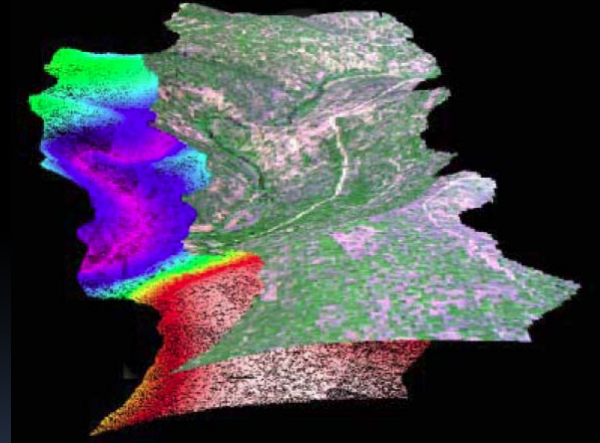


# Fusión de datos LiDAR con datos ópticos y análisis multi-escala: LiDAR Terrestre, aerotransportado y satélite

XV CONGRESO NACIONAL TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
*Tecnologías de la Información Geográfica en el Contexto de Cambio Global*

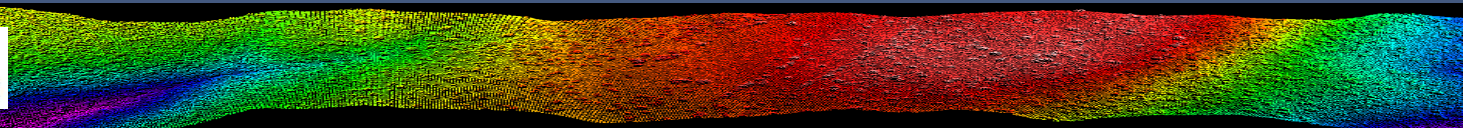


Mariano García Alonso (mariano.garcia @ uah.es)



# Fusión de datos LiDAR con datos ópticos y análisis multiescala: LiDAR Terrestre, aerotransportado y satélite

- ✓ Introducción
- ✓ Sistemas LiDAR. Up-scaling:
  - ✓ Terrestres
  - ✓ Aeroportados
  - ✓ Espaciales. ICESat/GLAS
- ✓ Datos ópticos
- ✓ Fusión datos LiDAR-ópticos
- ✓ Ejemplos



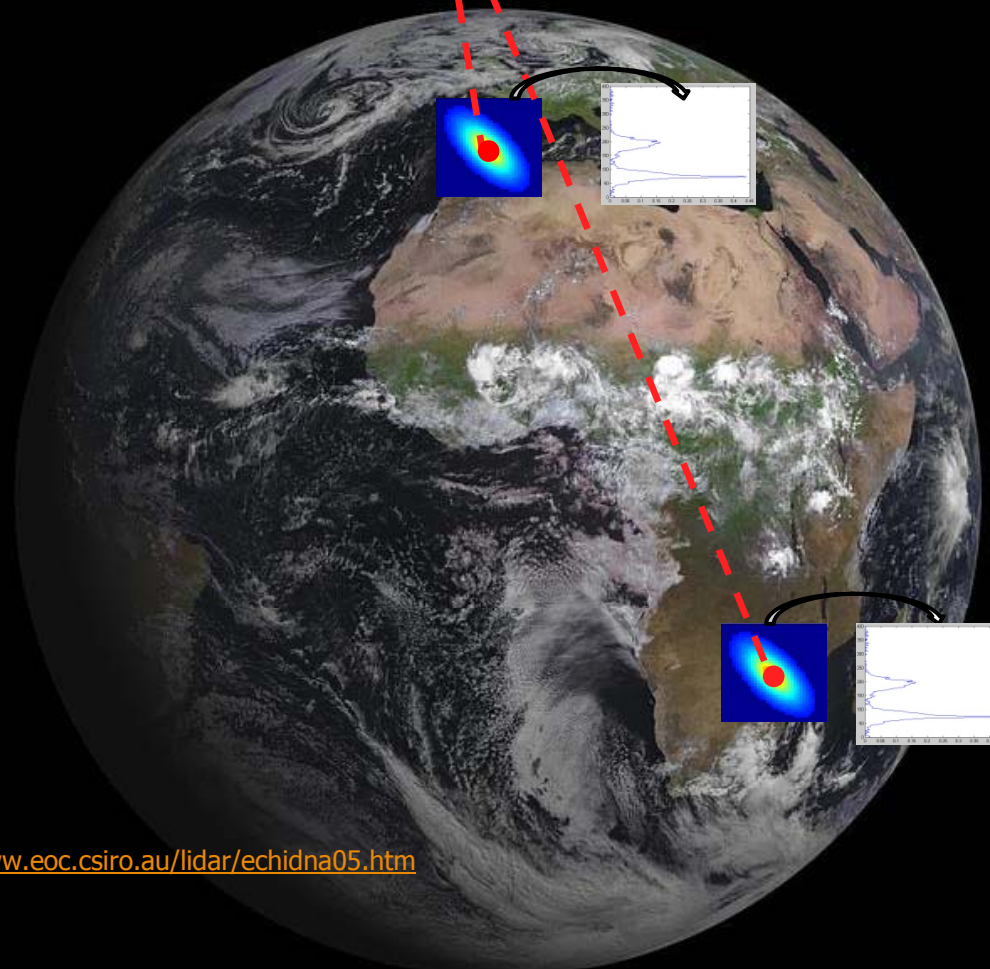
Teledetección → información multiescala

*I  
n  
t  
r  
o  
d  
u  
c  
c  
i  
ó  
n*

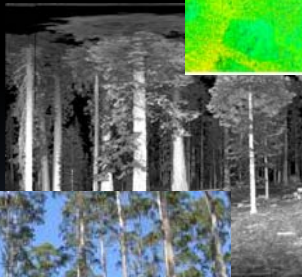
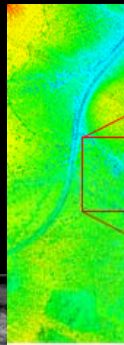




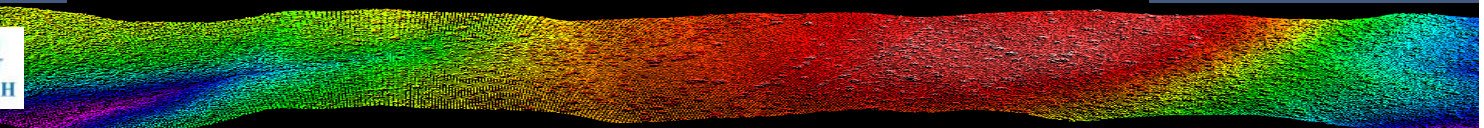
Teledetección → información a escala



*I  
n  
t  
r  
o  
d  
u  
c  
c  
i  
ó  
n*



<http://www.eoc.csiro.au/lidar/echidna05.htm>

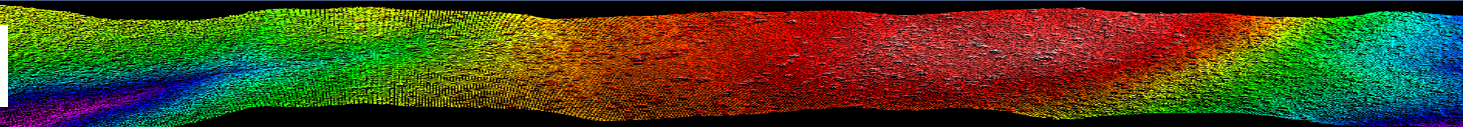


## Sistemas LiDAR terrestres



- ✓ GPS (algunos sistemas lo incorporan. Ej: RIEGL VA-400)
- ✓ No IMU
- ✓ Alcance

Sistema	Alcance máximo
<b>RIEGL VZ-400</b> <a href="http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/10_DataSheet_VZ400_03-04-2012.pdf">http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/10_DataSheet_VZ400_03-04-2012.pdf</a>	$\rho \geq 20\% \rightarrow D_{\max} = 280 \text{ m}$ (Long range) $\rho \geq 20\% \rightarrow D_{\max} = 160 \text{ m}$ (High speed) $\rho \geq 90\% \rightarrow D_{\max} = 600 \text{ m}$ (Long range) $\rho \geq 90\% \rightarrow D_{\max} = 350 \text{ m}$ (High speed)
<b>Optech ILRIS-3D</b> <a href="http://www.optech.ca/i3dt/echoverview-ilris.htm">http://www.optech.ca/i3dt/echoverview-ilris.htm</a>	$\rho = 80\% \rightarrow D_{\max} = 1500 \text{ m}$ $\rho = 20\% \rightarrow D_{\max} = 800 \text{ m}$ $\rho = 4\% \rightarrow D_{\max} = 350 \text{ m}$

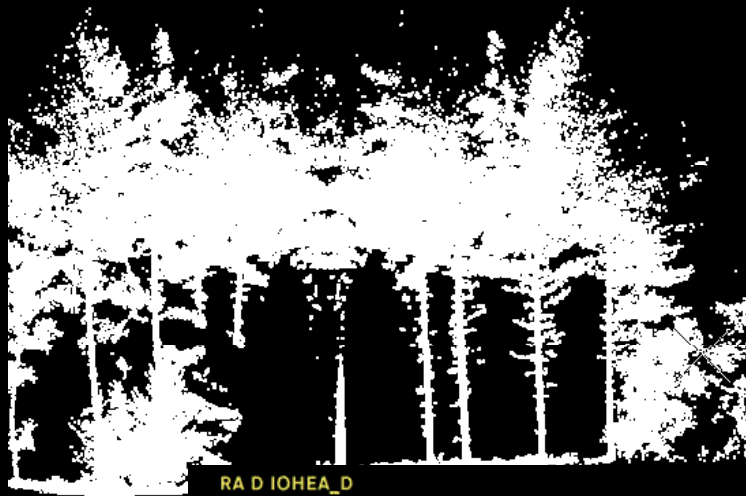


# Sistemas LiDAR terrestres

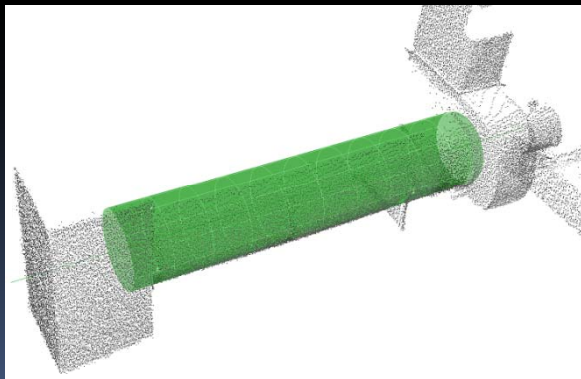
S  
i  
s  
t  
e  
m  
a  
s  
  
L  
i  
D  
A  
R  
  
·  
  
U  
p  
-  
s  
c  
a  
l  
i  
n  
g



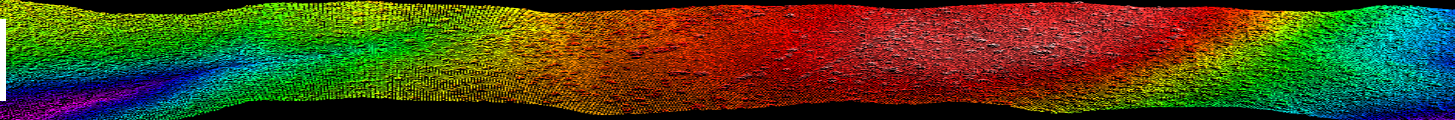
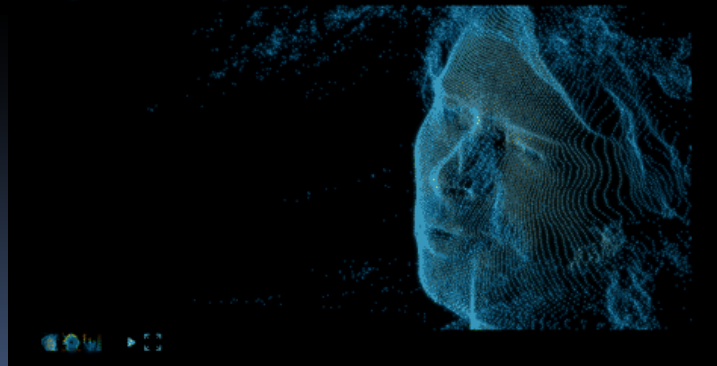
✓ Proporcionan nubes de puntos muy densas



Bohannan Huston, 2012



<http://idav.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/LiDAR/CylinderExtraction.png>

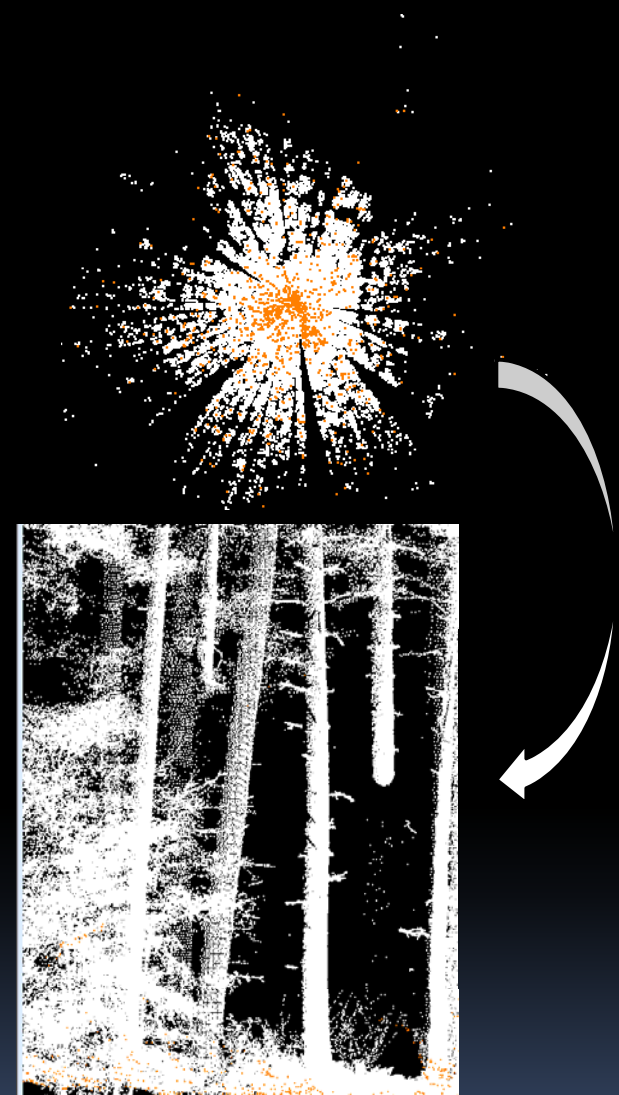




## Sistemas LiDAR terrestres



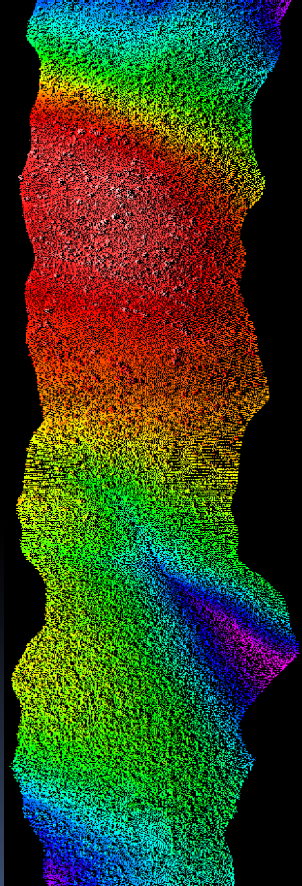
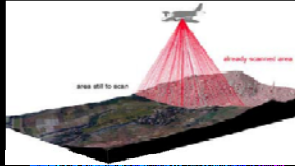
- ✓ Árbol individual
- ✓ Parcela



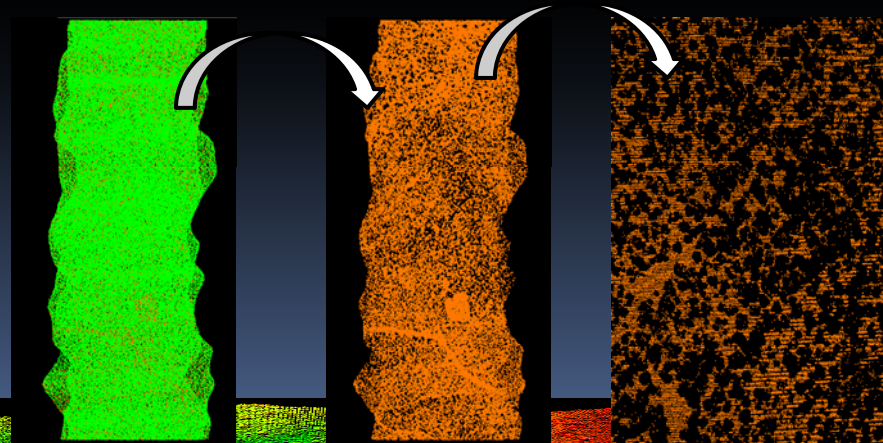
- ✓ Oclusión:
  - ✓ Afecta fundamentalmente a partes altas de arbolado.
  - ✓ Mayores distancias.
  - ✓ Acentuada en sistemas que solo graban un retorno

## Sistemas LiDAR aeroportados

S  
i  
s  
t  
e  
m  
a  
s  
  
L  
i  
D  
A  
R  
  
.  
  
