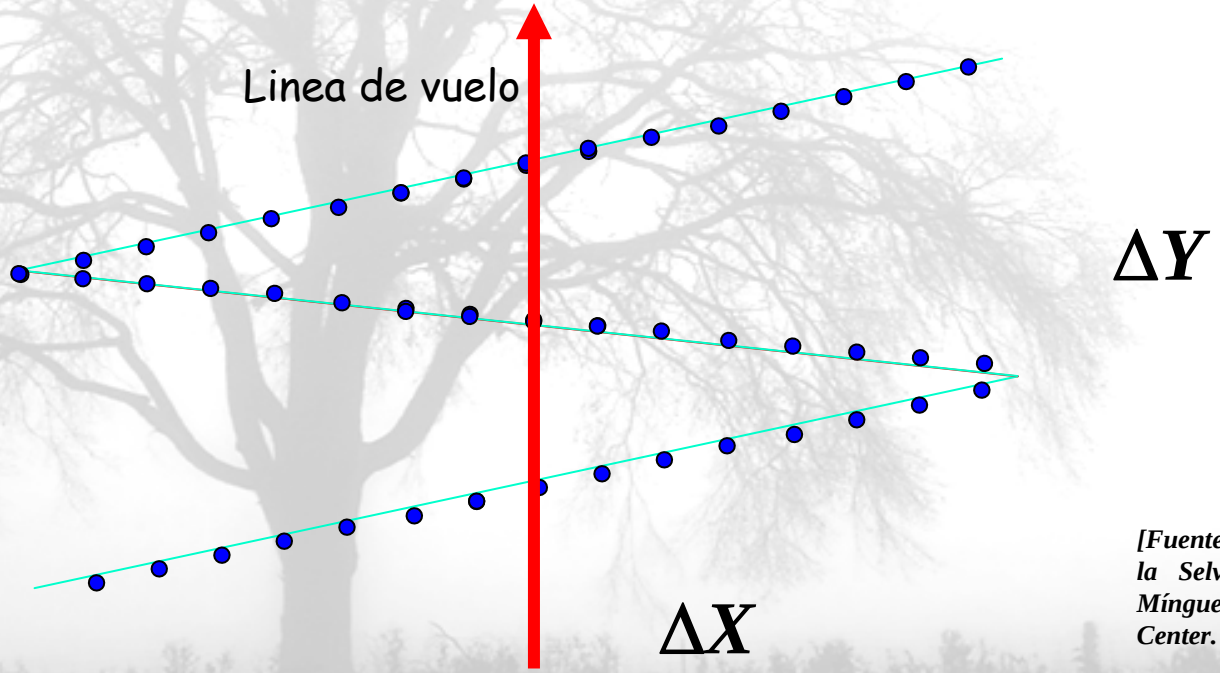
• Ordenador de abordo

Los Sistemas LiDAR comerciales:

- ***Small footprint***: huella láser de entre **5-30 cm** de diámetro con elevadas frecuencias de escaneado (30.000 a 200.000 Hz).

- Los datos son normalmente presentados en formato ASCII con X, Y, Z , Intensidad para cada retorno o en formato .LAS.

- La distribución del los pulsos suele ser en **zig-zag**

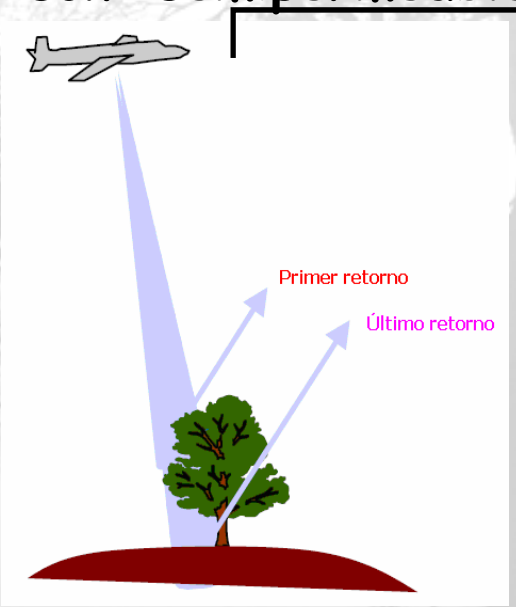


[Fuente: Aplicaciones LiDAR a la Selvicultura. Juan Suárez Mínguez. Forest Research Center. Edimburgo]

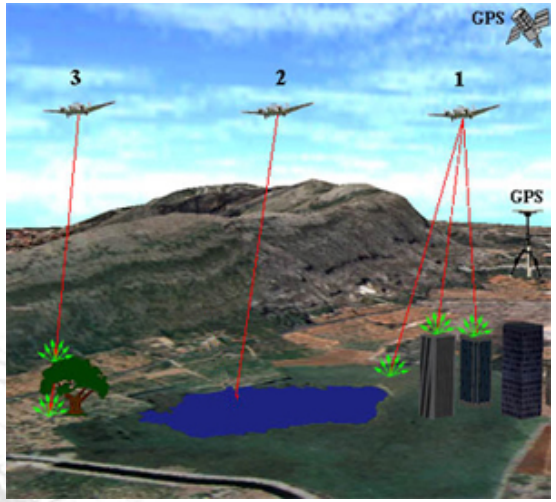
Comportamiento de LiDAR en zonas forestales

- En **superficies sólidas** LiDAR solo tiene un retorno por láser emitido.
- En el **agua** la señal del LiDAR topográfico se pierde.

En cambio las cubiertas forestales son "semipermeables" para LiDAR.



[Fuente: http://www.cfr.msstate.edu/forestry/sitl/research/LiDAR , (ACCESO, 21/IV/2006)]



[Fuente: http://www.dielmo.com/ , (ACCESO, 21/XI/2005)]

Son almacenados dos retornos por pulsado

- **Primer retorno** (muchas veces se produce sobre las **Copas**)
- **Segundo retorno** (algunas veces se produce sobre el **Suelo**)

¿POR QUÉ LiDAR???

Trabajo de campo:

- Es muy caro tanto en tiempo como en recursos.
- No suele ser multipropósito.
- Pueden extenderse durante años (por ej. IFN)

Necesidad de inventarios muy extensos y a veces remotos:

- Los costes de un vuelo LiDAR por unidad de superficie (**costes unitarios**) se reducen al incrementar la superficie al contrario que los de campo.
- LiDAR permite un **levantamiento completo** del área de estudio frente al muestreo que realizan los trabajos de campo.
- Permite inventarios en **zonas inaccesibles** y difíciles
- La **fotogrametría** resuelve algunos de estos problemas pero presenta dificultades para describir con eficacia las masas forestales ni lo que hay debajo de ellas.

¿Qué aporta la tecnología LiDAR??

- **Rápida** adquisición de datos y menor probabilidad de estar afectados por **fallos** humanos.
- Procesado **automático** de los datos.
- Facilidad de exportar los datos tratados a un **SIG** (Sistema de Información Geográfica).
- Facilidad de elaborar **mapas temáticos** (tanto con información del terreno como de los atributos que caracterizan una masa forestal) a diferentes escalas.
- Posibilidad de elaborar **MDEs** (Modelos Digitales de Elevación) y **MDSs** (Modelos Digitales de Superficie) y **MDCs** (Modelos Digitales de Copas) de alta resolución.
- Extracción del **MDE** y del **MDAM** (Modelo Digital de Altura de Matorral) de calidad incluso **bajo cubiertas arbóreas**.

