



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CGAT

Utilización de nubes de puntos 3D para la cartografía de inventarios forestales

Pablo Crespo Peremarch
pabcrepe@cgf.upv.es

Grupo de Cartografía GeoAmbiental y
Teledetección, Universitat Politècnica de
València

X @CrespoPeremarch
@CGAT_UPV



Inventario Forestal Nacional

- La **importancia** de un Inventario Forestal Nacional
 - Datos cruciales para la planificación del uso del suelo y la gestión sostenible de los recursos forestales.
 - Toma de decisiones sobre conservación, explotación y restauración de bosques.
 - Catalogación de la diversidad de especies y estado de los ecosistemas forestales.
 - Identificación de áreas de alta biodiversidad que necesitan protección.
 - Información sobre los recursos maderables.
 - Cálculo biomasa y carbono almacenado en los bosques.



Inventario Forestal Nacional

- **Desventajas** Inventario Forestal Nacional
 - Coste elevado.
 - La toma de datos de los inventarios forestales puede durar años.
 - Variabilidad en la calidad y precisión de los datos recolectados.
 - Dependencia experiencia del personal de campo.



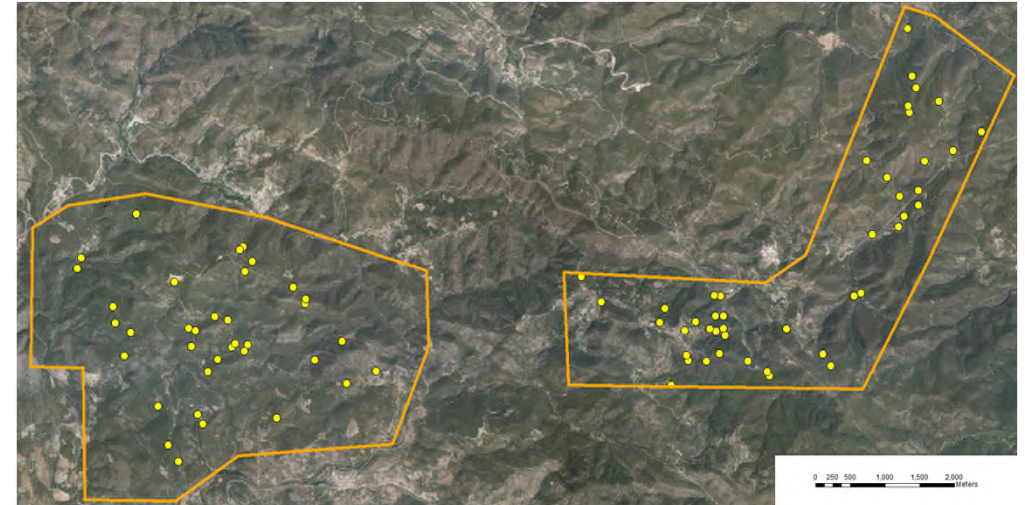
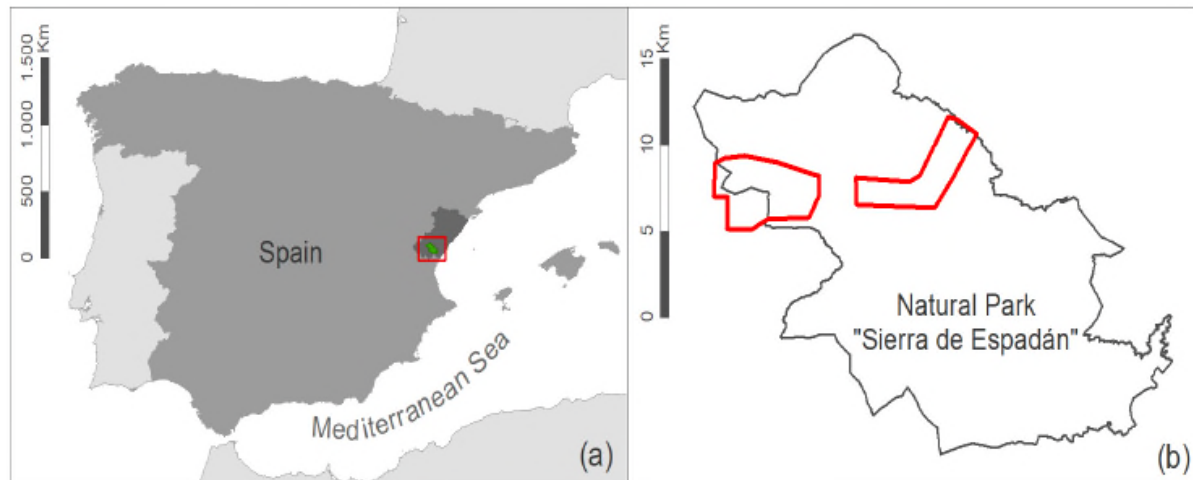
Inventario Forestal Nacional