U  
p  
-  
s  
c  
a  
l  
i  
n  
g



- ✓ Densidades de puntos:  $0.5 \text{ p m}^{-2}$  –  $20 \text{ p m}^{-2}$
- ✓ Estudios escala local (Popescu&Zhao, 2007: 4800 ha; García et al., 2011:  $9 \times 0.3\text{km}^2$ ) – regional (Naeset & Gobakken, 2008) – nacional (eg: PNOA)
- ✓ Oclusión: Afecta fundamentalmente a partes bajas de arbolado, sotobosque y suelo → MDE.





## Sistemas LiDAR espaciales. ICESat/GLAS

- ✓ ICESat = Ice, Cloud and land Elevation Satellite
- ✓ GLAS = Geoscience Laser Altimeter System



### ICESat/GLAS



- Laser mission conceived in 1980s
  - First new sensor concept since Seasat (1978)
- ICESat launch
  - January 13, 2003, on Delta-II rocket from Vandenberg, CA
  - Repeat orbit: 8 days (cal/val), 91 days (science)
- Laser 1 Operation
  - Turned on Feb 20, 2003
  - Failure on March 29, 2003
- Modified Mission
  - Laser On 'campaigns' 33 days 2-3 times per year to ensure longer measurement time span

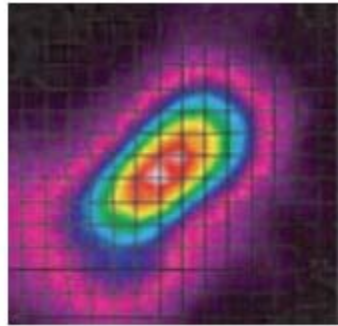
12

### Technical characteristics

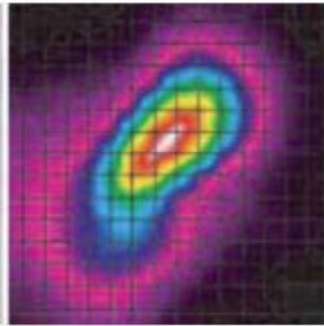
✓ Status	launched Jan. 2003
✓ Altitude	590 km
✓ Platform	space-borne
✓ Wavelength	1064 nm (vegetation)
✓ Pulse frequency	40 Hz
✓ Pulse width	5 ns
✓ Pulse form Gaussian	
✓ Footprint diameter	60-70 m
✓ Transmit energy	5 mJ
✓ Along-track separation	170 m
✓ Cross-track max	15 km
✓ Cross-track min	2.5 km
✓ Repeat cycle	183 days
✓ Life-time	3 years

## Sistemas LiDAR espaciales. ICESat/GLAS

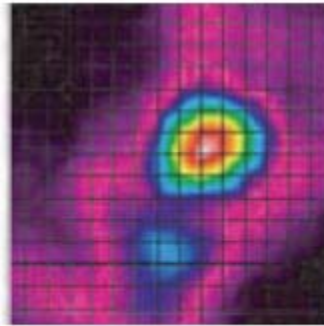
- ✓ Huella elíptica.
- ✓ Variación de la forma y tamaño con el tiempo



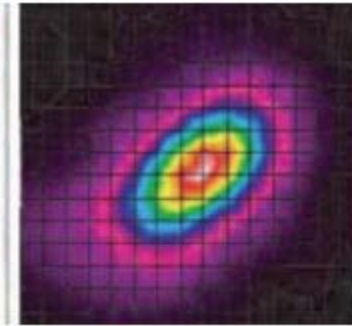
Laser 1 (2/20/03)



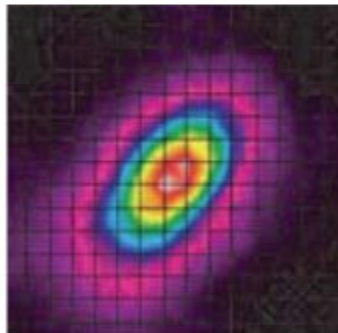
Laser 1 (3/4/03)



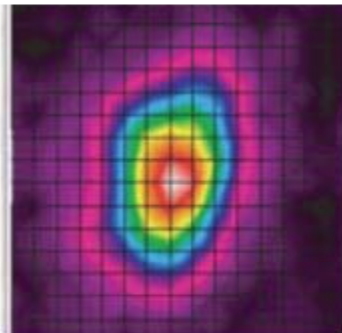
Laser 1 (3/26/03)



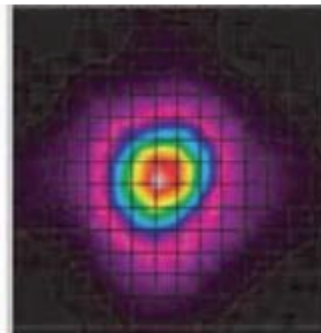
Laser 2a (9/26/03)



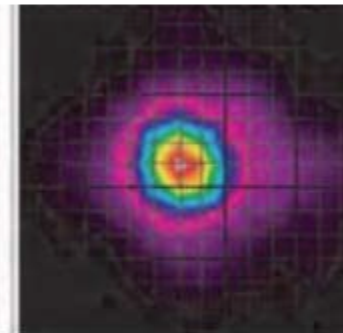
Laser 2b (2/18/04)



Laser 2c (5/18/04)



Laser 3a (10/4/04)

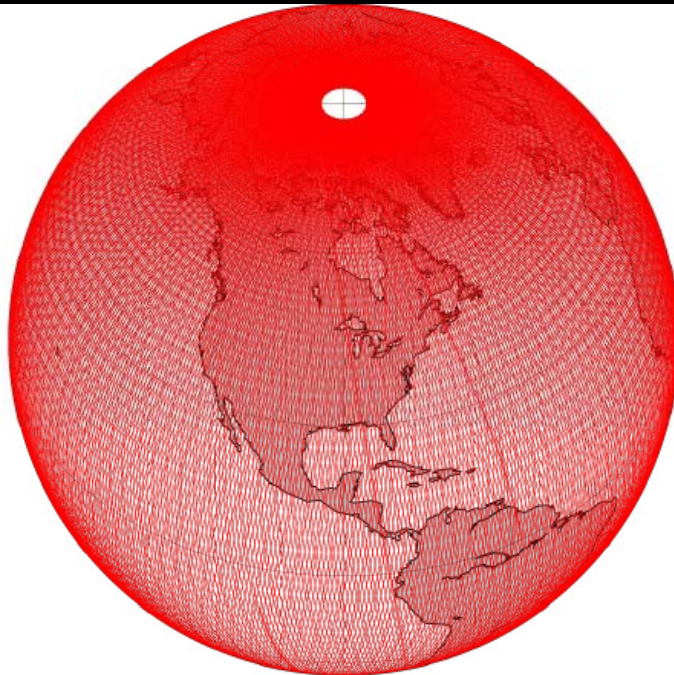


Laser 3b (2/18/05)

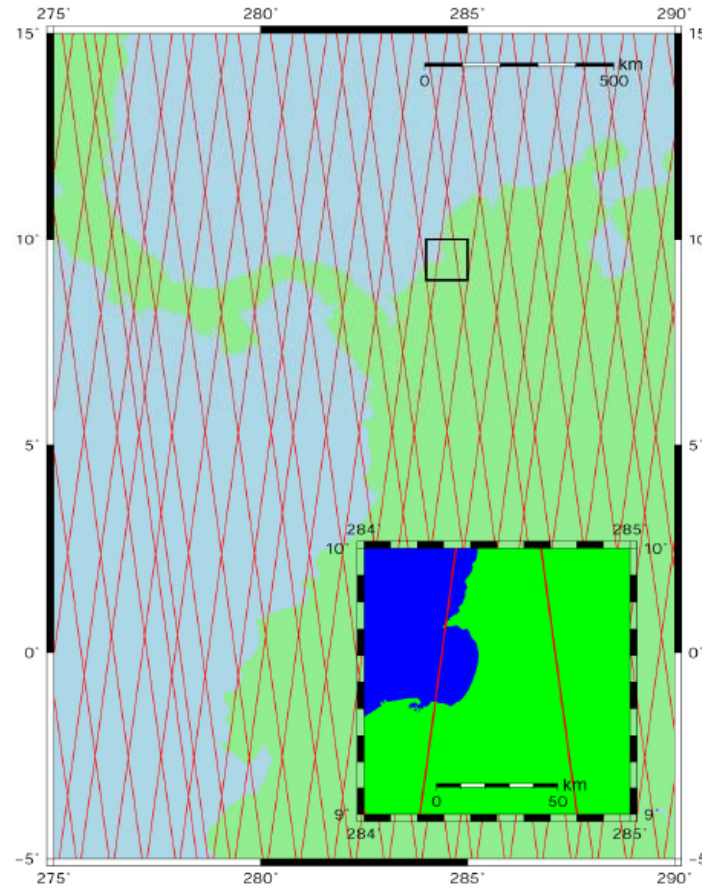


# Sistemas LiDAR espaciales. ICESat/GLAS

- ✓ Distribución de observaciones



33 days of 91-day orbit:  
90 km @ Equator  
45 km @ 60°, 15 km @ 80°

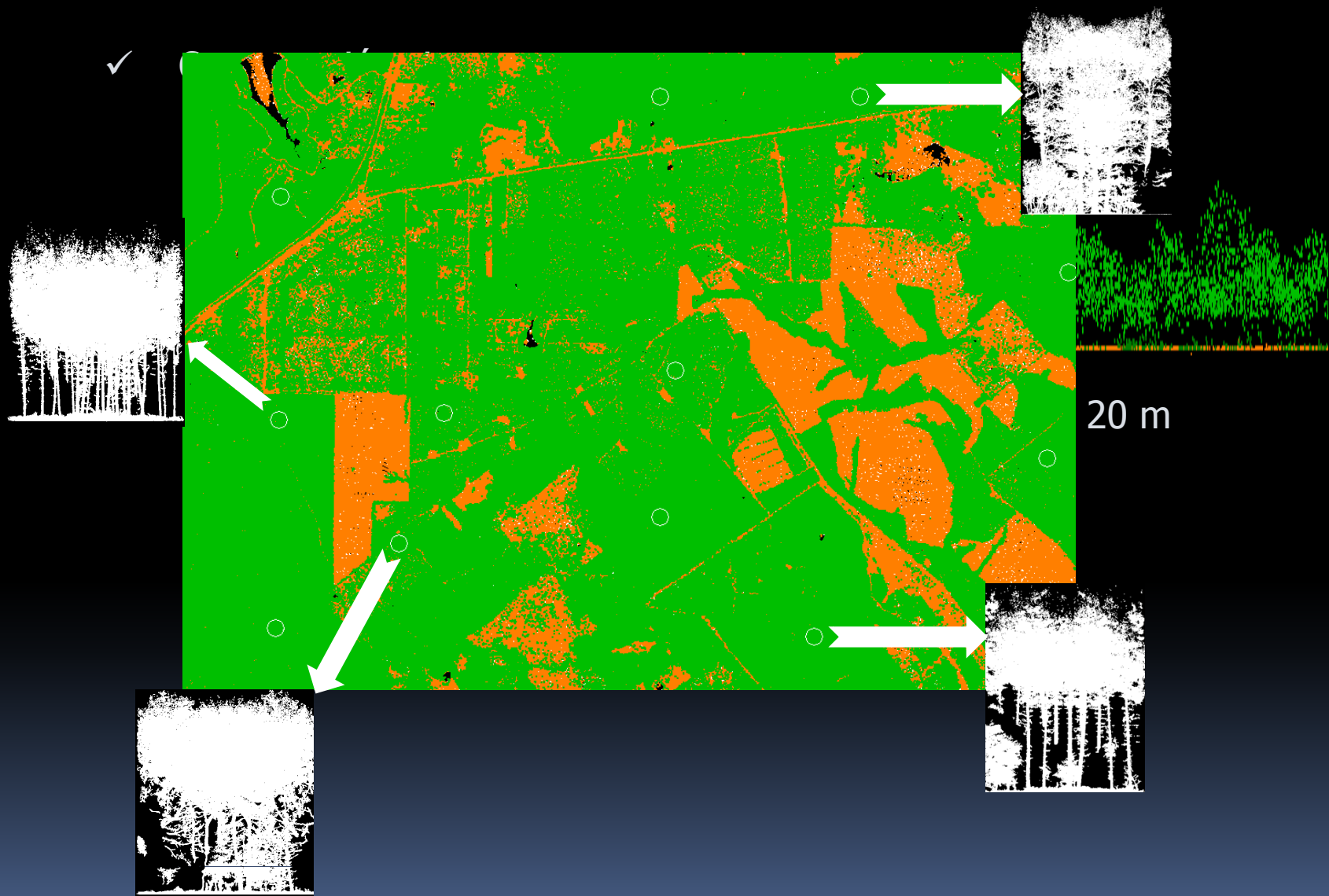


Tim Urban's courtesy. Center for Space Research (CSR) University of Texas at Austin



# Relación LiDAR terrestre-aeroportado

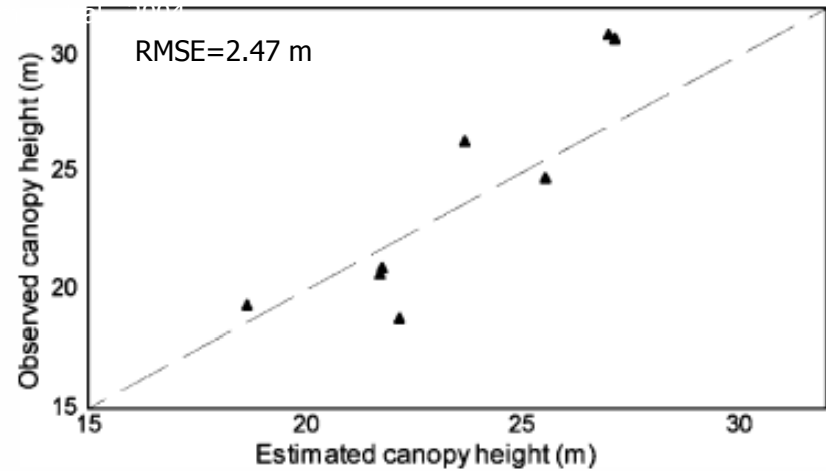
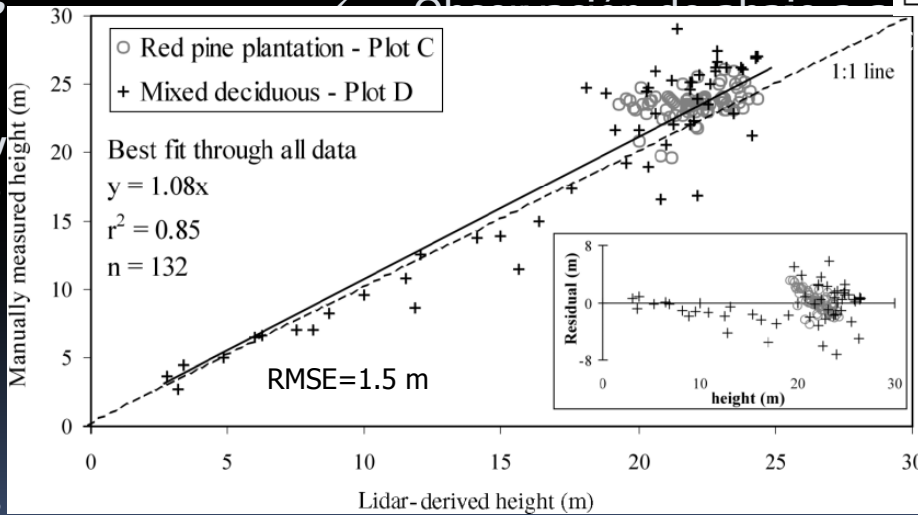
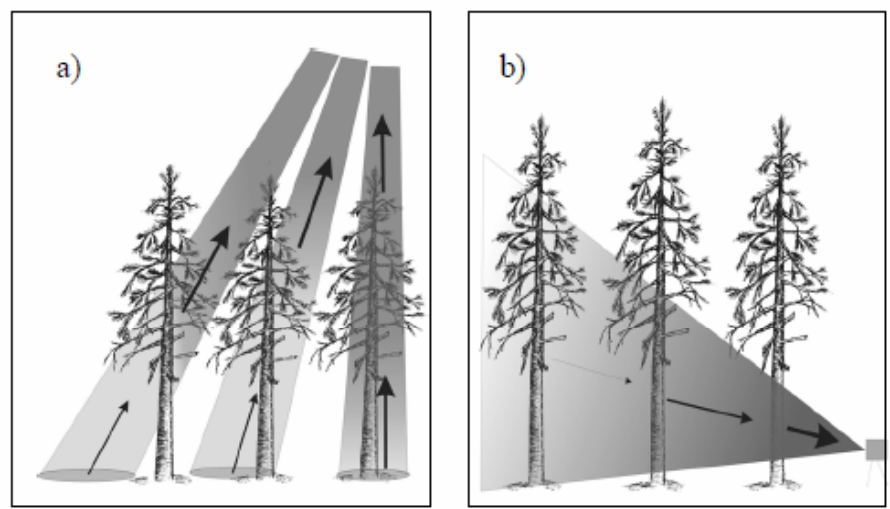
S  
i  
s  
t  
e  
m  
a  
s  
  
L  
i  
D  
A  
R  
  
U  
p  
-  
s  
c  
a  
l  
i  
n  
g



## Relación LiDAR terrestre-aeroportado

S  
i  
s  
t  
e  
m  
a  
s  
  
L  
i  
D  
A  
R  
  
U  
p  
-  
s  
c  
a  
l  
i  
n

- ✓ Punto de vista opuesto.
- ✓ Ángulos de escaneo muy diferentes.
- ✓ ¿Cómo afecta a las variables de altura?
- ✓ Ejemplo: estimación de altura de árboles.
- ✓ LiDAR terrestre