LiDAR multipropósito y combinación con Imagen

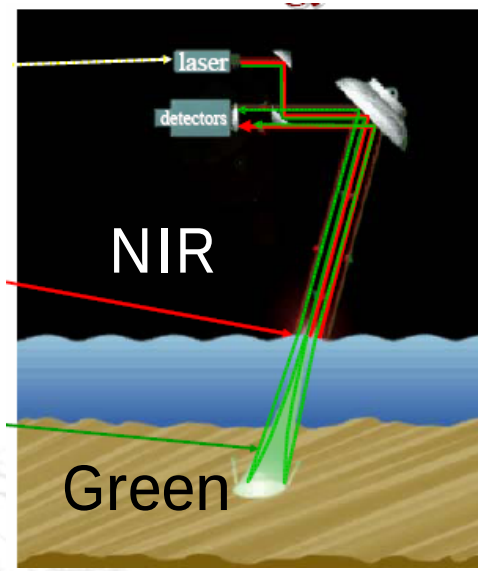
- Los **costes unitarios** disminuyen con la superficie escaneada y con el nº de objetivos previstos para cada vuelo.
- En combinación con **Imagen aérea** las posibilidades se multiplican sobre todo en inventario de recursos naturales y forestales, ya que las bandas multiespectrales añaden información **cualitativa** relevante a los datos LiDAR

Posibles objetivos Forestales-Ambientales:

- Inventario forestal
- Índices y mapas de vegetación
- Mapas de pendientes, orientaciones y altitudes de alta resolución
- Clasificación de tipos de bosques
- Identificación de especies
- Cartografía de combustibles
- Hidrología
- Captación de CO_2
- Biomasa
- Clasificación de áreas desforestadas
- Mapas de vegetación endémica
- Monitoreo ambiental
- Incendios forestales
- Detección de cambios
- Ecología del paisaje

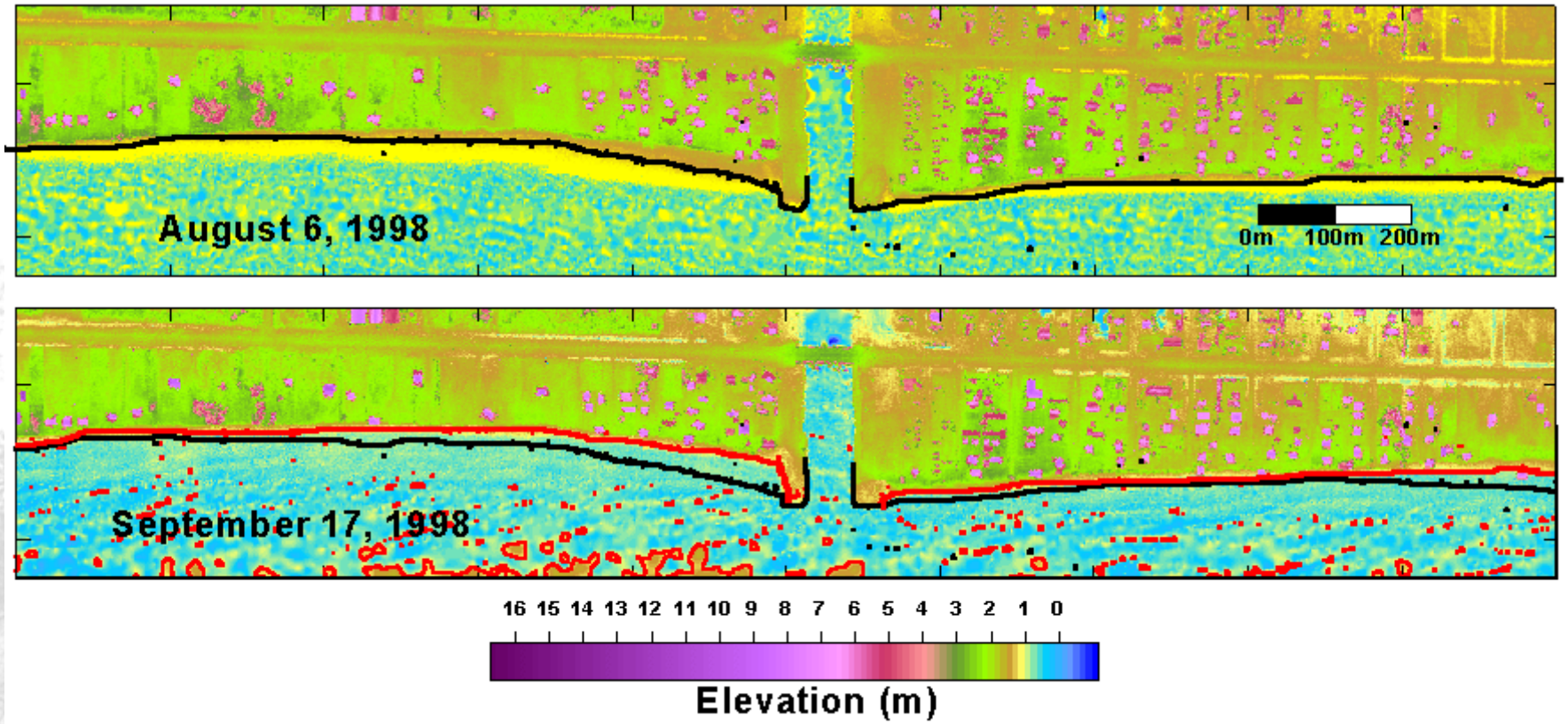
Otras aplicaciones de LiDAR aéreo y también terrestre

- Control geodésico
- Catastro
- Transporte
- Modelos Digitales en Urbana
- Modelos de inundación en zonas urbanas
- Tendidos eléctricos
- Batimetría (solo con LiDAR batimétrico)
- Reconstrucción de fachadas de importancia patrimonial (LiDAR terrestre)
- Control de pistas de aeropuertos (LiDAR terrestre móvil)
- . . .



LiDAR batimétrico.
Fuente: [D.Philpot, Cornell University, 2003]