- **Uso técnicas de teledetección** en el Inventario Forestal Nacional
 - En algunos casos, menor necesidad de desplazamiento.
 - Disminución de los trabajos de campo intensivos.
 - Reducción de coste de personal, de tiempo de trabajo y, en algunos casos, del material.
 - Obtención de datos en grandes áreas.
 - Actualización más frecuente de los datos.
 - En algunos casos, no es necesario el acceso a regiones difícilmente accesibles.
 - Datos con gran nivel de detalle y elevada precisión.



Sierra de Espadán, Castellón

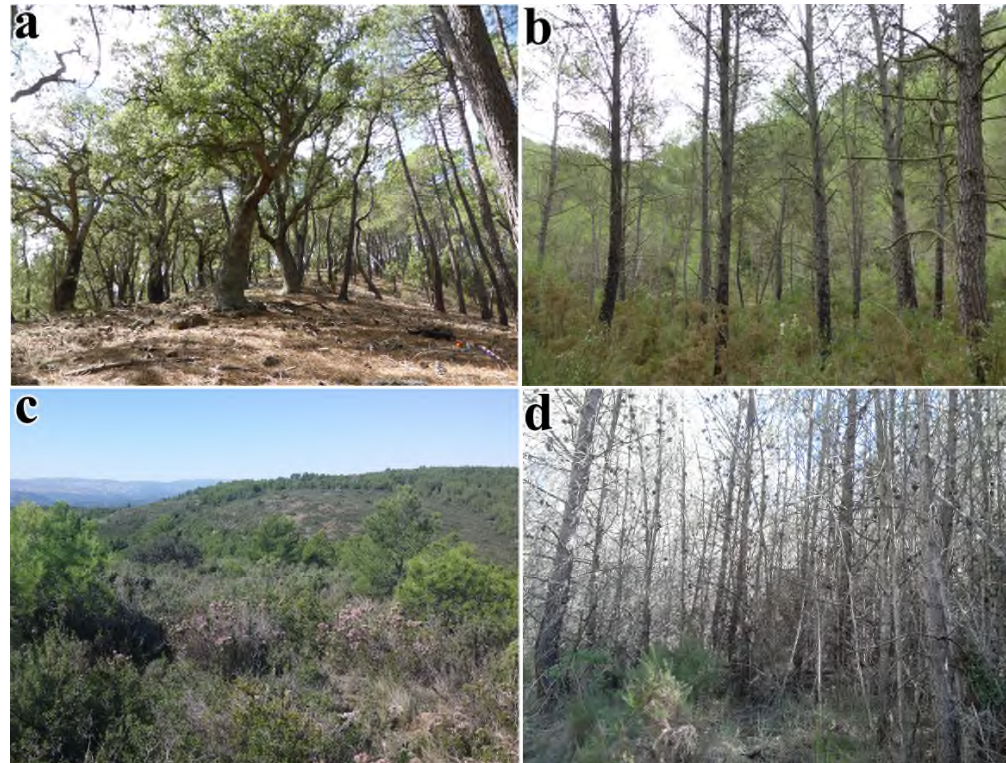
- Septiembre 2015:
 - 80 parcelas de 15 metros de radio.
 - Medidas estándar (especies, DBH, altura de los árboles y de la base de las copas).
- Junio 2022:
 - Se repitieron las mismas medidas en 27 parcelas.
 - Mediciones de la posición, altura, altura de la base, y tamaño de copa de los arbustos (5 m. radio).