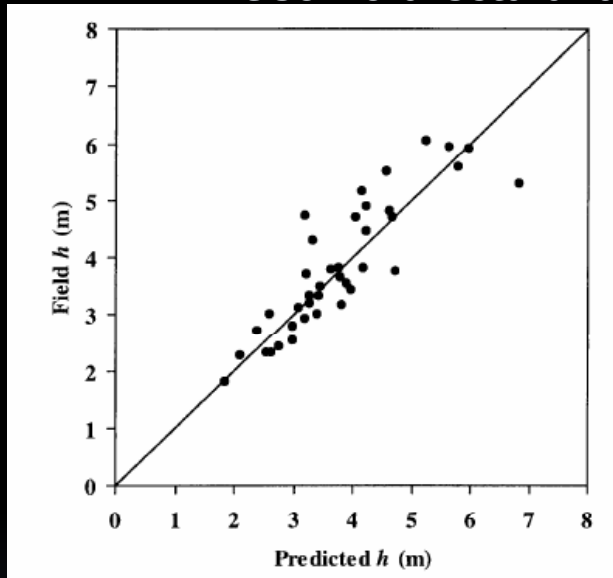


g Hopkinson et al., 2004. Árboles individuales

García et al., 2011. Altura media parcelas

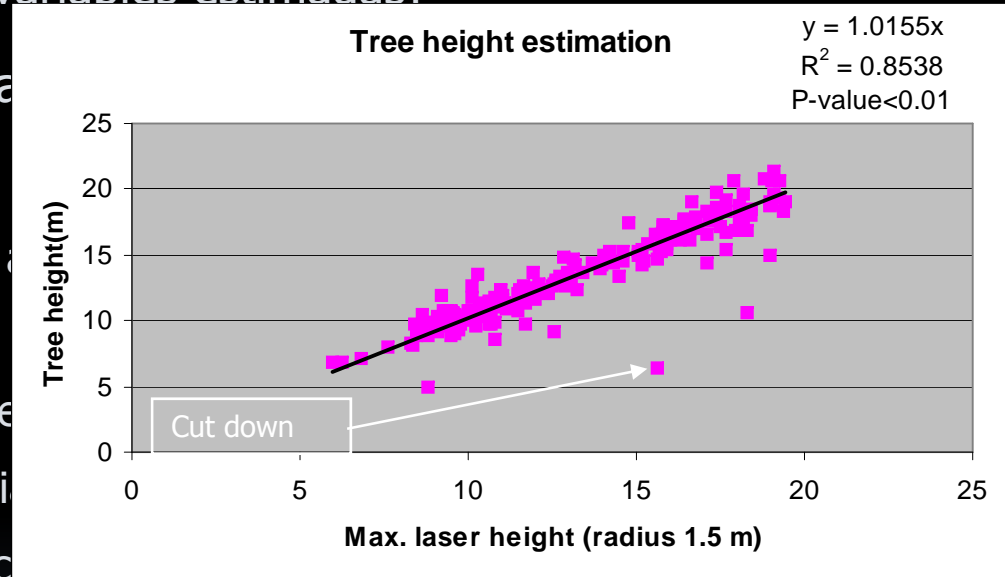
## Relación LiDAR terrestre-aeroportado

- ✓ Punto de vista opuesto.
- ✓ ¿Cómo afecta a las variables estimadas?



Naesset & Bjercknes, 2001  
"soft-target".

- ✓ Relación lineal



Riaño, 2003



## Relación LiDAR terrestre-aeroportado

- ✓ Ejemplo: estimación de alturas

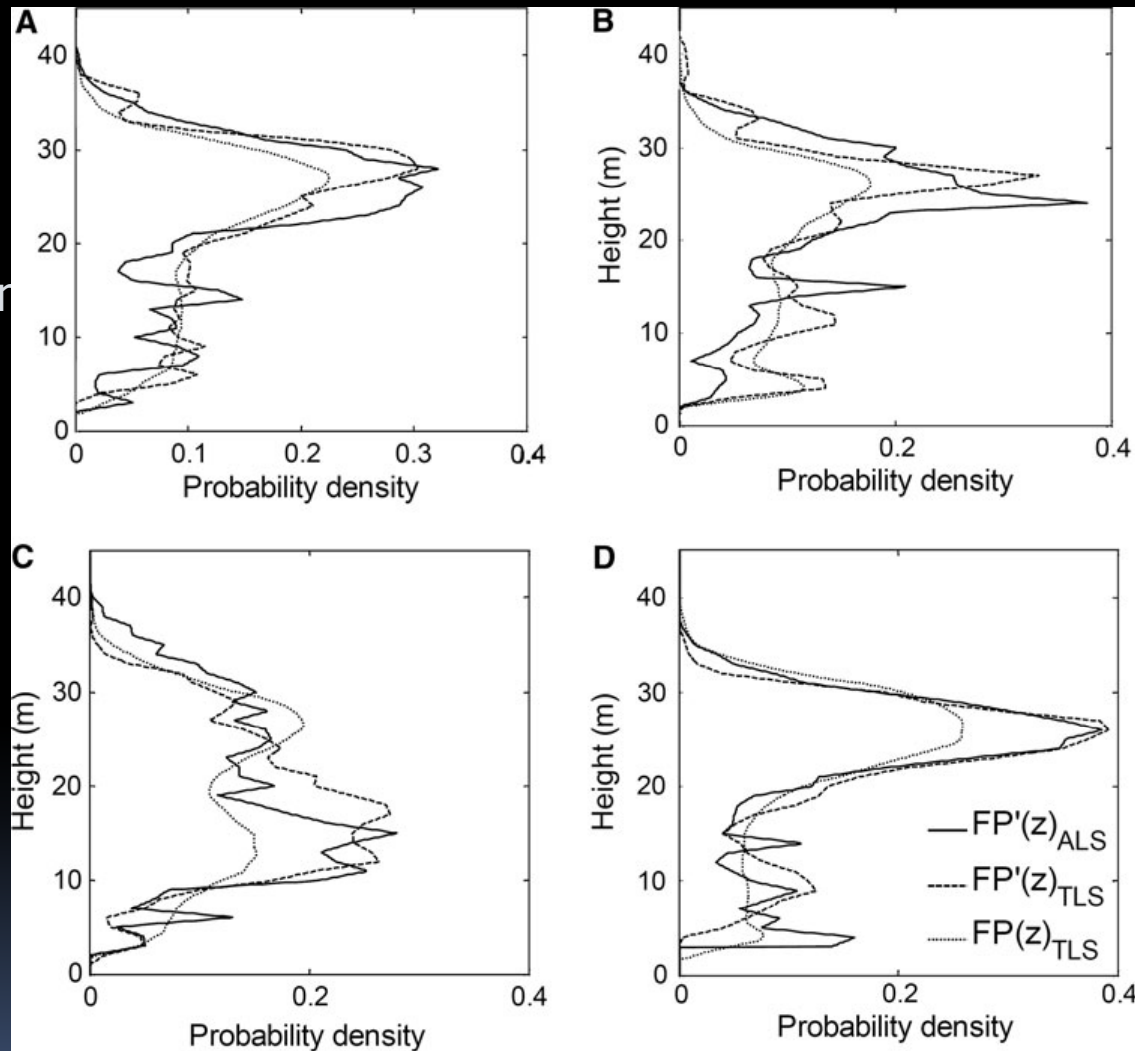


Hilker et al., 2010

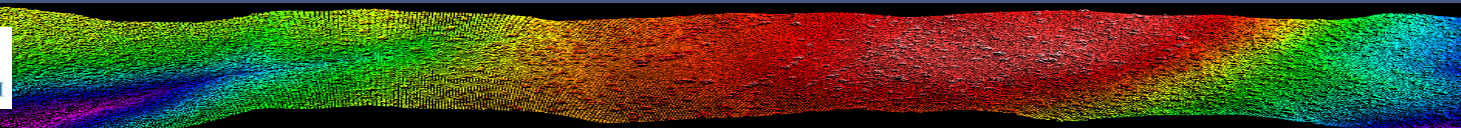
# Relación LiDAR terrestre-aeroportado

S  
i  
s  
t  
e  
m  
a  
s  
  
L  
i  
D  
A  
R  
  
·  
  
U  
p  
-  
s  
c  
a  
l  
i  
n  
g

✓  
✓  
✓ Ejer

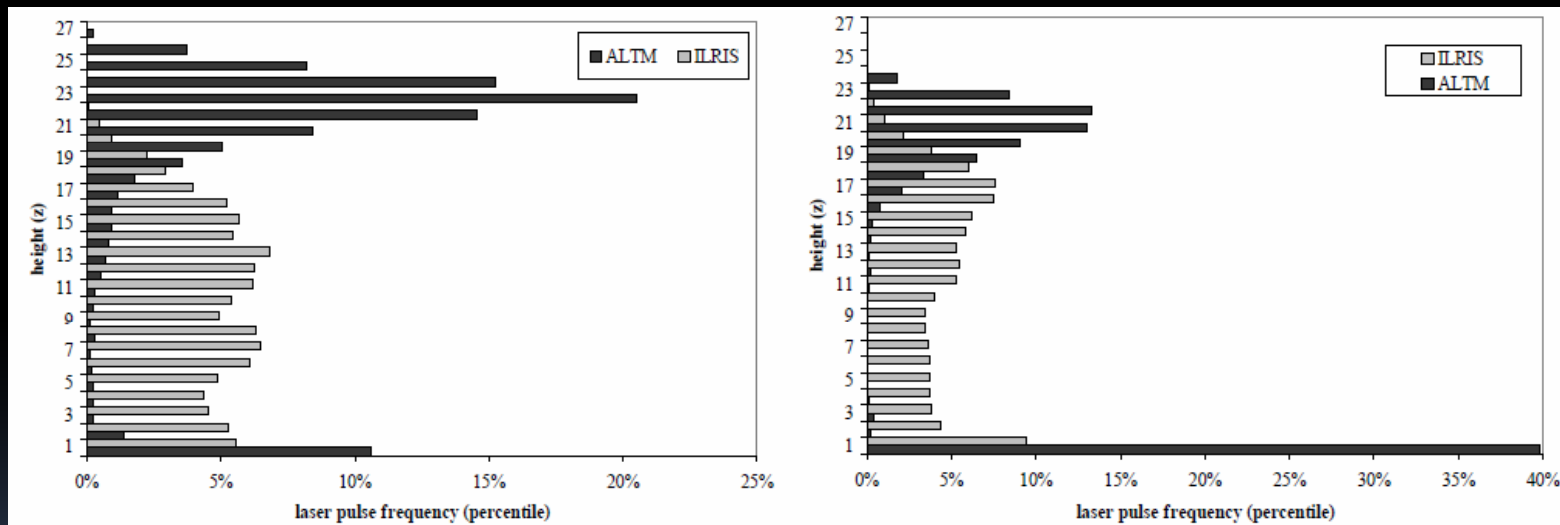


Hilker et al., 2010



## Relación LiDAR terrestre-aeroportado

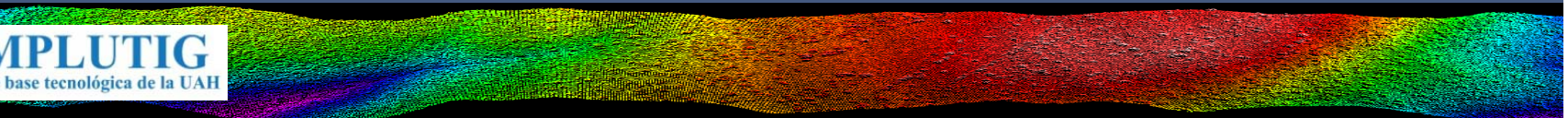
- ✓ Punto de vista opuesto.
- ✓ ¿Cómo afecta a las variables estimadas?
- ✓ Ejemplo: generación de perfiles verticales



Bosque mixto

Coníferas

Chasmer et al., 2004





## Relación LiDAR terrestre-aeroportado

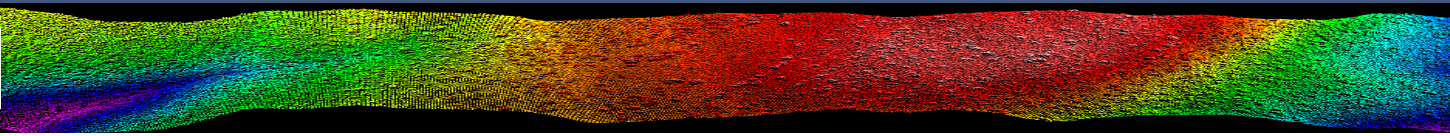
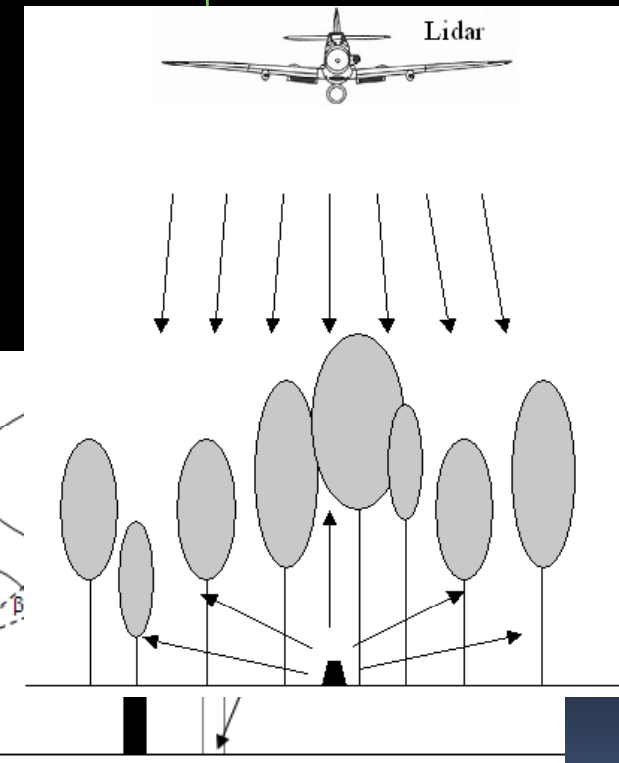
- ✓ Punto de vista opuesto.
- ✓ ¿Cómo afecta a las variables estimadas?
- ✓ Ejemplo: Fracción de cabida cubierta
- ✓ ALS: ángulo escaneo muy pequeño



≈ observación nadiral

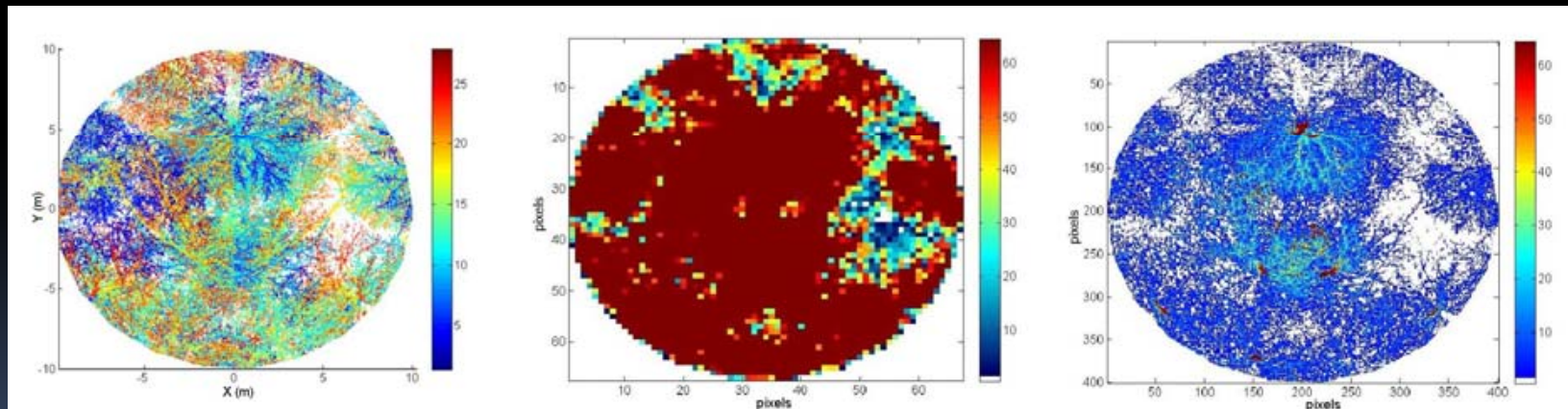
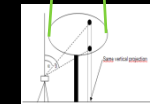
Proporción retornos

- ✓ TLS: Hemisférica

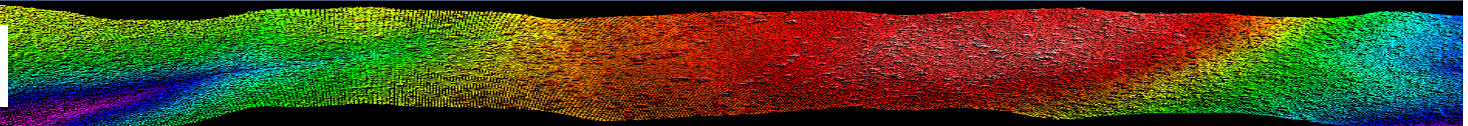


## Relación LiDAR terrestre-aeroportado

- ✓ Punto de vista opuesto.
- ✓ ¿Cómo afecta a las variables estimadas?
- ✓ Ejemplo: Fracción de cabida cubierta