Estudio de la erosión y el cambio en zonas costeras

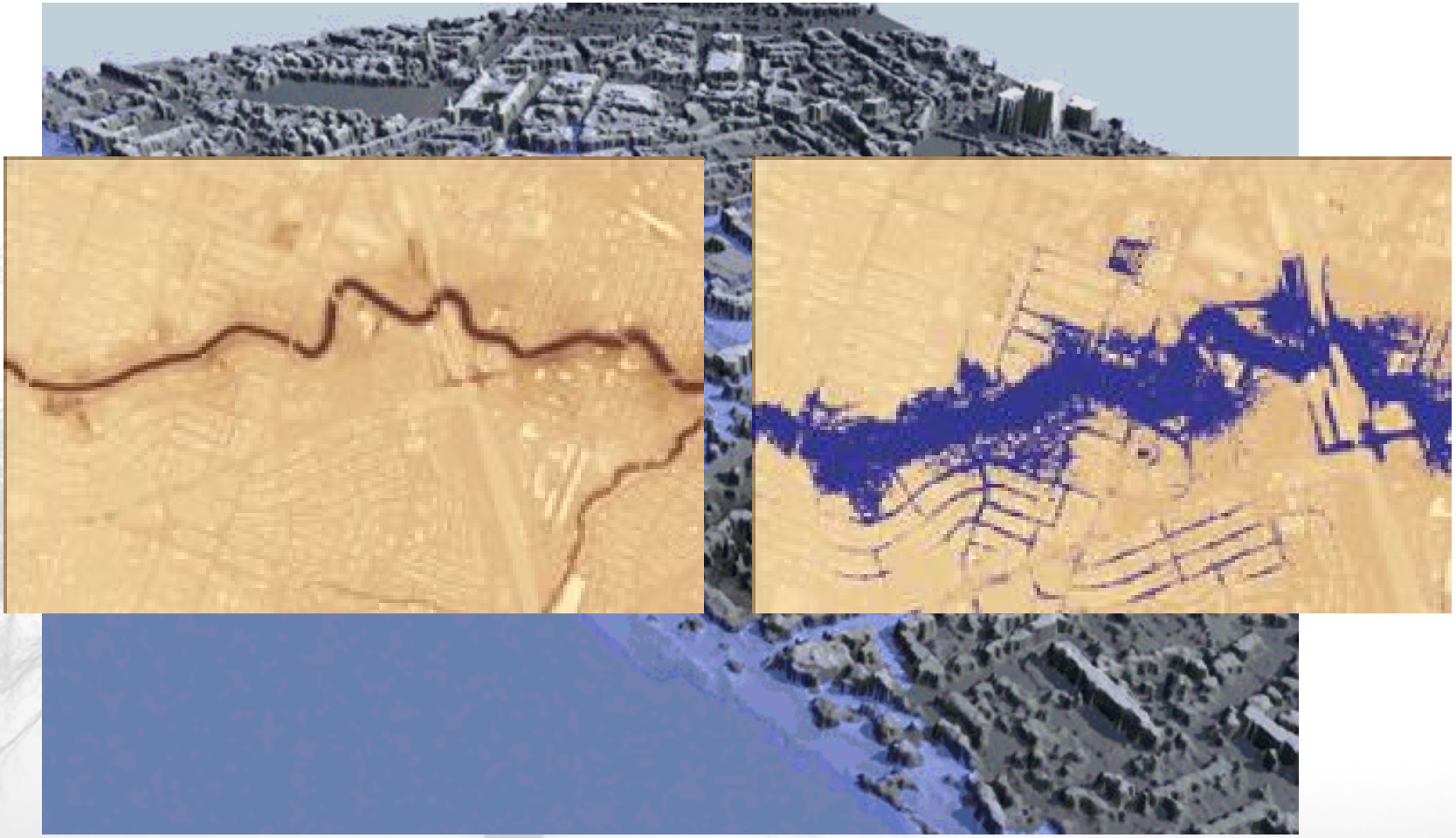


Fuente: [(source –U of TX) from Popescu (RENR444/FRSC608)]

Rollover Pass

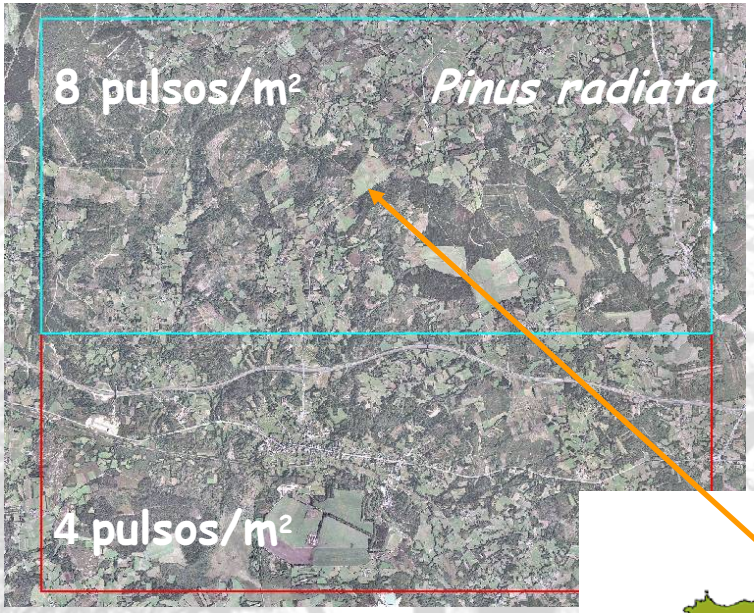
Bolivar Peninsula, Texas

Modelos de riesgo de inundación

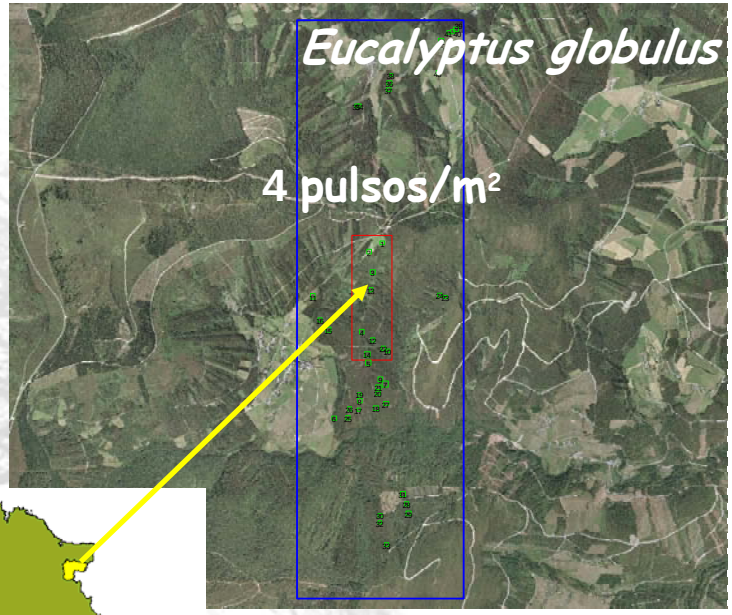


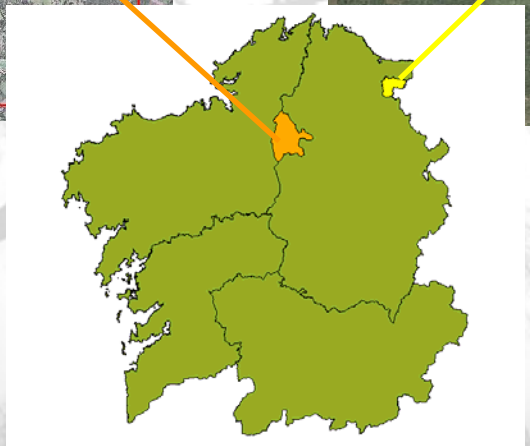
[Fuente: Introducción de la Tecnología LiDAR para Aplicaciones Ambientales. Mariano García Alonso. Dpto. Geografía Universidad de Alcalá]

Zona de estudio de Guitiriz



Zona de estudio de Trabada





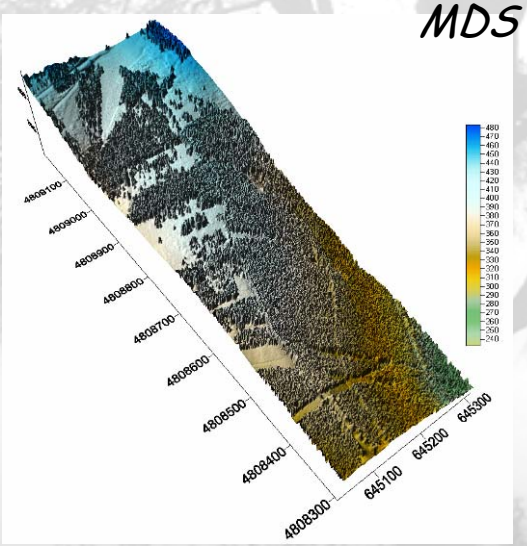
LiDAR E INVENTARIO FORESTAL

Tratamiento de los datos brutos de LiDAR:

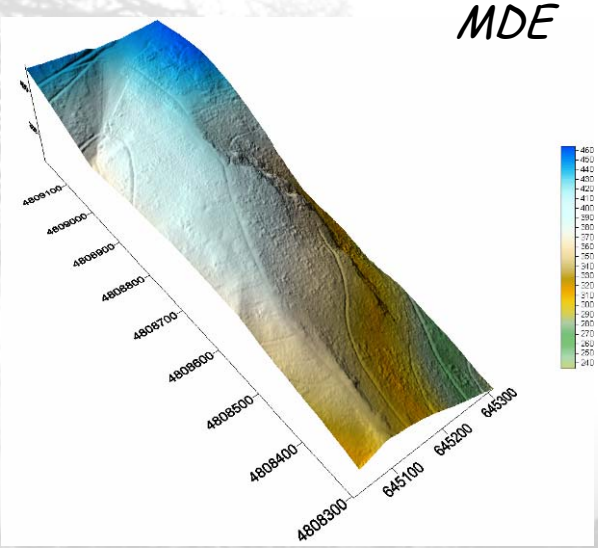
Dos operaciones fundamentales:

1. **El filtrado** de los datos permiten la clasificación de los puntos en vegetación alta, vegetación baja y terreno.
2. **La interpolación** permite elaborar los MDEs, MDSs y MDCs.A partir de éstos se podrán extraer de variables de elevación del terreno, altura y cobertura de la vegetación.