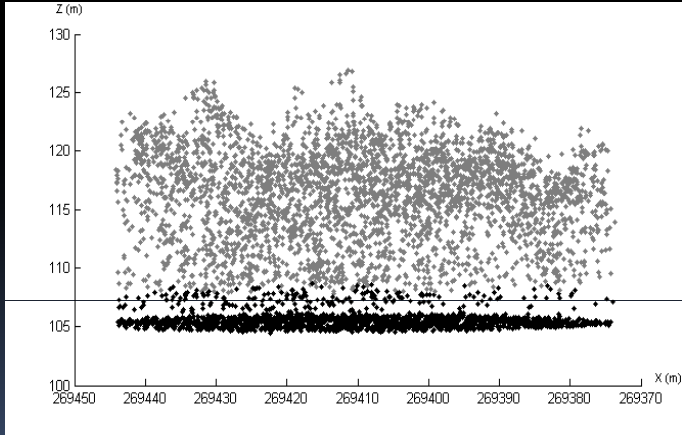
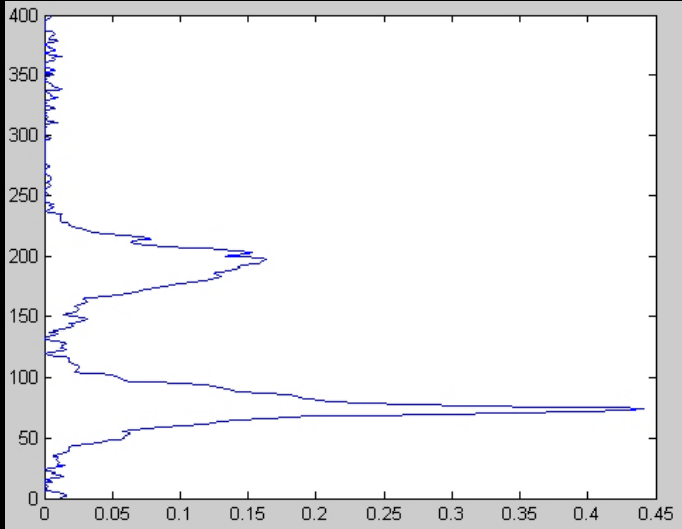
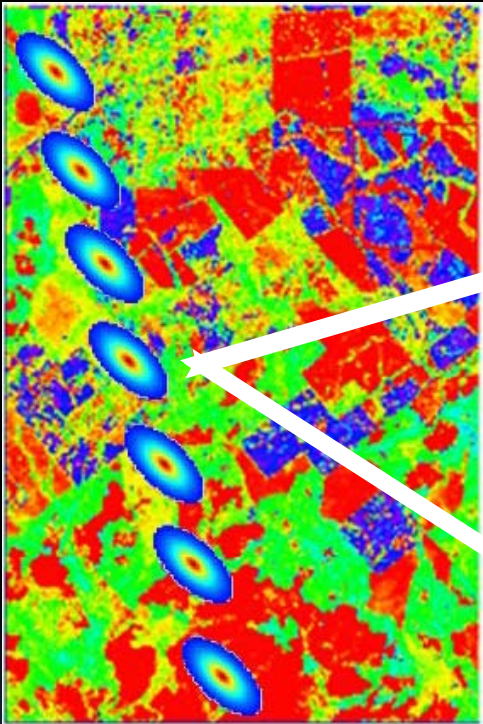


García et al., 2011



# Relación LiDAR aeroportado- ICESat-GLAS

S  
i  
s  
t  
e  
m  
a  
s  
  
L  
i  
D  
A  
R  
.  
  
U  
p  
-  
s  
c  
a  
l  
i  
n  
g

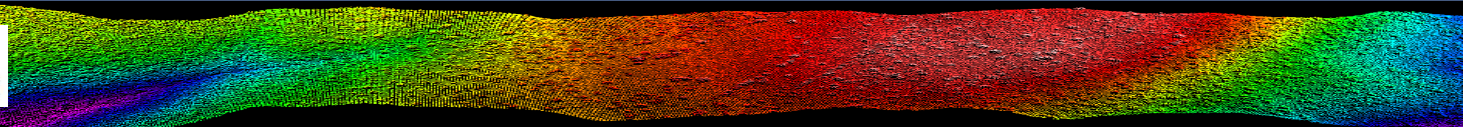




## Relación LiDAR aeroportado- ICESat-GLAS

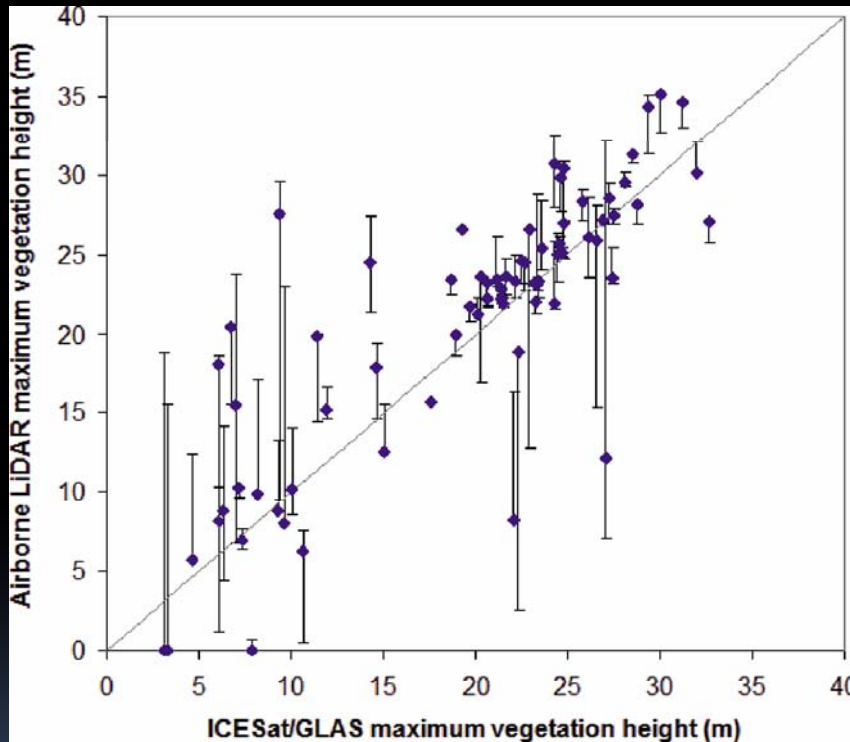
S  
i  
s  
t  
e  
m  
a  
s  
  
L  
i  
D  
A  
R  
.  
  
U  
p  
-  
s  
c  
a  
l  
i  
n  
g

- ✓ LiDAR aeroportado → verdad terreno
  - ✓ LiDAR aeroportado → previamente validado
- ✓ Mismo punto de vista. Sin embargo:
  - ✓ ICESat-GLAS observación nadiral (permite un desplazamiento de  $\pm 5^\circ$ ) mientras que el sensor aeroportado  $\pm 15^\circ$  y puede observar una misma zona en distintas pasadas
  - ✓ ALS: huella continua o discreto
  - ✓ ICESat-GLAS: huella continua
  - ✓ Distribución de la energía en una huella de 70 m



## Relación LiDAR aeroportado- ICESat-GLAS

✓ Estimación de alturas

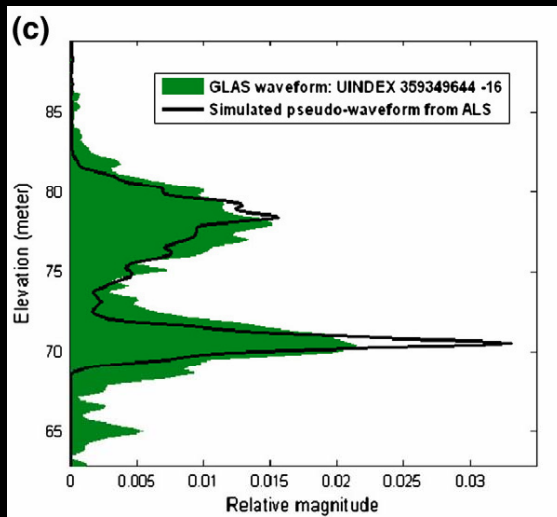


Rosette et al., 2009

- ✓ Altura máxima:  
 $R^2=0.68$ ; RMSE=4.4 m
- ✓ Efectos co-registro. Posición óptima 20 m NE.
- ✓ Percentiles:  
99:  $R^2=0.75$  (RMSE= 3.5 m)  
98:  $R^2=0.76$  (RMSE= 3.4 m)  
95:  $R^2=0.75$  (RMSE= 3.5 m)  
90:  $R^2=0.67$  (RMSE= 3.8 m)

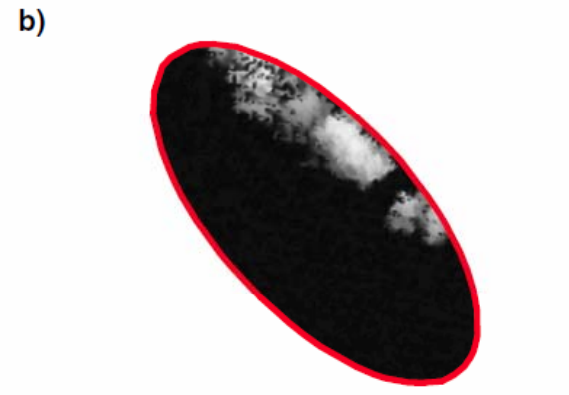
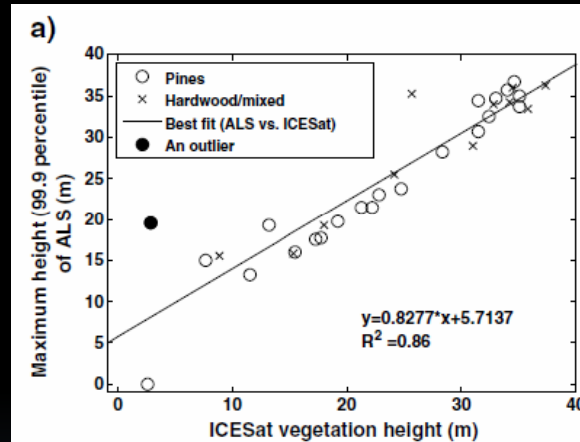
## Relación LiDAR aeroportado- ICESat-GLAS

✓ Estimación de alturas



Popescu et al., 2011

- ✓ Ajuste ambas fuentes de datos:  
Comparación GLAS con pseudo-waveform
- ✓ Efectos co-registro.  $25.5 \text{ m} \pm 11.6 \text{ m}$



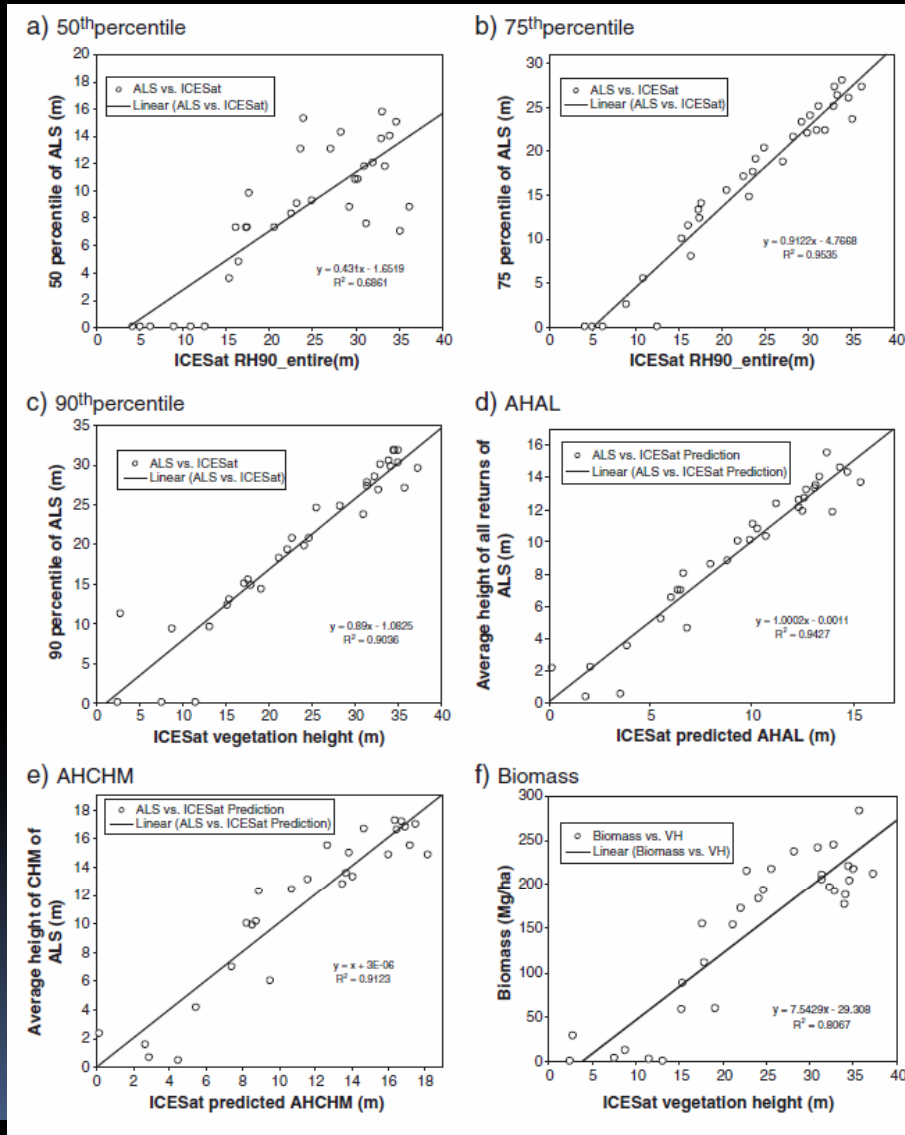
Popescu et al., 2011

✓ Efecto borde



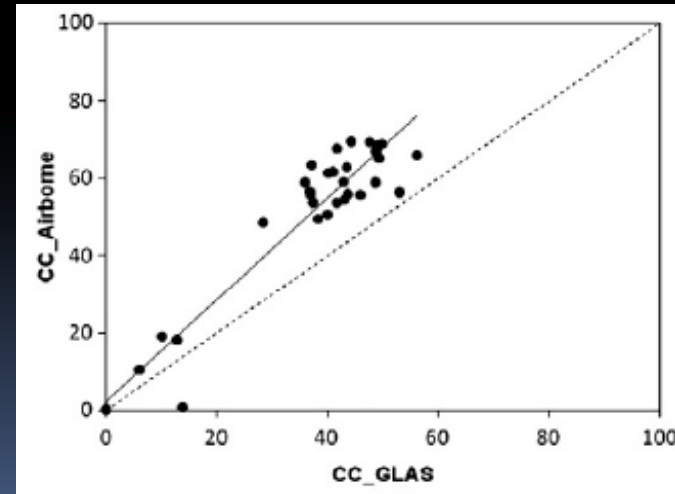
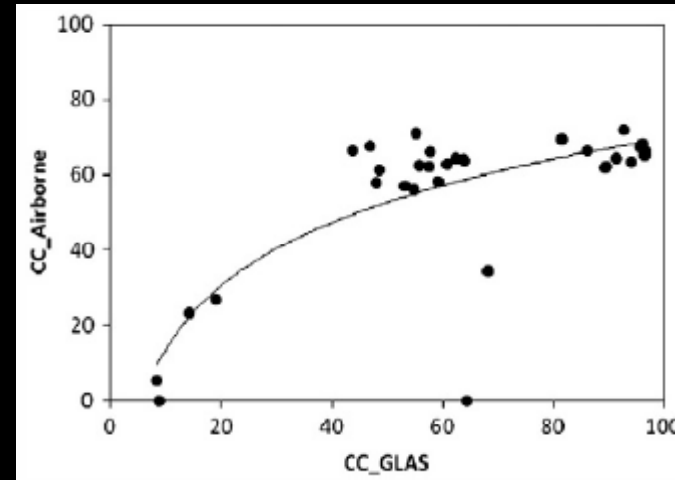
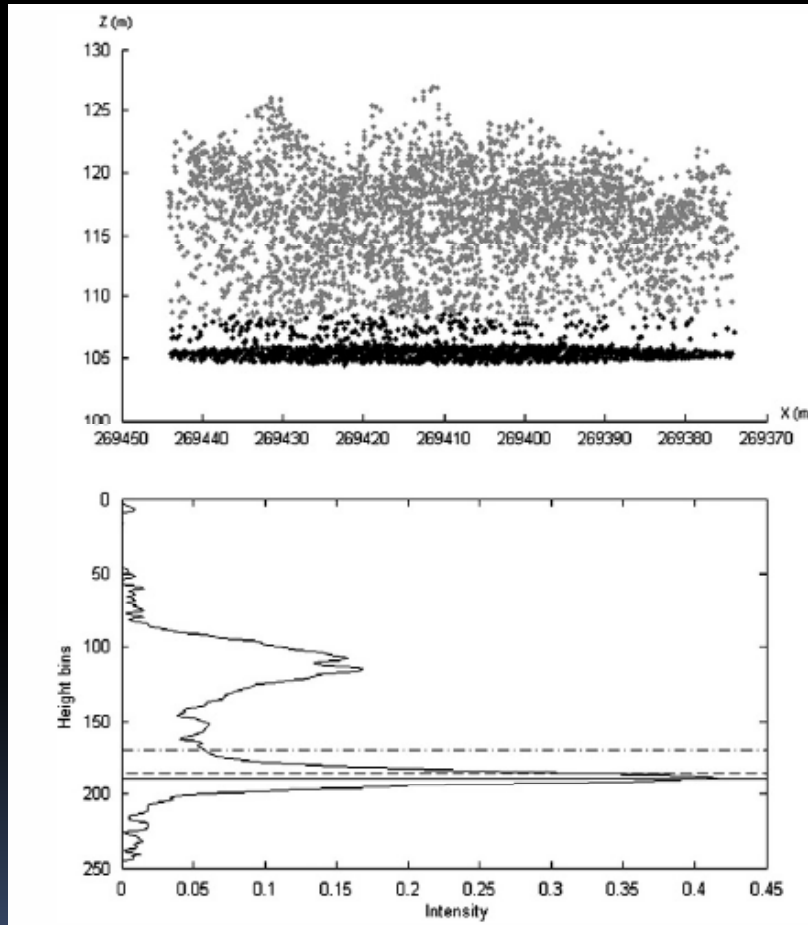
# Relación LiDAR aeroportado- ICESat-GLAS

s  
i  
s  
t  
e  
m  
a  
s  
  
L  
i  
D  
A  
R  
  
·  
  
U  
p  
-  
s  
c  
a  
l  
i  
n  
g

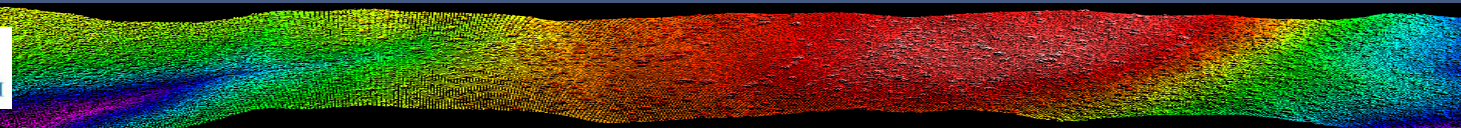


# Relación LiDAR aeroportado- ICESat-GLAS

✓ Fracción de cabida cubierta

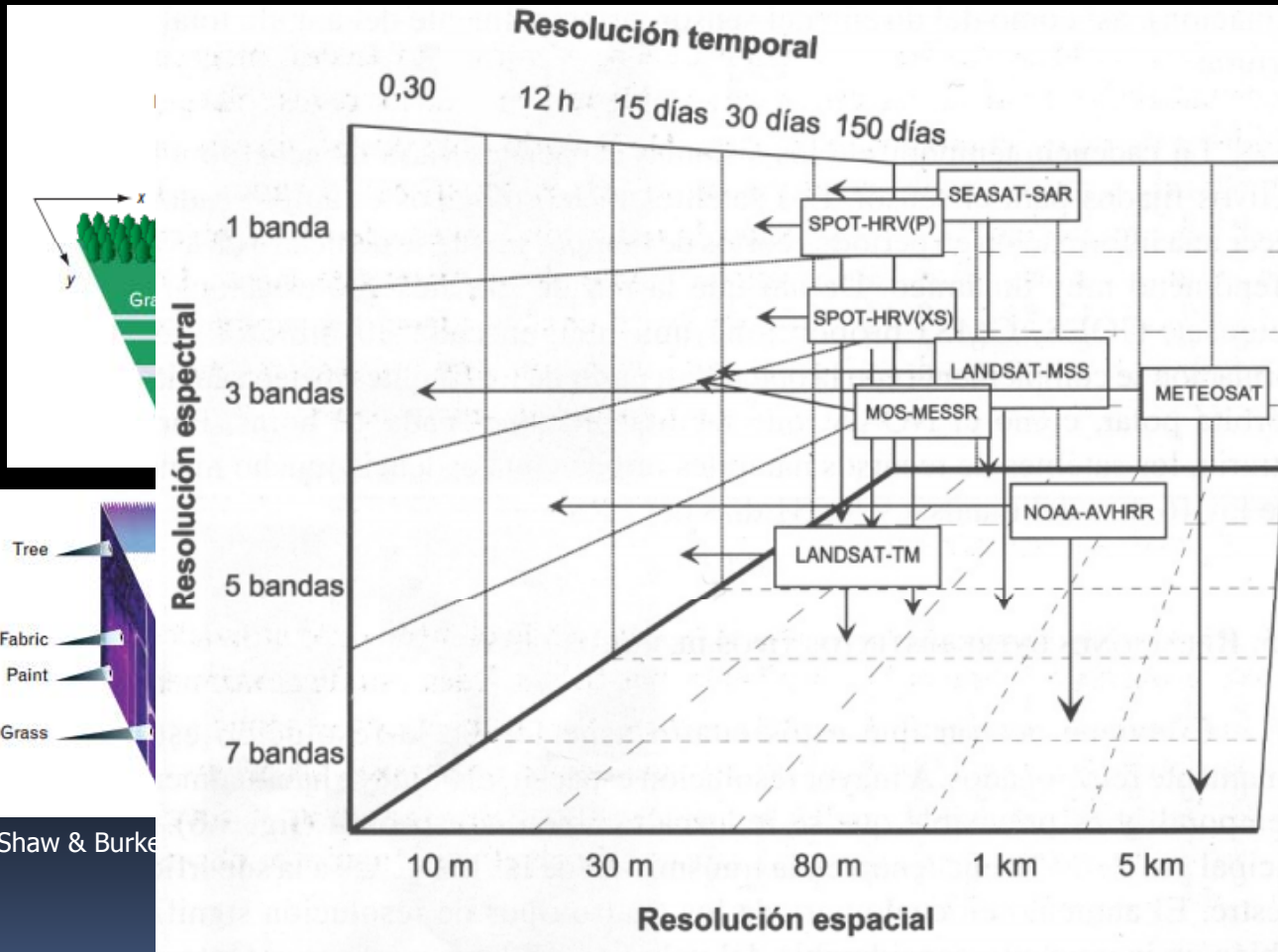


García et al., 2012

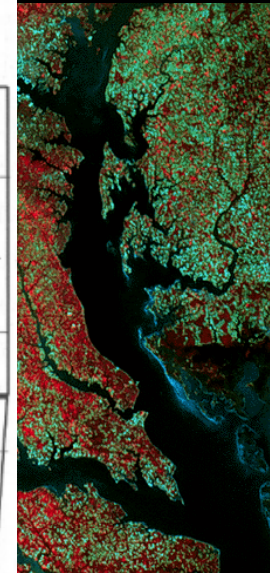


✓ Sensores multispectrales

*D  
a  
t  
o  
s  
  
ó  
p  
t  
i  
c  
o  
s*



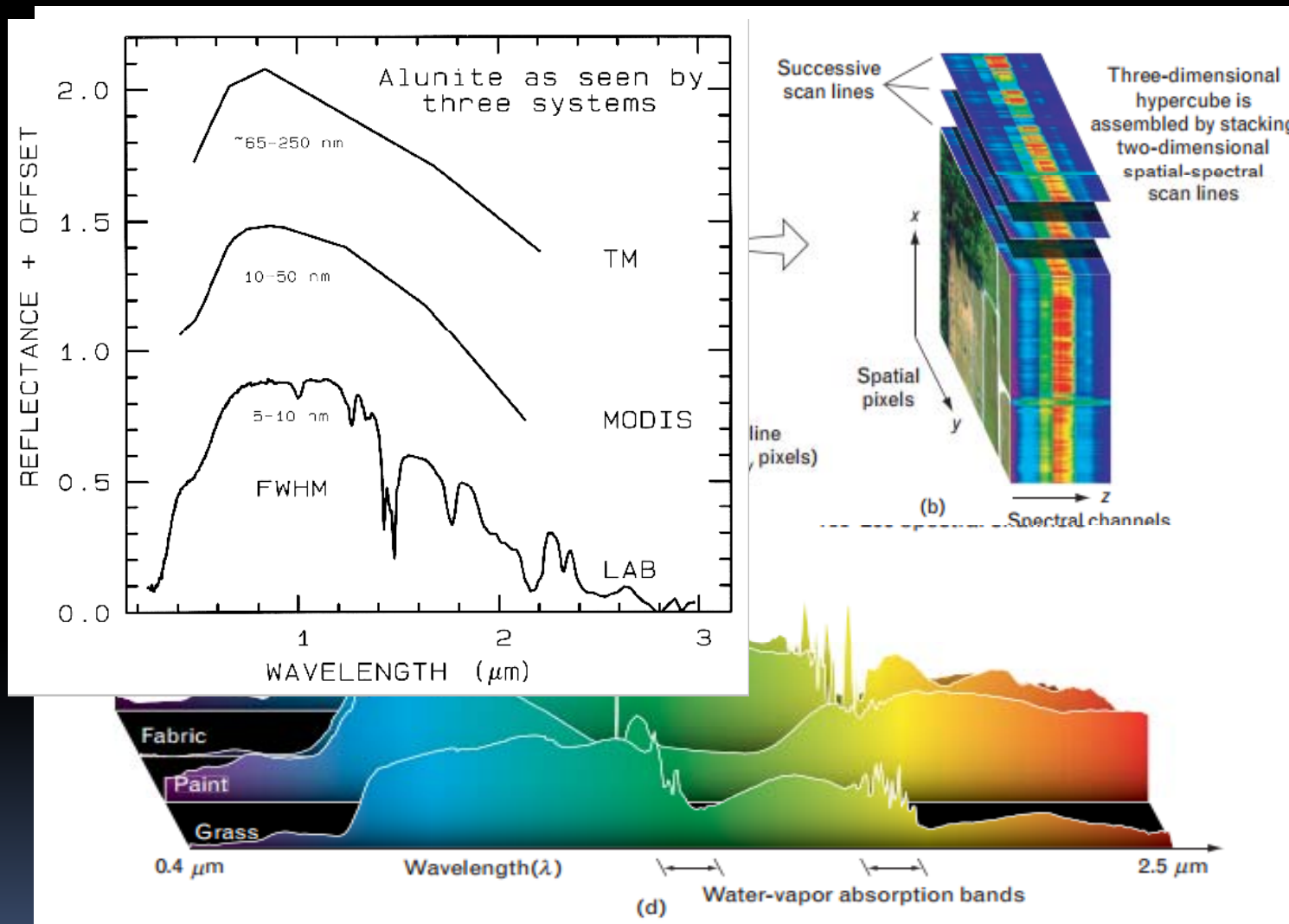
Shaw & Burke





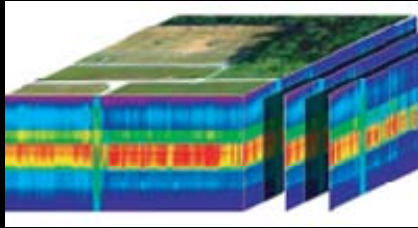
✓ Sensores hiperespectrales

D  
a  
t  
o  
s  
  
ó  
p  
t  
i  
c  
o  
s



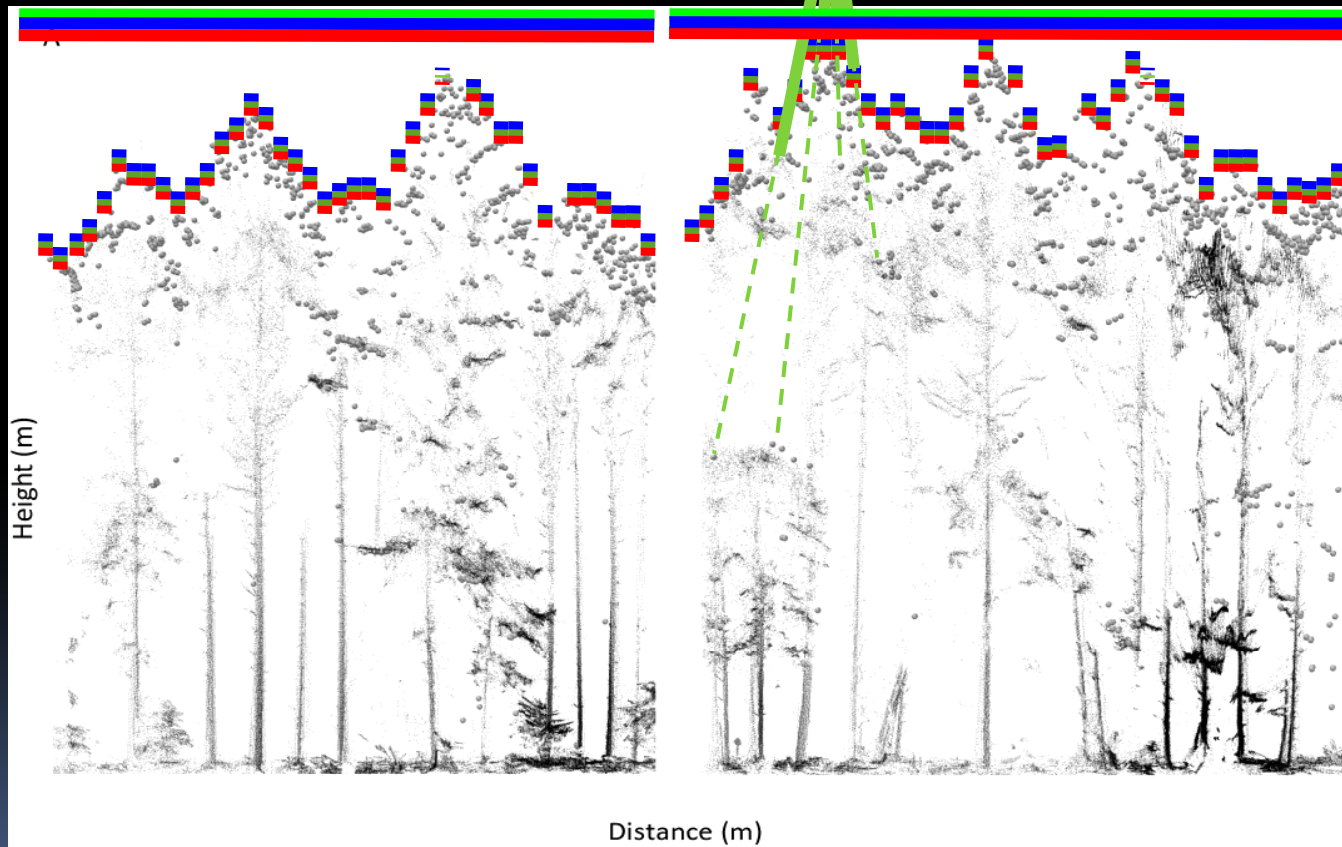
Shaw & Burke

✓ Información procedente de las partes altas del dosel



● LiDAR  
Multiespectral

*D  
a  
t  
o  
s  
ó  
p  
t  
i  
c  
o  
s*



## ✓ Ópticos vs LiDAR

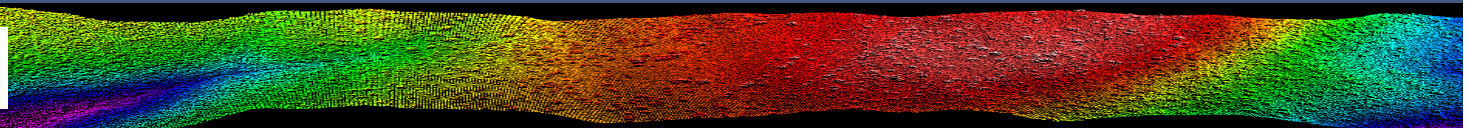
*D  
a  
t  
o  
s  
  
ó  
p  
t  
i  
c  
o  
s*

### **LiDAR**

- ✓ Información 3D
- ✓ Alta precisión
- ✓ Estimación directa de variables que no pueden estimarse con otros sensores
- ✓ Mayor precisión
- ✓ Penetración en el dosel
- ✓ Independiente condiciones de iluminación

### **Ópticos**

- ✓ Información en distintas regiones del espectro
- ✓ Menores costes
- ✓ Resolución temporal
- ✓ Cobertura continua (local-global)





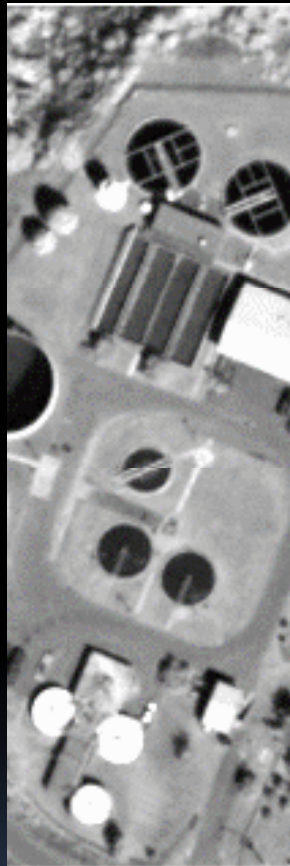
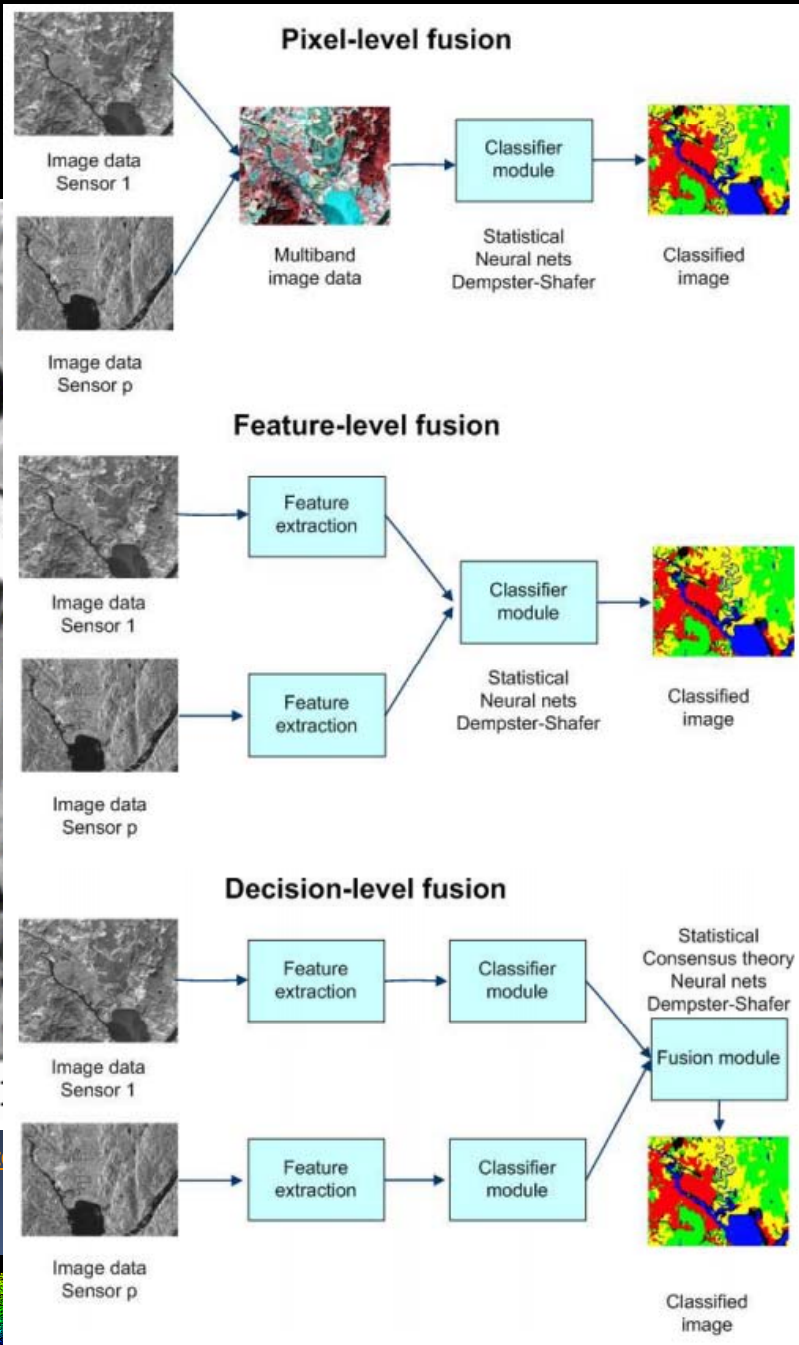