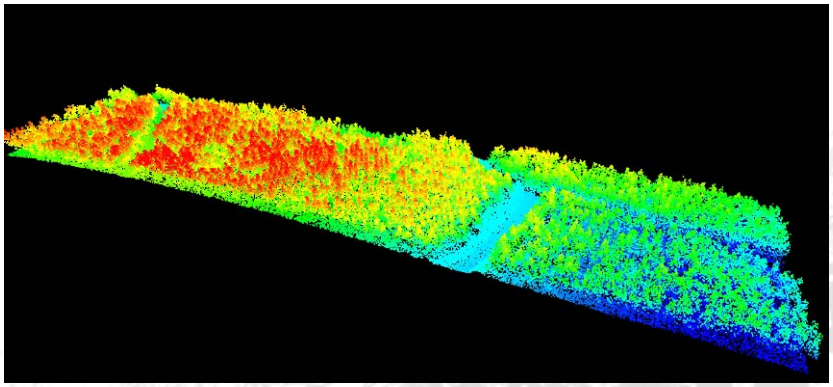
MDS



MDE



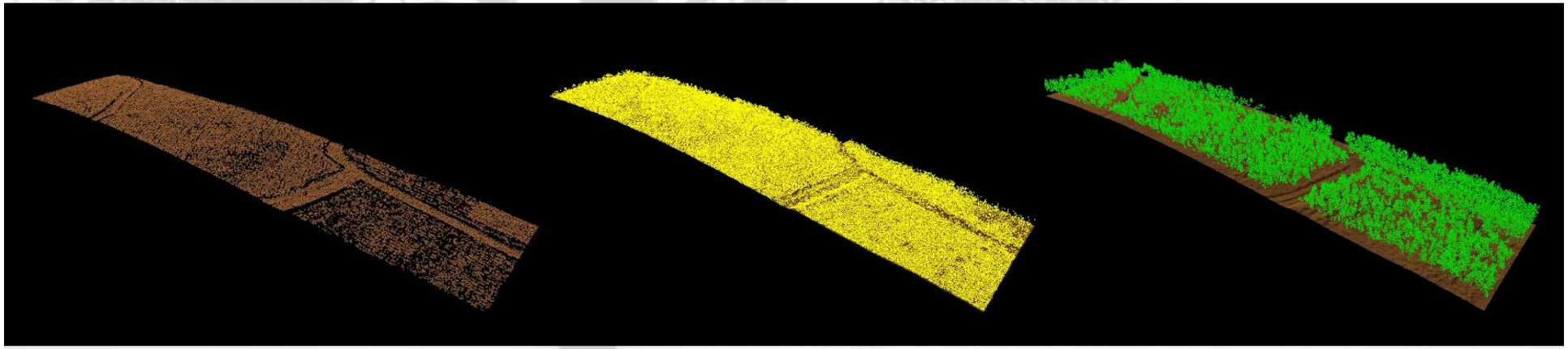
Filtrado de los datos LiDAR

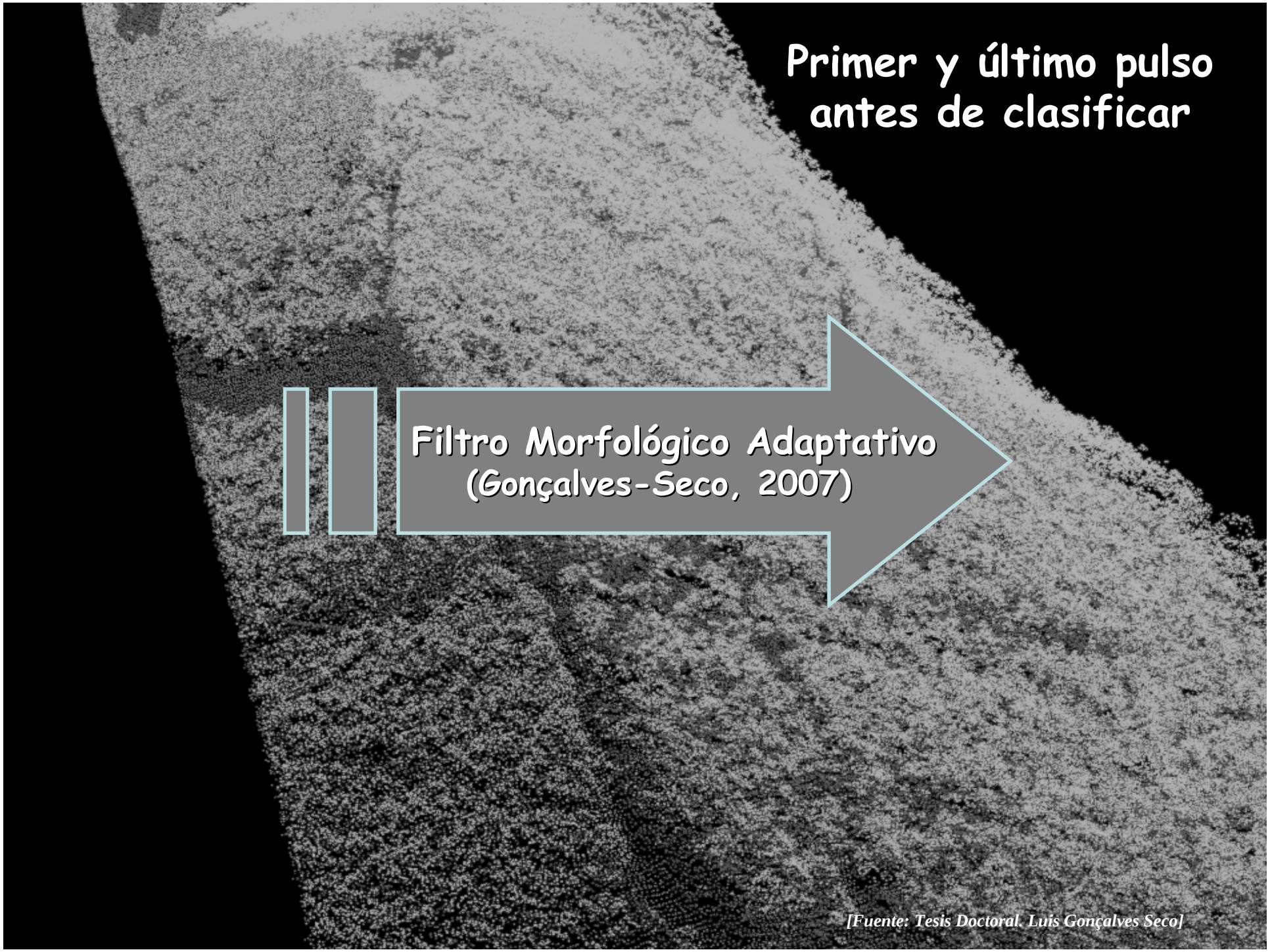