Image Source: © <http://www.geosage.com>

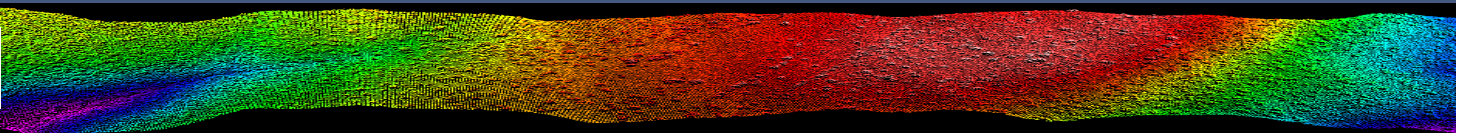
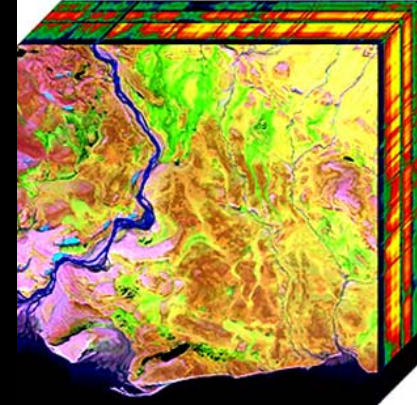
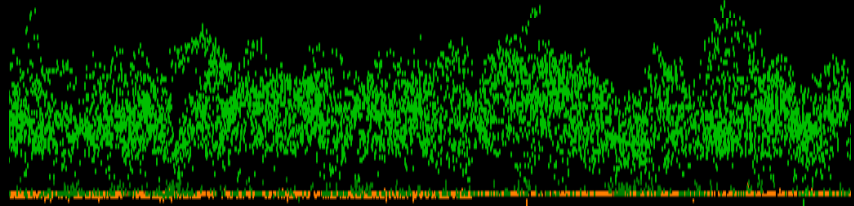


Solberg, 2006



F  
u  
s  
i  
ó  
n  
  
d  
a  
t  
o  
s  
  
L  
i  
D  
A  
R  
-  
ó  
p  
t  
i  
c  
o  
s

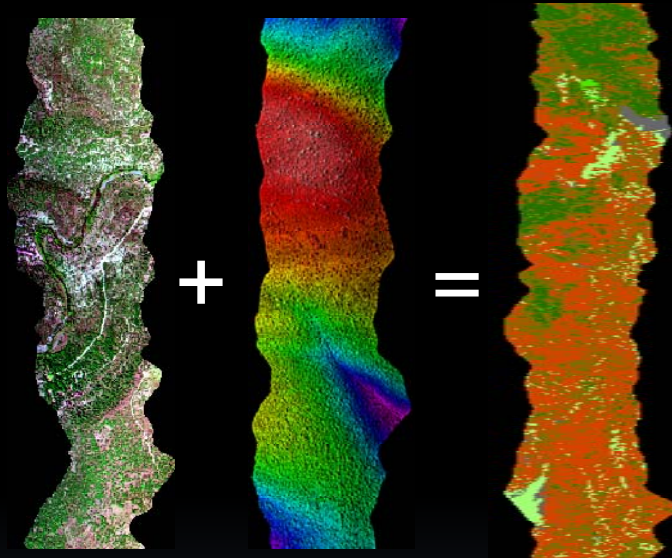
✓ Sinergia datos ópticos y LiDAR



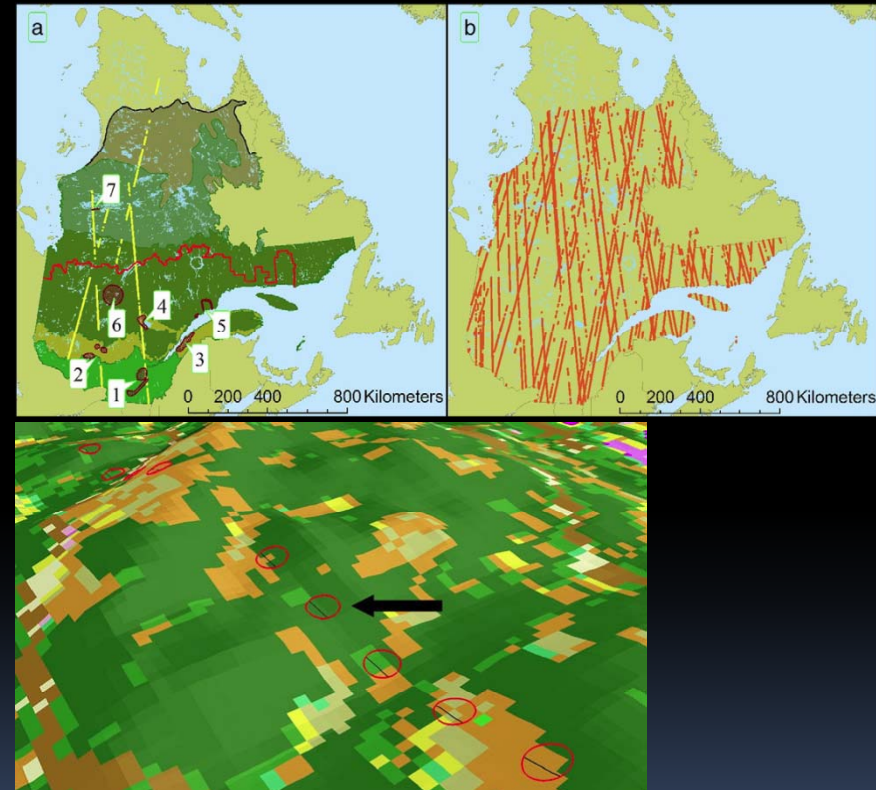


F  
u  
s  
i  
ó  
n  
  
d  
a  
t  
o  
s  
  
L  
i  
D  
A  
R  
-  
ó  
p  
t  
i  
c  
o  
s

Fusión óptico LiDAR(escala local)



Up-scaling ALS-ICESat/GLAS



Boudreau et al., 2008



## Ejemplos aplicación:

- ✓ Aplicaciones urbanas (Haala & Brenner, 1999)
- ✓ Delineación automática de líneas de ferrocarril (Berger et al., 2011)
- ✓ Cartografía litológica (Grebby et al., 2011)
- ✓ Cartografía de combustibles forestales (García et al., 2011)
- ✓ Estimación de altura de la vegetación a nivel global (Lefsky et al., 2010)
- ✓ Evaluación de morrenas glaciares (Hopkinson et al., 2010)
- ✓ Estimación de biomasa (Boudreau et al., 2008)

## Ejemplos aplicación:

- ✓ **CARTOGRAFIA COMBUSTIBLES. LiDAR+multiespectral**

Fire fundamentals triangle (*Pyne et al. (1996)*)



Fire environment triangle (*Countryman, 1972, in Pyne et al. 1996*)



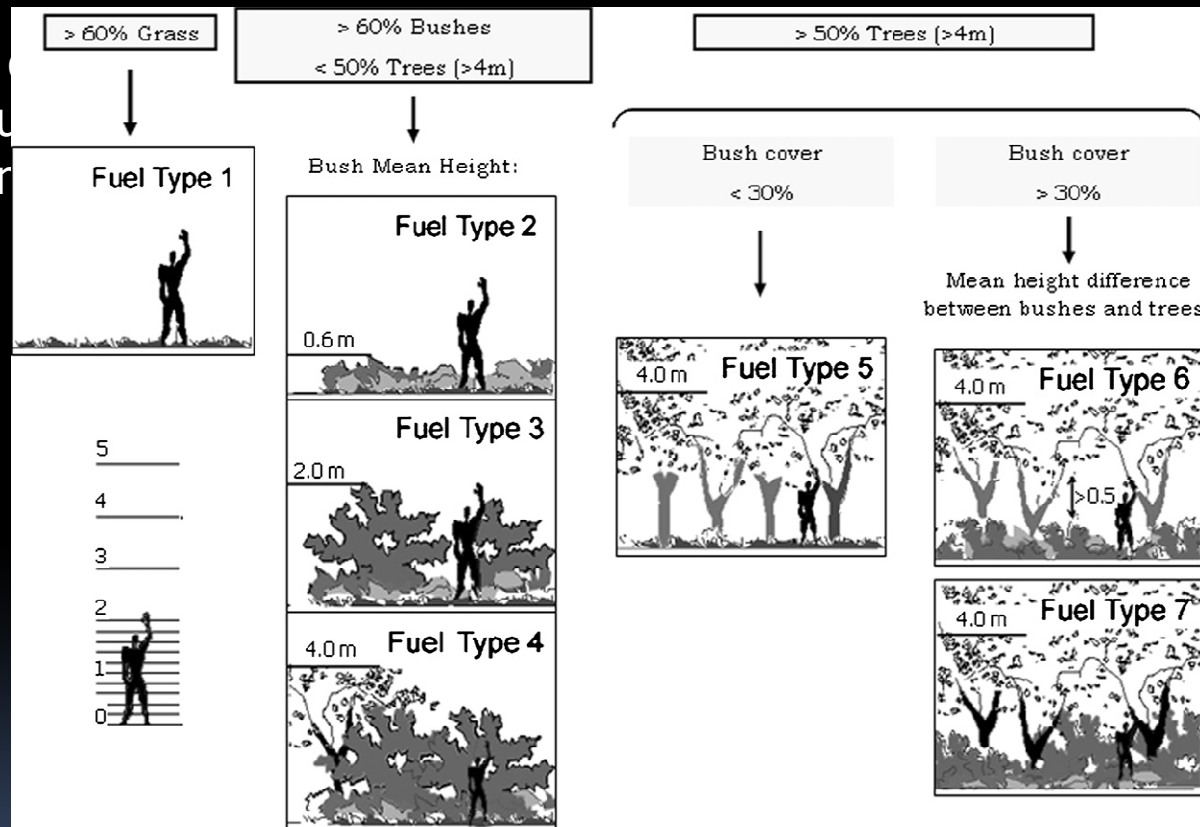
Gran influencia tanto en la ignición como en la propagación

## Ejemplos aplicación:

### ✓ CARTOGRAFIA COMBUSTIBLES. LiDAR+multiespectral

¿Qué son los combustibles?

Tipos  
de combu  
de cor



das de los  
características

PROMETHEUS fuel types (Arroyo et al., 2006).



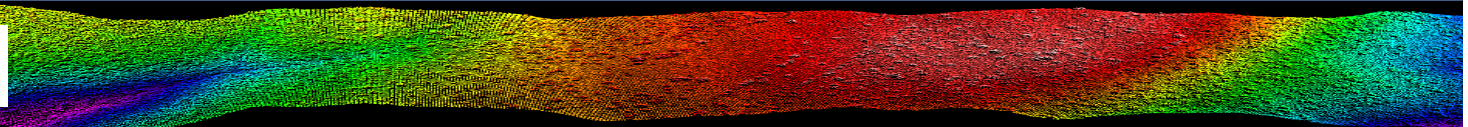
## Ejemplos aplicación:

### ✓ CARTOGRAFIA COMBUSTIBLES. LiDAR+multiespectral

¿Qué son los combustibles?

Limitaciones de los sensores ópticos (*Keane et al., 2006; Salas and Chuvienco, 1995*):

- Oclusión de los combustibles de superficie por el dosel.
- Distinción de combustibles que se diferencian únicamente por su altura
- Alta variabilidad de carga de combustible en espacio y tiempo lo que dificulta un cartografiado preciso.
- LiDAR : carga de combustible ☺ variabilidad temporal ¿?

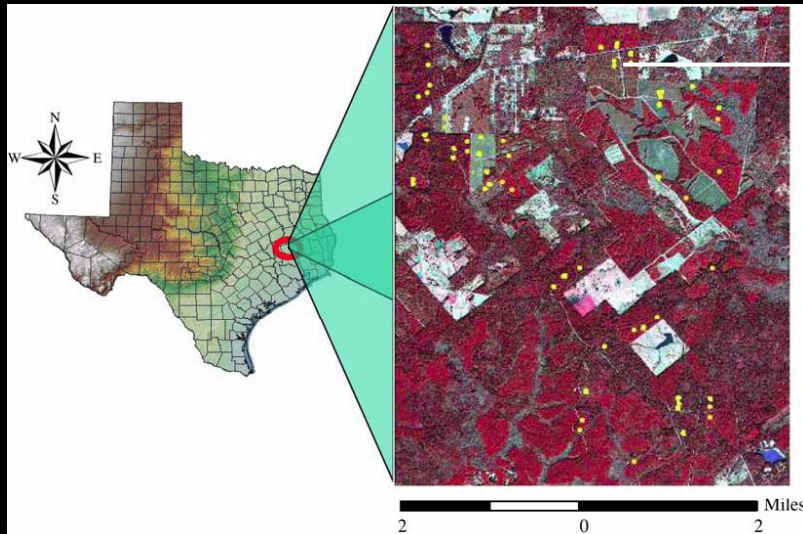


E  
j  
e  
m  
p  
l  
o  
s  
  
f  
u  
s  
i  
ó  
n  
  
L  
i  
D  
A  
R  
  
y  
  
ó  
p  
t  
i  
c  
o

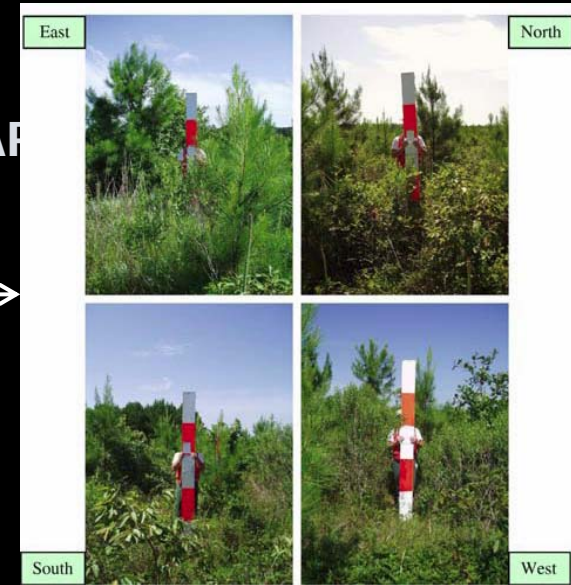
## Ejemplos aplicación:

✓ **CARTOGRAFIA COMBUSTIBLES. LiDAR**

Mutlu et al., 2007



Texas, USA

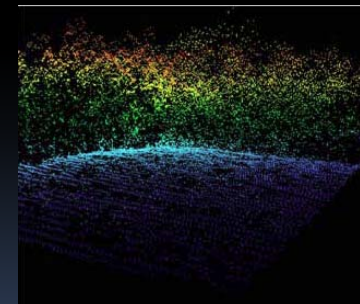


13 modelos Rothermel



Quickbird

+



LiDAR



# Ejemplos aplicación:

## ✓ CARTOGRAFIA COMBUSTIBLES. LiDAR

Mutlu et al., 2007

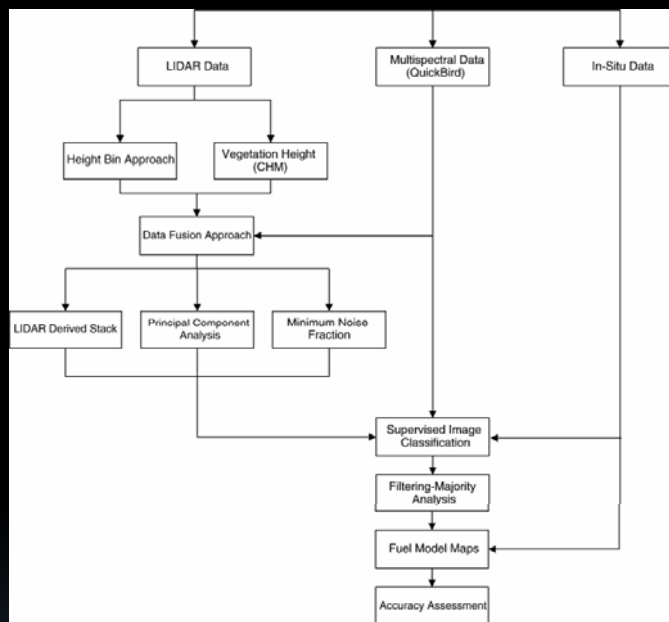
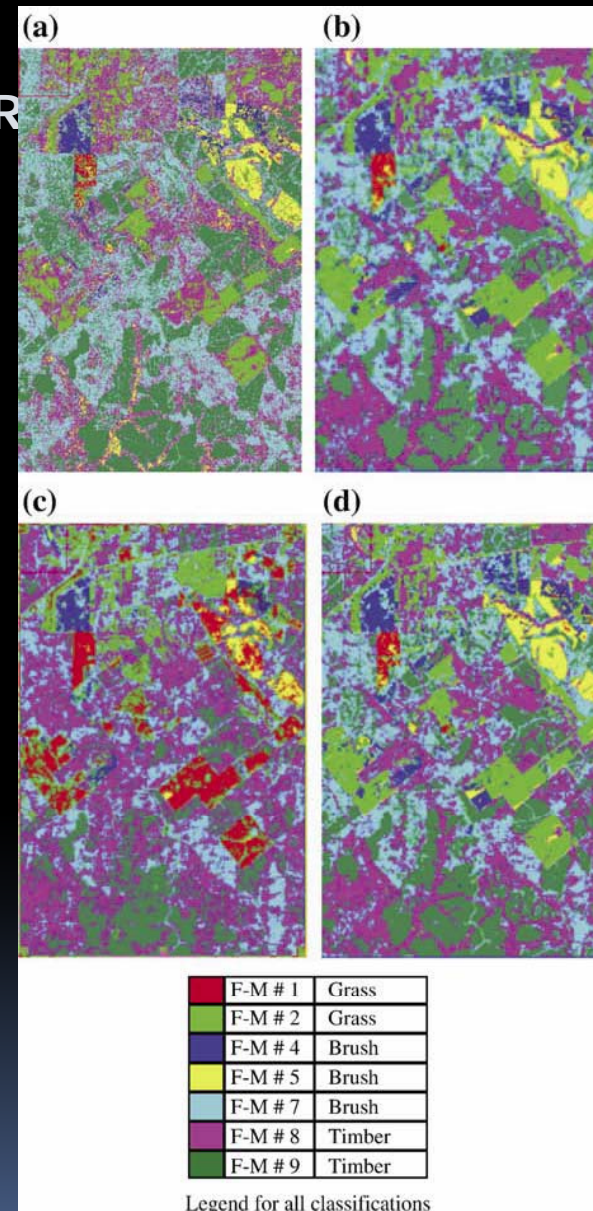


Table 4  
Comparison of results for all supervised image classification algorithms

	Overall accuracy (%)	Kappa coefficient
Multispectral QuickBird Image	76.52	0.68
Lidar-QuickBird Stack Image	87.17	0.83
PC stack image	61.46	0.52
MNF stack image	90.10	0.86



F-M # 1	Grass
F-M # 2	Grass
F-M # 4	Brush
F-M # 5	Brush
F-M # 7	Brush
F-M # 8	Timber
F-M # 9	Timber

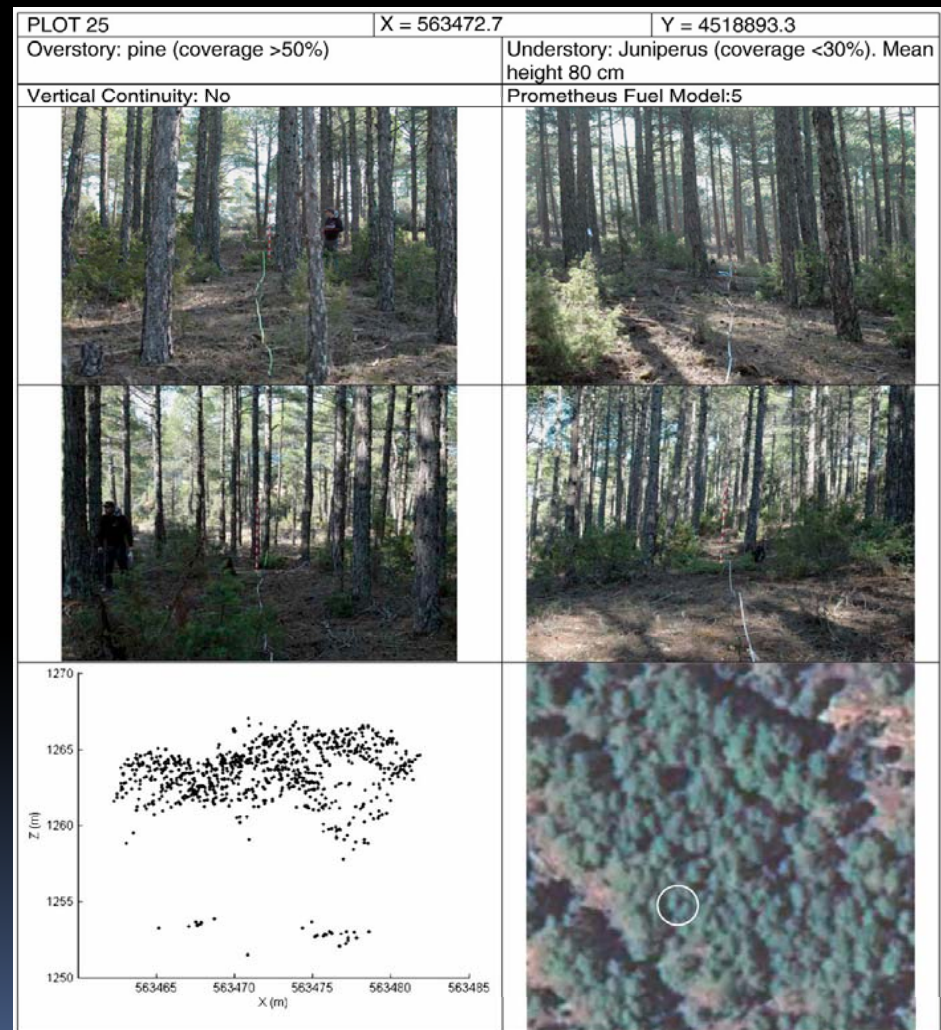
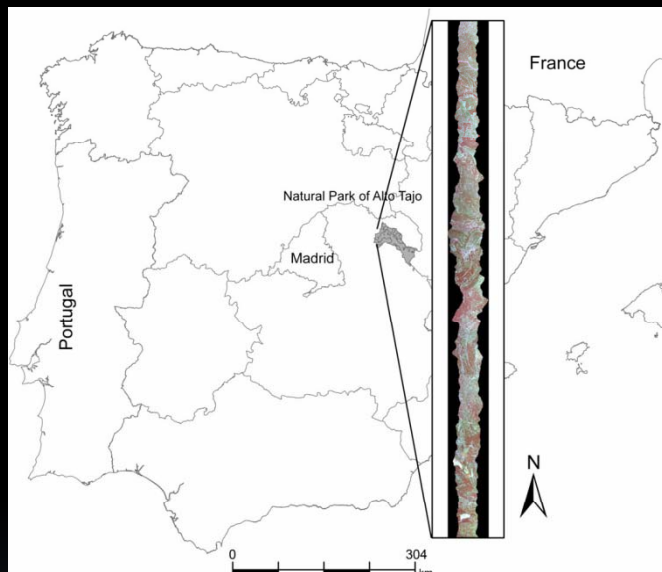
Legend for all classifications



## Ejemplos aplicación:

### ✓ CARTOGRAFIA COMBUSTIBLES. LiDAR+multiespectral

García et al., 2011



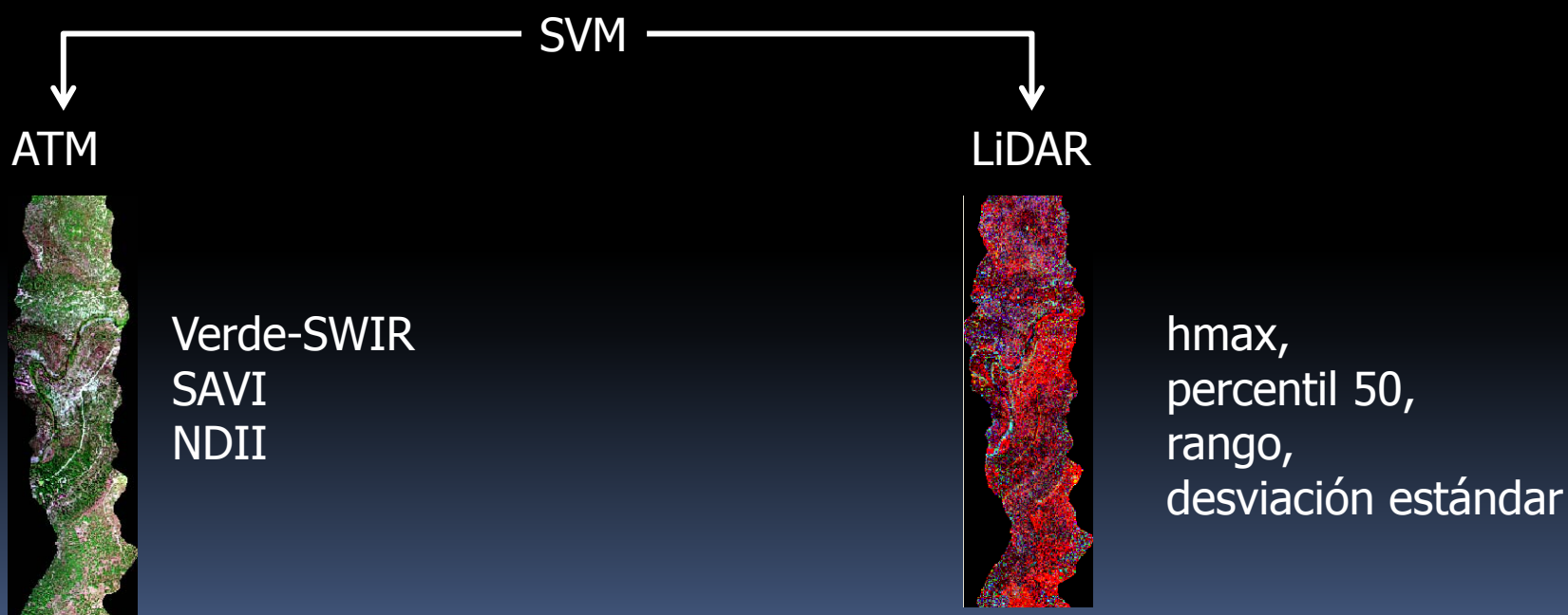
## Ejemplos aplicación:

### ✓ CARTOGRAFIA COMBUSTIBLES. LiDAR+multiespectral

García et al., 2011

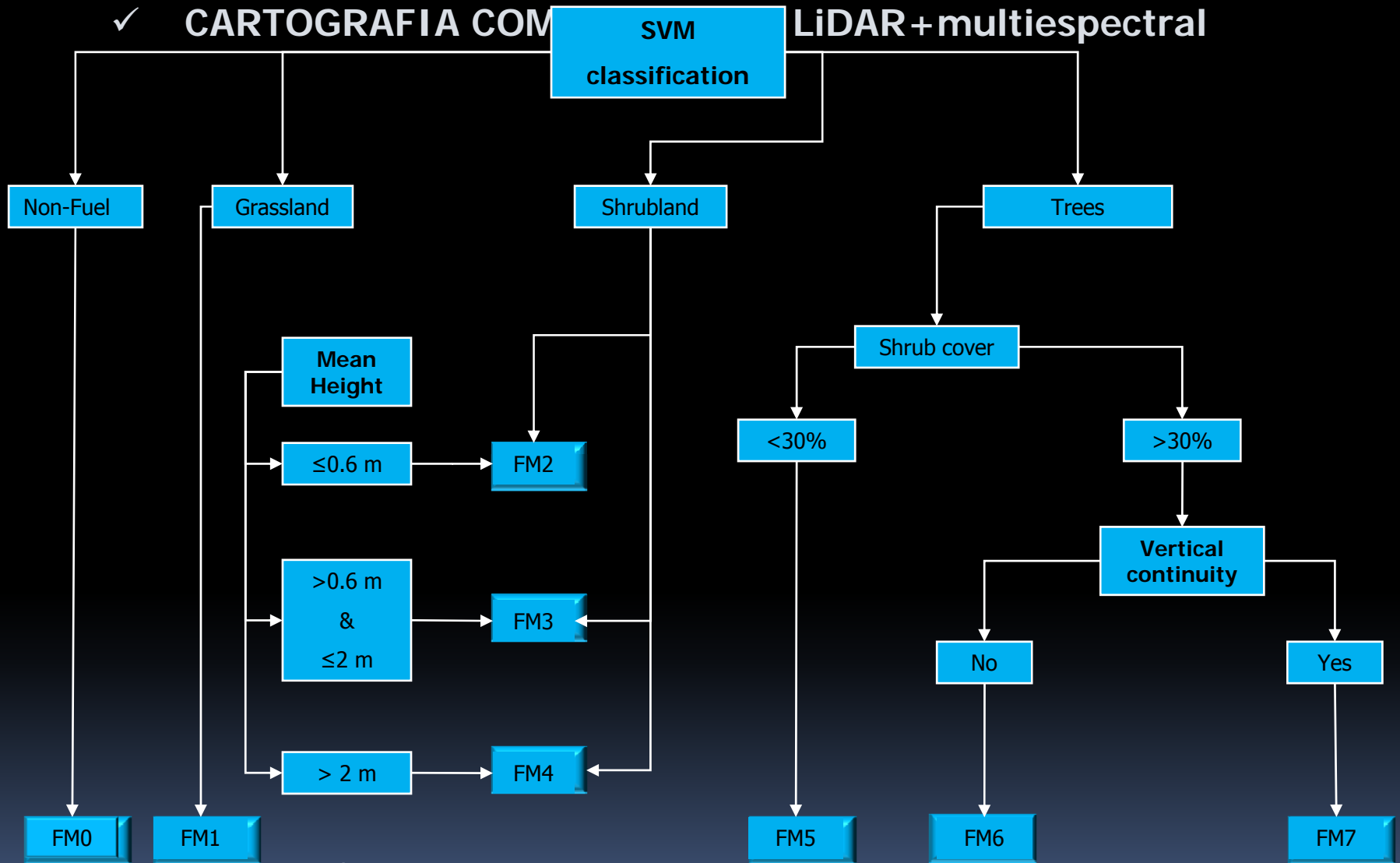
Dos fases

1.- Cartografía cobertura de suelo: no combustibles, pastos, matorrales y arbolado (pinar, encinar, chopera)



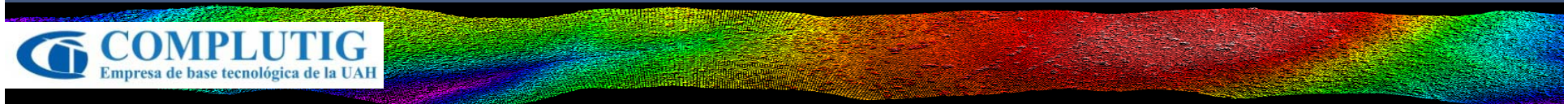
# Ejemplos aplicación:

## ✓ CARTOGRAFIA COM SVM LiDAR+multiespectral



García et al., 2011

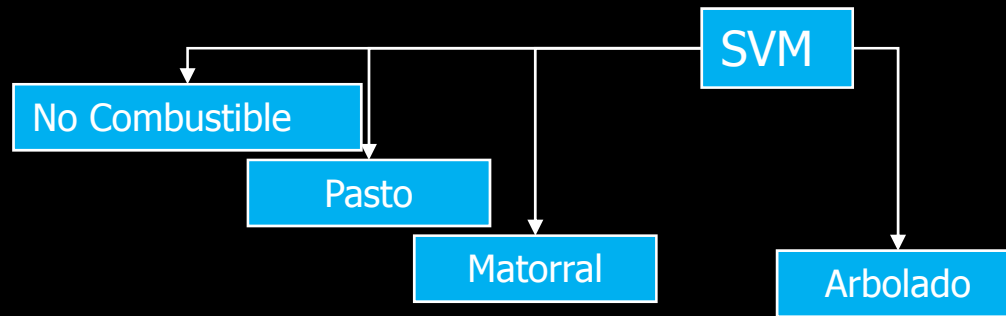
E  
j  
e  
m  
p  
l  
o  
s  
  
f  
u  
s  
i  
ó  
n  
  
L  
i  
D  
A  
R  
  
y  
  
ó  
p  
t  
i  
c  
o





## Ejemplos aplicación:

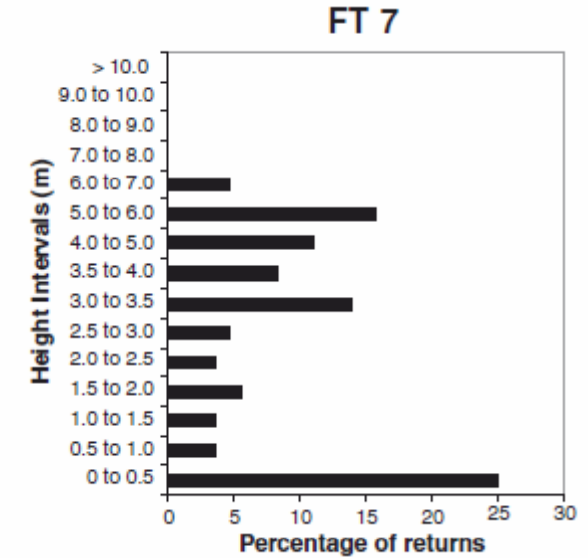
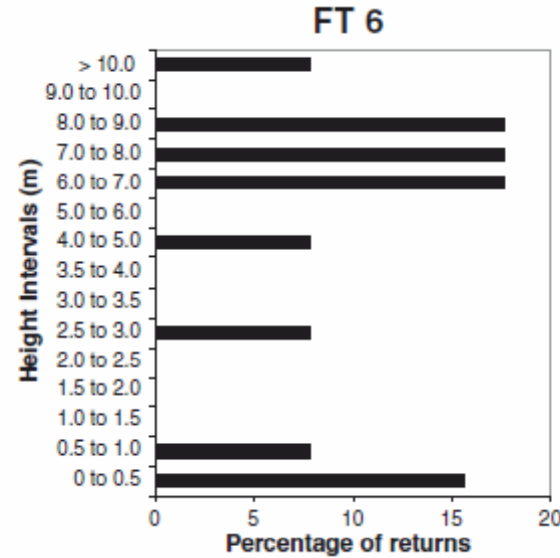
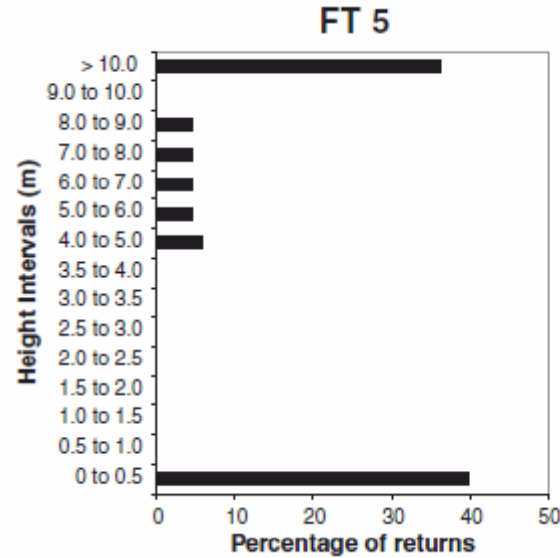
### ✓ CARTOGRAFIA COMBUSTIBLES. LiDAR+multiespectral