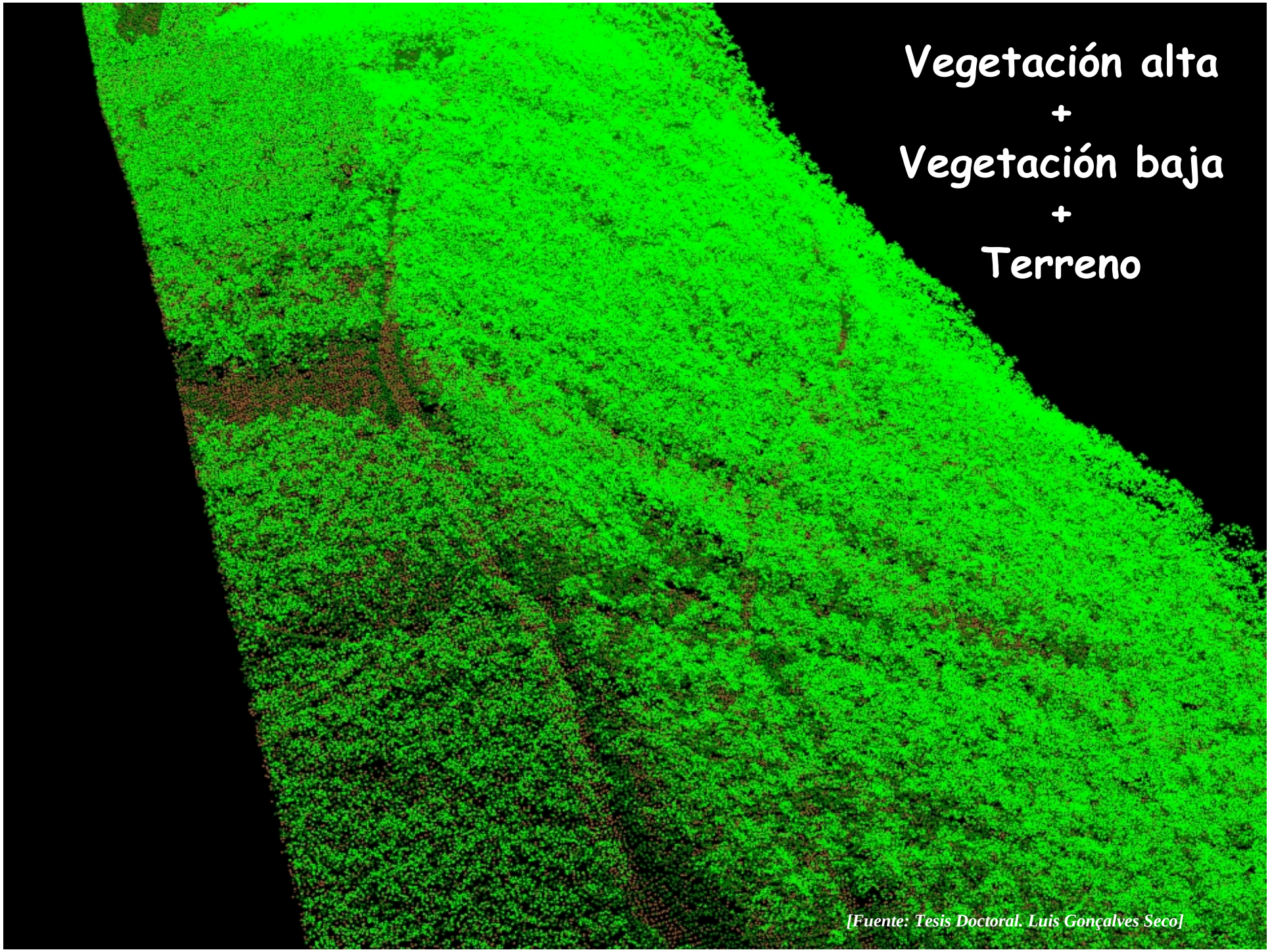
Todos los retornos clasificados por altura

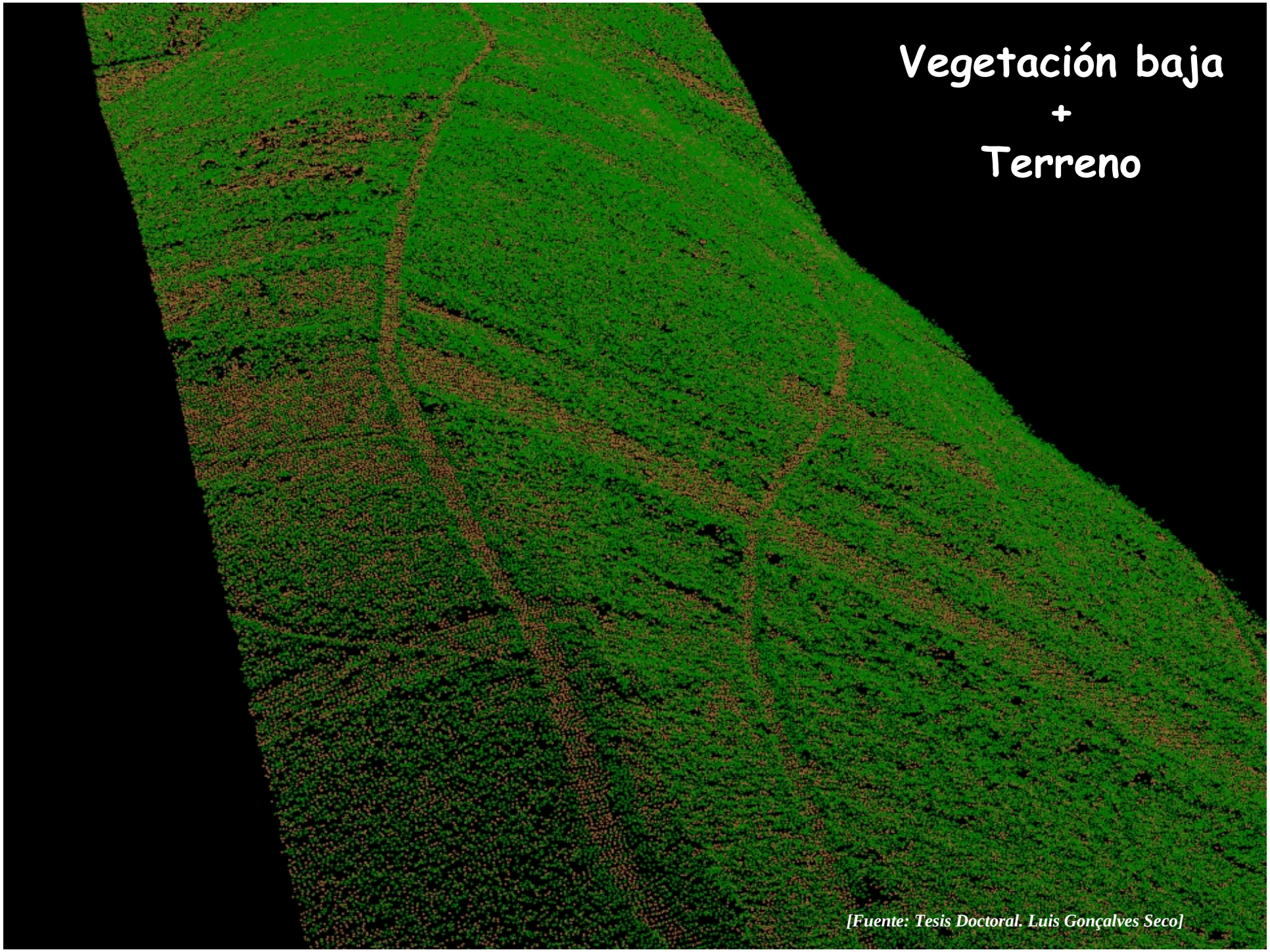
Permite clasificar los retornos láser en tres niveles:

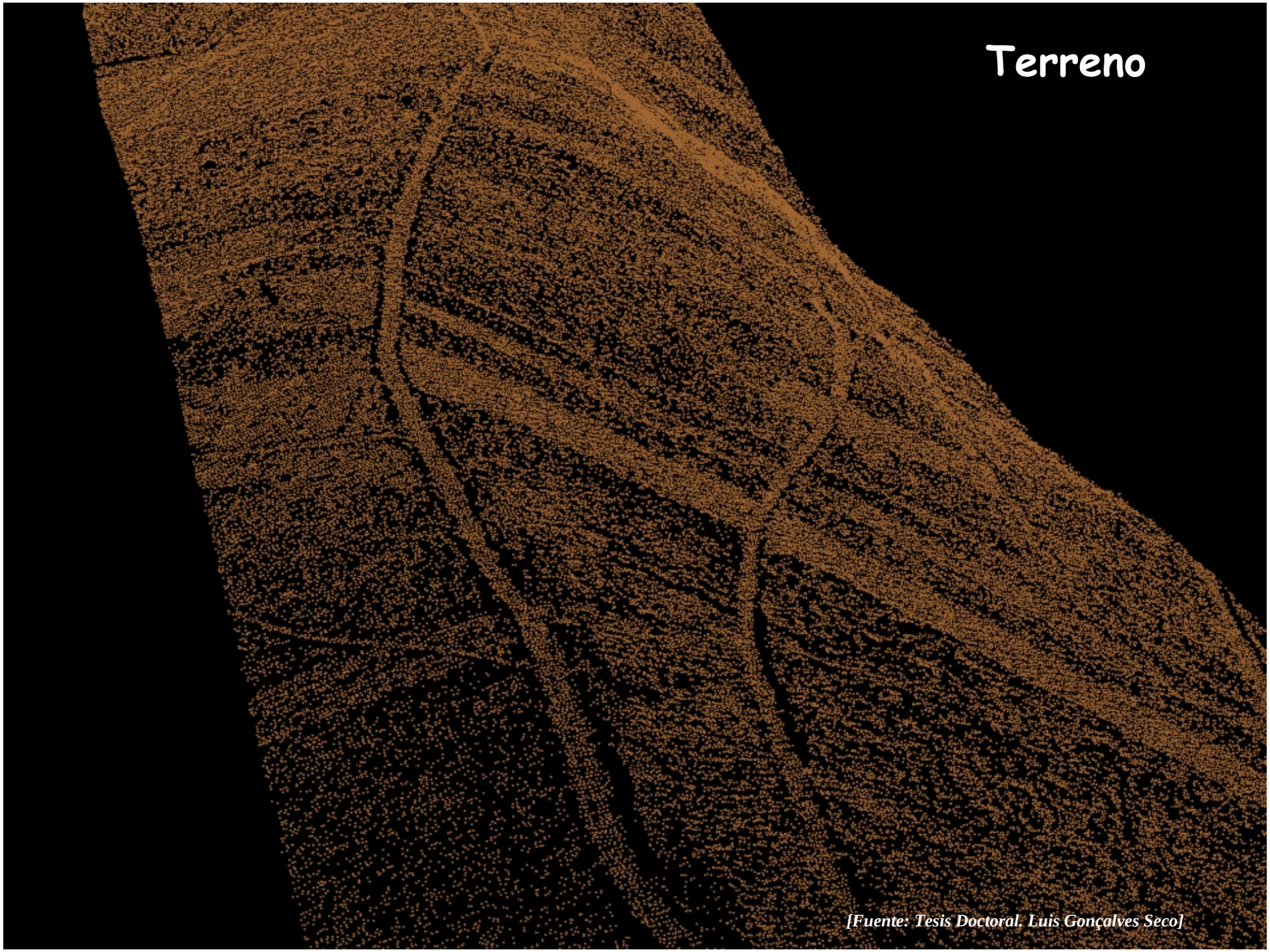
1. TR-Terreno
2. VB-Vegetación baja (matorral)
3. VA-Vegetación alta (arbolado)




Primer y último pulso
antes de clasificar
Filtro Morfológico Adaptativo
(Gonçalves-Seco, 2007)
[Fuente: Tesis Doctoral. Luis Gonçalves Seco]


Vegetación alta
+
Vegetación baja
+
Terreno
[Fuente: Tesis Doctoral. Luis Gonçalves Seco]


Vegetación baja
+
Terreno
[Fuente: Tesis Doctoral. Luis Gonçalves Seco]

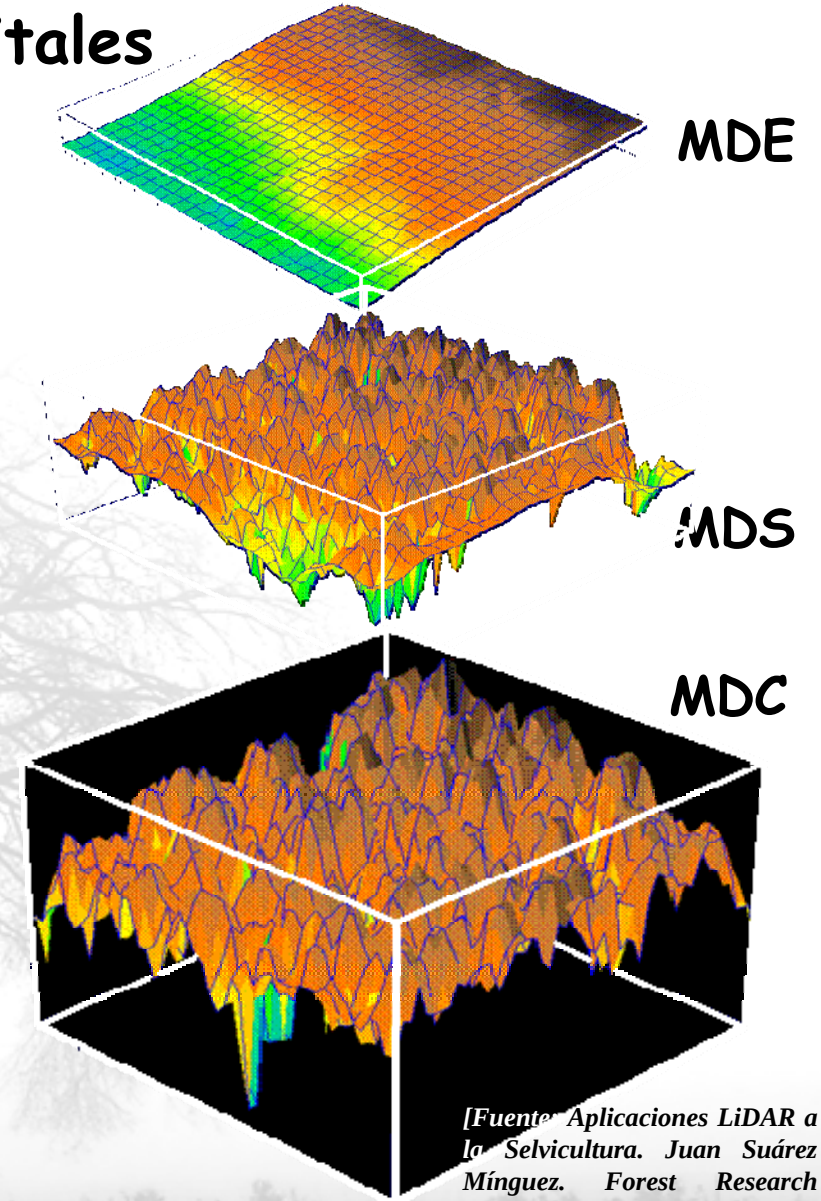

Terreno
[Fuente: Tesis Doctoral. Luis Gonçalves Seco]

Elaboración de los Modelos Digitales

1. **El MDE** se construyó a partir de la interpolación de los TR-LiDAR del filtrado.

2. **El MDS** fue extraído a partir de la interpolación del primer pulso láser.

3. **MDC = MDS - MDE**



Todos los modelos se interpolaron con el método Kriging a resoluciones de 1m en Trabada y de 0.5 m en Guitiriz

[Fuente: Aplicaciones LiDAR a la Selvicultura. Juan Suárez Mínguez. Forest Research Center. Edimburgo]