FM5: Sin sotobosque (0.5-1m vacío)

FM6: discontinuidad vertical (al menos dos bandas consecutivas sin retornos)

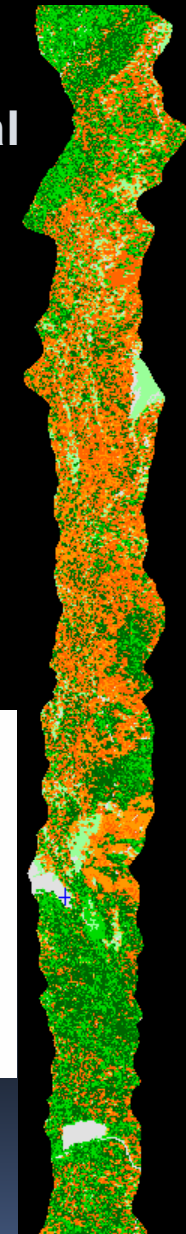
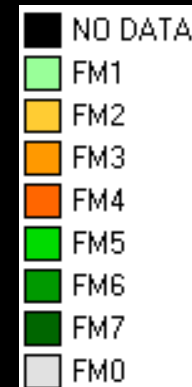
FM7: continuidad vertical



## Ejemplos aplicación:

### ✓ CARTOGRAFIA COMBUSTIBLES. LiDAR+multiespectral

Overall accuracy 88.24  
Kappa= 0.86

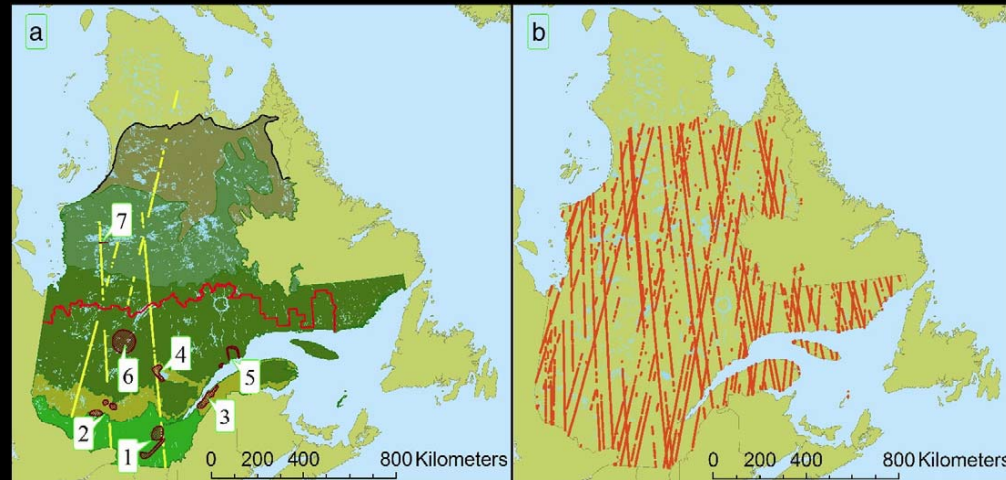


		Reference data							Total	User's accuracy (%)	Error of commission (%)
		FT 0	FT 1	FT 3	FT 4	FT 5	FT 6	FT 7			
Classified data	FT 0	10	0	0	0	0	0	0	10	100	0
	FT 1	1	12	0	0	0	0	0	13	92.31	7.69
	FT 3	0	0	9	0	0	0	0	9	100	0
	FT 4	0	0	0	10	0	0	0	10	100	0
	FT 5	2	0	0	0	15	1	4	22	66.67	33.33
	FT 6	0	0	0	0	0	8	0	8	100	0
	FT 7	0	1	1	1	0	1	27	31	87.1	12.9
	Total	13	13	10	11	15	10	31	103		
Producer's accuracy		76.92	92.31	90	90.91	100	80	87.1			
Error of omission (%)		23.08	7.69	10	9.09	0	20	12.9			

García et al., 2011

## Ejemplos aplicación:

### ✓ Up-scaling Biomasa. ALS ICESat-GLAS



Boudreau et al., 2008

Québec. Canadá

Área forestal 1.3 M km<sup>2</sup>

ALS, GLAS, mapa coberturas (Landsat), DEM-SRTM, Datos campo y mapas de vegetación

3 fases: terreno-ALS, ALS-GLAS y extrapolación GLAS



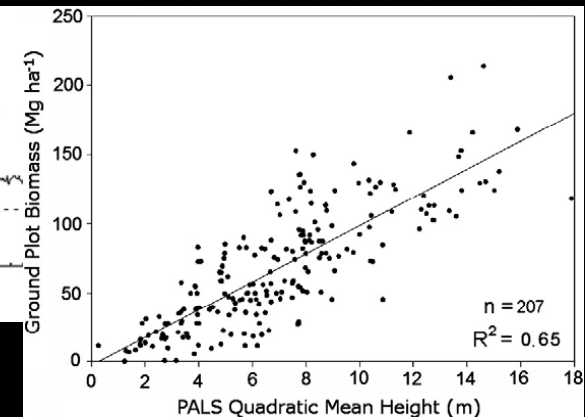
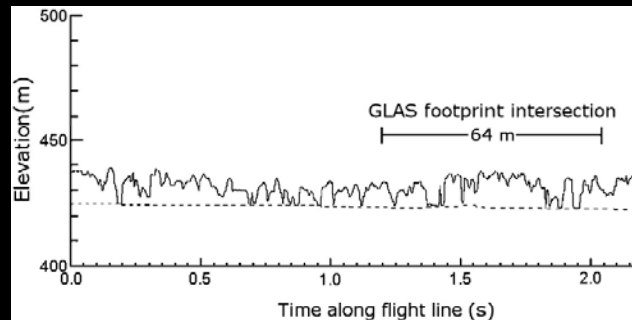
## Ejemplos aplicación:

E  
j  
e  
m  
p  
l  
o  
s  
  
f  
u  
s  
i  
ó  
n  
  
L  
i  
D  
A  
R  
  
y  
  
ó  
p  
t  
i  
c  
o

### ✓ Up-scaling Biomasa. ALS ICESat-GLAS

#### 1ª fase:

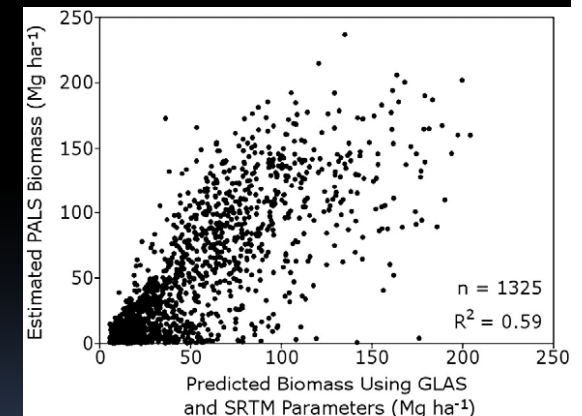
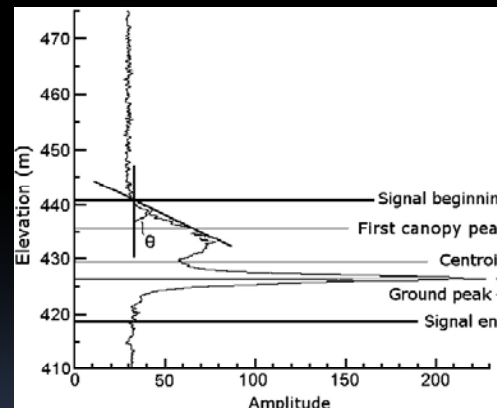
Selección de datos PALS que cruzan sobre parcelas de campo (homogéneas, perfil PALS próximo al centro parcela y sin cambios entre fechas).  
N=207



Modelos: genérico y estratificado

#### 2ª fase:

Selección huellas ICESat (homogéneas,  $h < 40$  m,  $wlength < 50$  m, saturación)



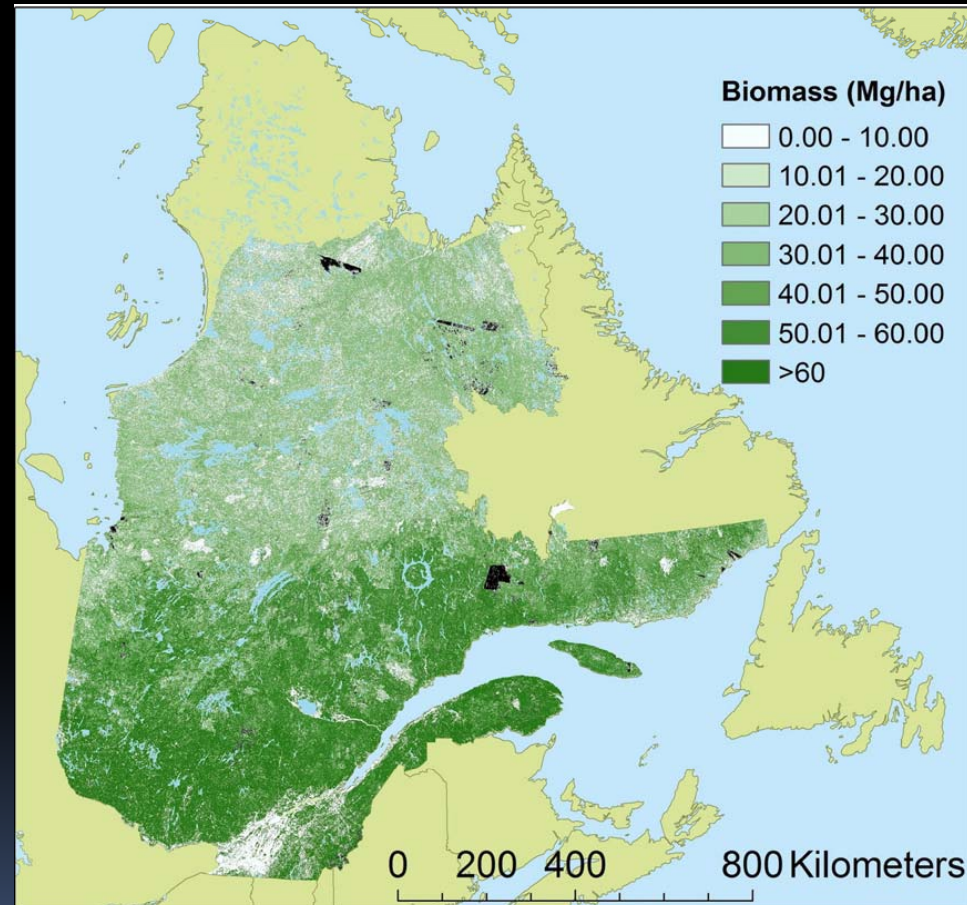
Modelos: genérico estratificado (datos insuficientes)

Boudreau et al., 2008

## Ejemplos aplicación:

### ✓ Up-scaling Biomasa. ALS ICESat-GLAS

Resultado



Boudreau et al., 2008

## Ejemplos aplicación:

### ✓ Mapa global de alturas ICESat-GLAS y MODIS

Lefsky 2010

1ª fase:

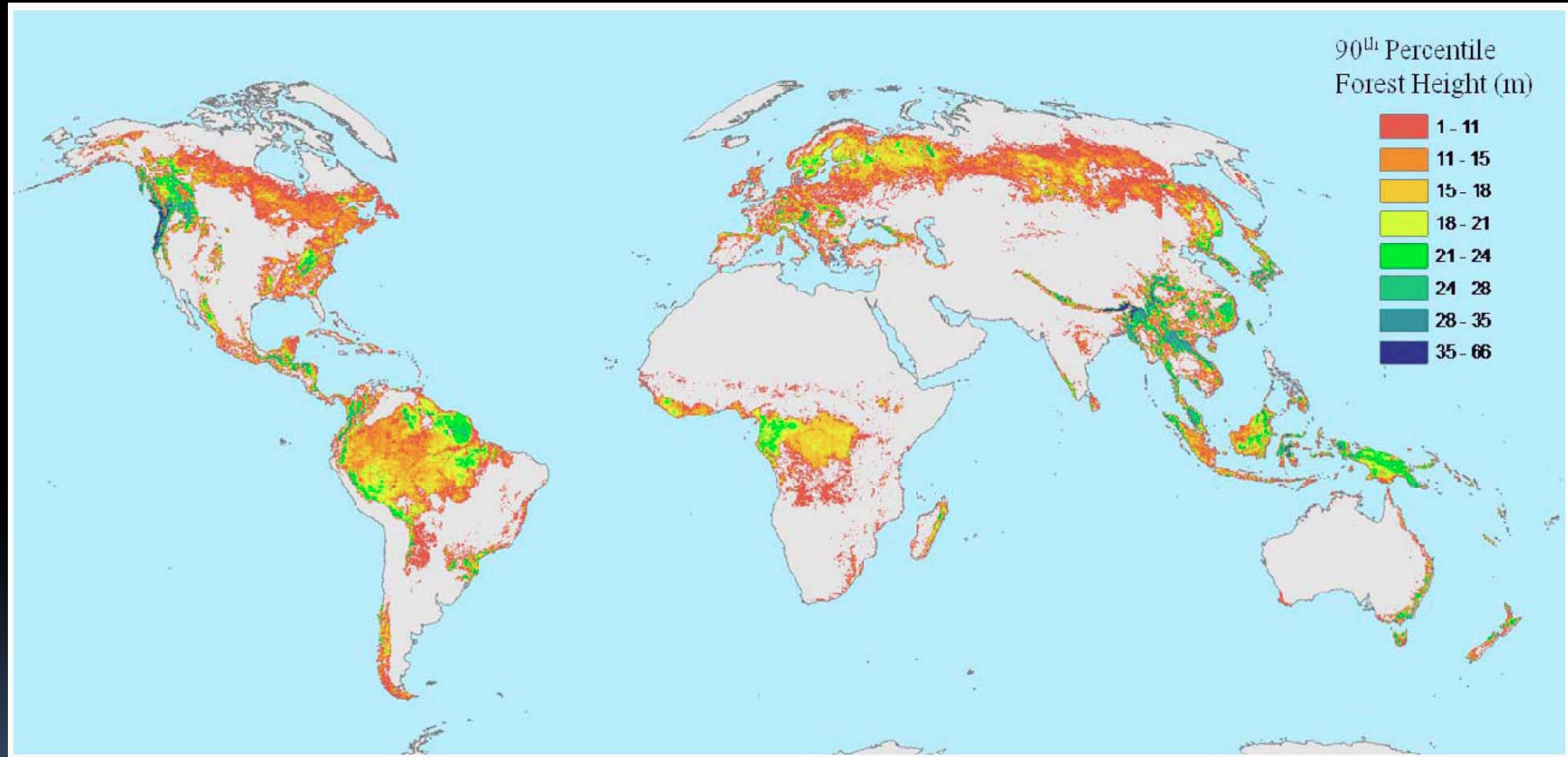
- ✓ Desarrollo de ecuaciones que relacionan GLAS con altura de la vegetación
  - ✓ 5 zonas con datos de campo
  - ✓ 2 zonas con datos ALS
- ✓ Desarrollo de modelos específicos
  - ✓ Coníferas:  $R^2=0.79$ ; RMSE=4.9 m
  - ✓ Caducifolias:  $R^2=0.83$ ; RMSE=3.3 m
  - ✓ Mixto:  $R^2=0.79$ ; RMSE=6.9 m
- ✓ Extrapolación para obtener un mapa global
  - ✓ Segmentación de imágenes MODIS
  - ✓ Datos GLAS dentro de un objeto: valor medio
  - ✓ No GLAS dentro de un objeto: modelo estadístico



## Ejemplos aplicación:

- ✓ Mapa global de alturas ICESat-GLAS y MODIS

Lefsky 2010



Thankyou  
Merci  
Gracias  
Dank  
e