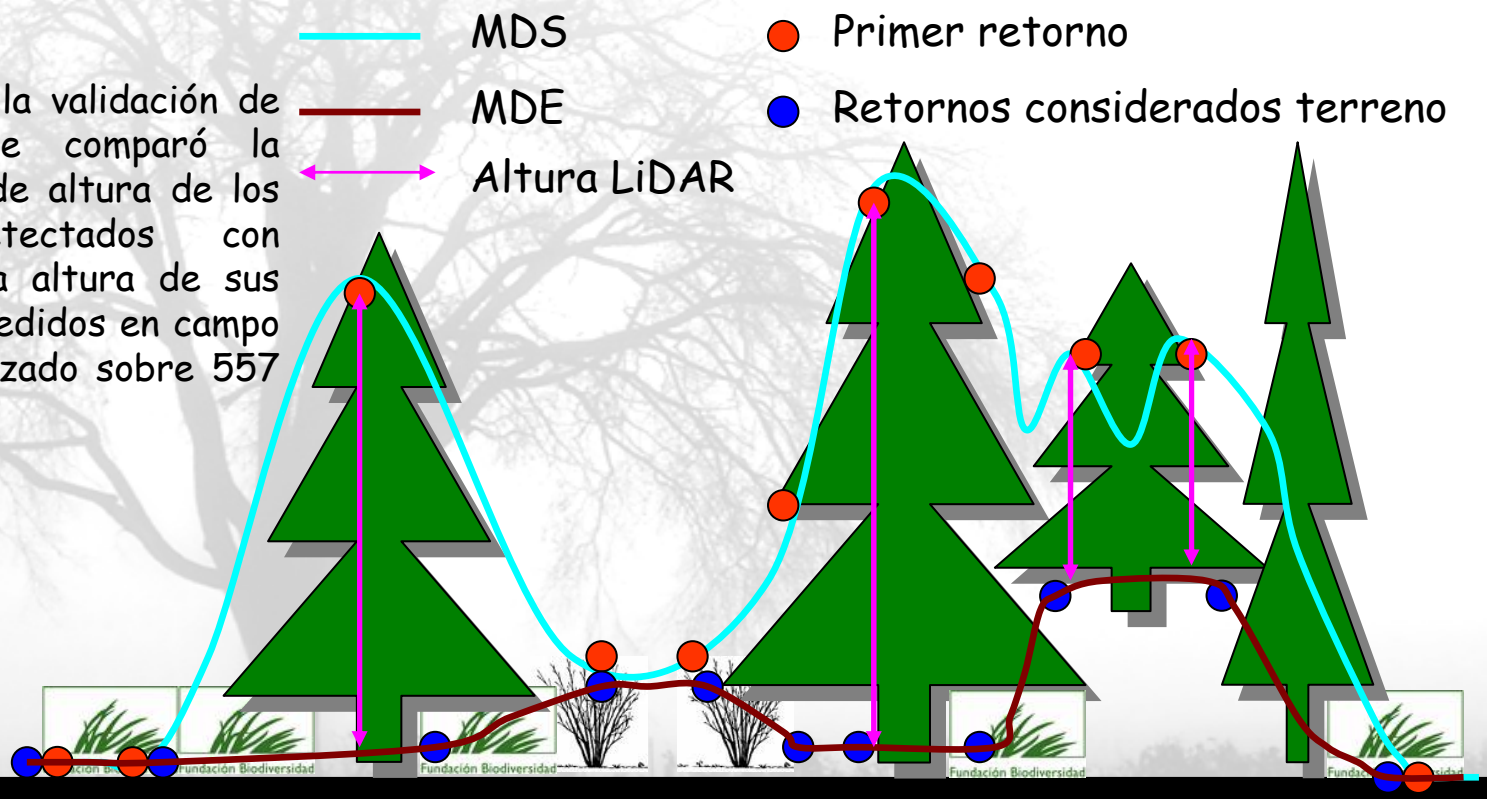
3. Alturas

- En Trabada: REMC = 1,91 m (subestimada).

➢ Es difícil que los pulsos láser caigan justo en los ápices.

➢ Posibles sobreelevaciones en el MDE (sobre todo en zonas con matorral continuo).

NOTA: Para la validación de la altura se comparó la información de altura de los árboles detectados con LiDAR con la altura de sus homónimos medidos en campo (análisis realizado sobre 557 árboles).



¿Que variables forestales se pueden obtener con LiDAR???

De forma directa:

- Altura de los árboles
- Altura media de masa
- Altura dominante
- Cobertura o FCC
- Número de pies
- Dimensiones de copa
- Altura de la base de la copa (↑↑ resolución)
- Volumen de copa
- Crecimiento en altura (dos vuelos)
- Mapas de FCC
- Mapas de distribución de alturas

NOTA: algunas variables que se pueden obtener de forma directa también pueden ser modelizadas

Solo modelizando:

- Volumen
- Biomasa
- CO_2 retenido en la biomasa
- Diámetro medio y medio cuadrático
- Área basimétrica
- Índice de área foliar
- *Crown Bulk density* (~ densidad de copa)

Escala:

- Árbol individual (*single-tree inventory)*
- Escala de monte (*stand-level inventory*)
- Escala regional o nacional
- Escala Global (por ejemplo IceSAT)

Stand level

- Datos de campo (verdad-terreno)
- Estadísticos y variables extraídos a partir de LiDAR

Análisis estadístico

$$Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \ldots X_n^{\beta_n} + \varepsilon$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

$$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_n X_n) + \varepsilon$$

Results of the best models found for H_m, H_d, G, V, W_{cr}, W_{st}, and W_{abg} using the 0.5 pulses m^{-2} dataset.

Stand Variable	Model	Independent variable	R^2	RMSE
H_m	Linear	β_0 parameter h_{median} i_{ID}	0.786	1.810
H_d	Linear	β_0 parameter h_{95}	0.846	1.988
G	Exponential	β_0 parameter h_{SD} h_{skw} h_{05} r_2	0.678	8.066
V	Power function	β_0 parameter h_{median}	0.691	92.53
W_{cr}	Exponential	β_0 parameter h_{SD} h_{skw} h_{05} r_2	0.687	6765
W_{st}	Exponential	β_0 parameter h_{skw} h_{80}	0.732	35205
W_{abg}	Exponential	β_0 parameter h_{SD} h_{skw} h_{05}	0.746	40469

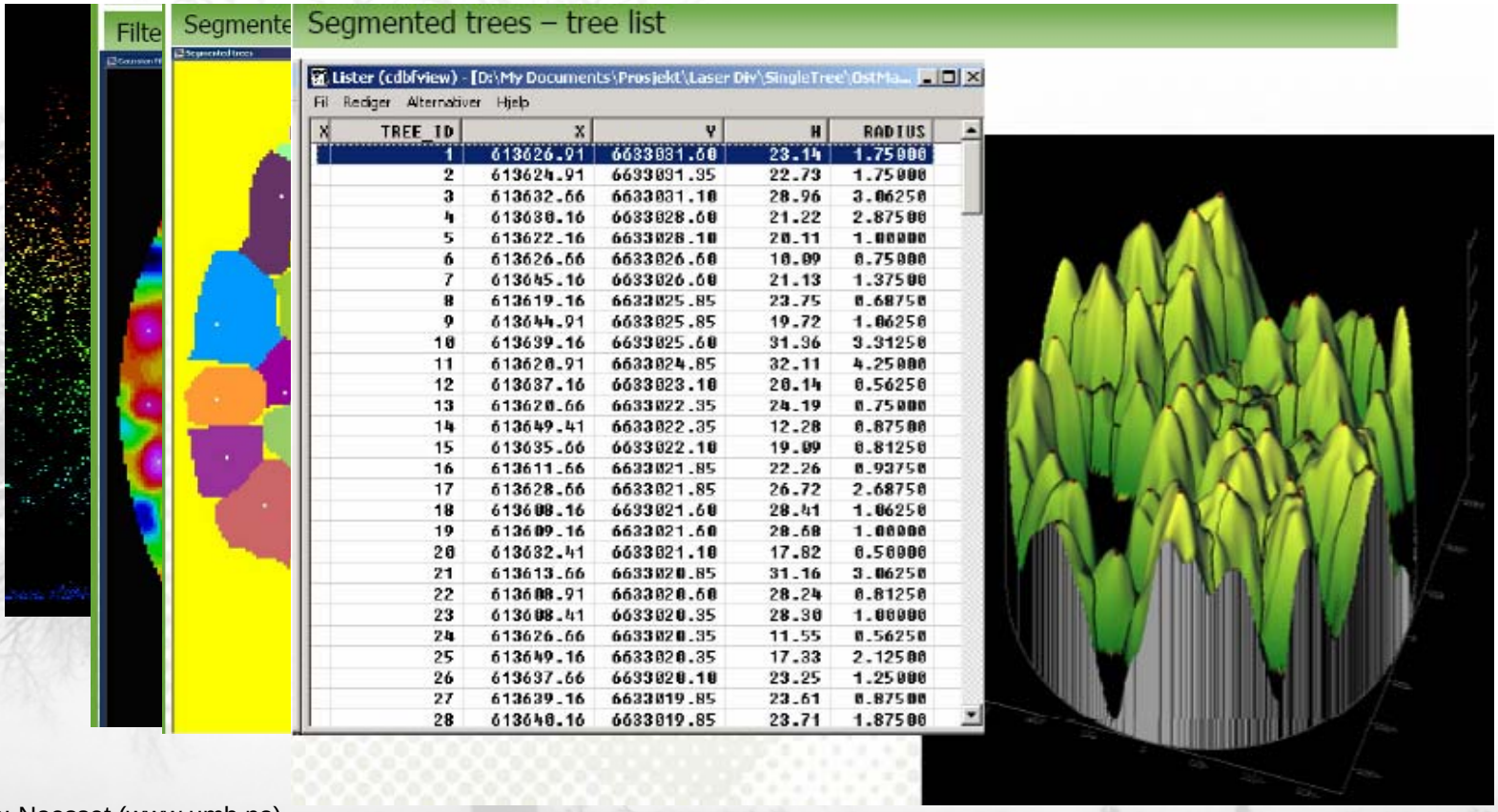
Results of best models found for H_m, H_d, G, V, W_{cr}, W_{st}, and W_{abg} using 8 pulses m^{-2} dataset.

Stand Variable	Model	Independent variable	R^2	RMSE
H_m	Linear	β_0 parameter h_{30}	0.759	1.918
H_d	Exponential	β_0 parameter h_{95} i_{10}	0.865	1.881
G	Exponential	β_0 parameter h_{skw} h_{ID} i_{max} r_2	0.692	7.884
V	Exponential	β_0 parameter h_{skw} h_{60} i_{max}	0.794	76.93
W_{cr}	Exponential	β_0 parameter h_{skw} h_{ID} i_{max} r_2	0.688	6748
W_{st}	Exponential	β_0 parameter h_{skw} h_{60} i_{max} r_2	0.827	28869
W_{abg}	Exponential	β_0 parameter h_{skw} h_{80} i_{max} r_2	0.804	35880

Eduardo Gonzalez-Ferreiro; Ulises Dieguez-Aranda and David Miranda. 2012. Estimation of stand variables in *Pinus radiata* D. Don plantations using different LiDAR pulse densities. *Forestry*. 85; 281–292. Doi: 10.1093/forestry/cps002

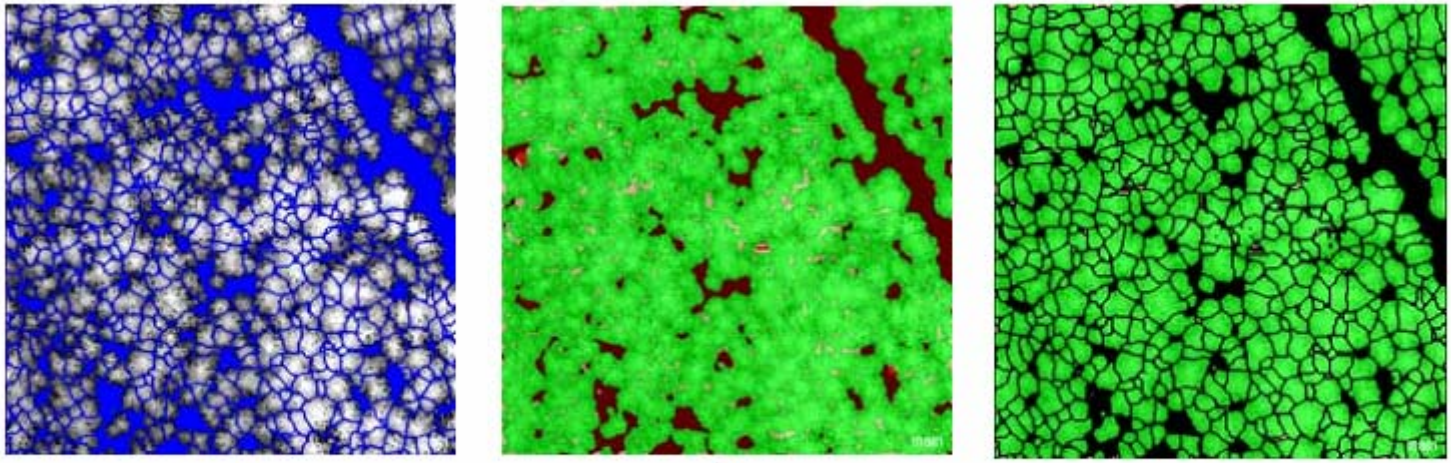
Tree level

LiDAR data



X	TREE_ID	X	Y	H	RADIUS
	1	613626.91	6633031.60	23.14	1.75000
	2	613624.91	6633031.35	22.73	1.75000
	3	613632.66	6633031.10	28.96	3.06250
	4	613630.16	6633028.60	21.22	2.87500
	5	613622.16	6633028.10	20.11	1.00000
	6	613626.66	6633026.60	10.09	0.75000
	7	613645.16	6633026.60	21.13	1.37500
	8	613619.16	6633025.85	23.75	0.68750
	9	613644.91	6633025.85	19.72	1.06250
	10	613639.16	6633025.60	31.36	3.31250
	11	613620.91	6633024.85	32.11	4.25000
	12	613637.16	6633023.10	20.14	0.56250
	13	613620.66	6633022.35	24.19	0.75000
	14	613649.41	6633022.35	12.28	0.87500
	15	613635.66	6633022.10	19.09	0.81250
	16	613611.66	6633021.85	22.26	0.93750
	17	613628.66	6633021.85	26.72	2.68750
	18	613608.16	6633021.60	28.41	1.06250
	19	613609.16	6633021.60	28.68	1.00000
	20	613632.41	6633021.10	17.82	0.50000
	21	613613.66	6633020.85	31.16	3.06250
	22	613608.91	6633020.60	28.24	0.81250
	23	613608.41	6633020.35	28.30	1.00000
	24	613626.66	6633020.35	11.55	0.56250
	25	613649.16	6633020.35	17.33	2.12500
	26	613637.66	6633020.10	23.25	1.25000
	27	613639.16	6633019.85	23.61	0.87500
	28	613640.16	6633019.85	23.71	1.87500

Source: Naesset (www.umb.no)



a b c

Figure 3. Results of individual crown delineation: a) gaps in canopy over the smoothed DCM b) canopies c) individual crowns.

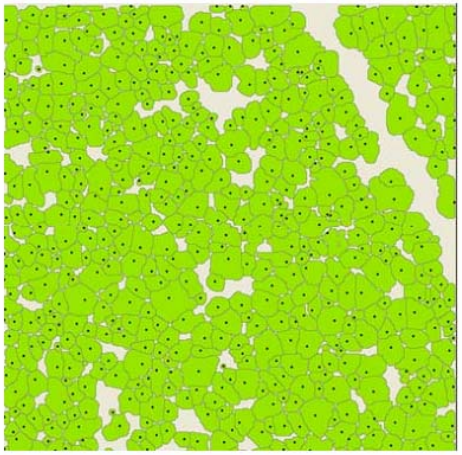


Figure 4. Point shape file with the location of tree tops overlay on a polygon shape file with the delineated individual crowns DCM.

LiDAR aplicado a la estimación de variables dasométricas

APLICACIONES ESTUDIADAS CON LiDAR EN EL LABORATE Y UXFS:

- INVENTARIO FORESTAL
- RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES
- CLASIFICACION DE USOS DEL SUELO Y MAPAS DE VEGETACIÓN
- CARTOGRAFÍA URBANA EN 3D

Con la inestimable ayuda de:

Ulises Diéguez-Aranda; David Miranda; Laura Barreiro-Fernández; Sandra Buján; Fernando Castedo; Luis Gonçalves; Miguel Barbosa; Lara Yañez; Fabián Reyes; Bruño Fraga; Mariano García; Jorge García; Eduardo Corbelle; Juan Suárez; Iain Bye.

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Eduardo Manuel González Ferreiro

email: edu.g.ferreiro@gmail.com

septiembre de 2012