Sierra de Espadán, Castellón

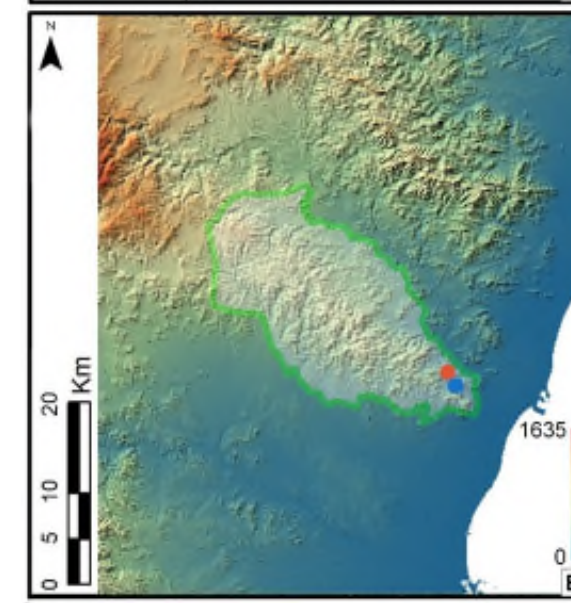
- Las especies dominantes son *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, y *Quercus suber*.
- En las especies arbustivas encontramos *Quercus coccifera*, *Erica arborea*, *Erica multiflora*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alaternus*, *Juniperus phoenicea*, *Genista scorpius*, *Rosmarinus officinalis*, entre otras.





Sierra Calderona, Valencia/Castellón

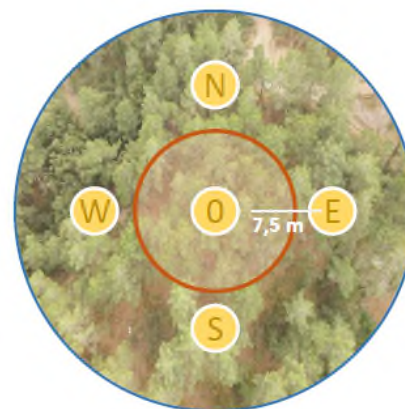
- Junio 2022:
 - 27 parcelas de 15 metros de radio donde se tomaron las mismas medidas.
 - Mediciones de la posición, altura, altura de la base, y tamaño de copa de los arbustos (5 m. radio).
- Especie dominante *Pinus halepensis*. Especies arbustivas: *Cistus albidus*, *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus*, *Juniperus oxycedrus*, etc.





Terrestrial Laser Scanning (TLS)

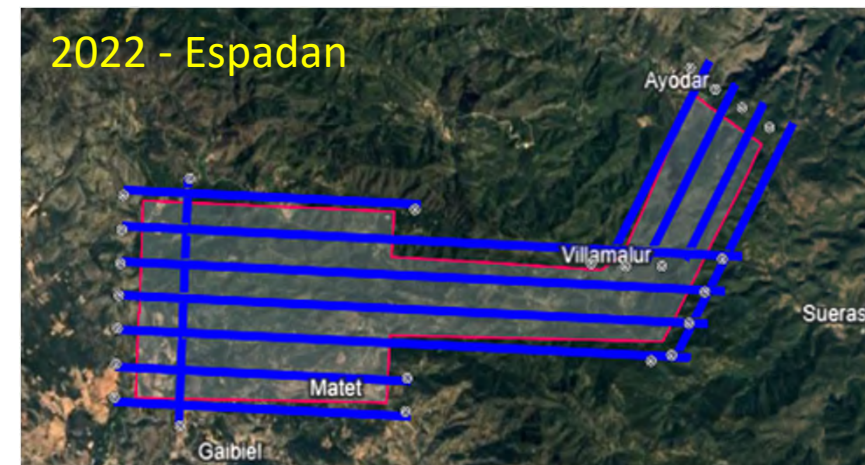
- En 2022, se registraron las 54 parcelas de Espadán (27) y Calderona (27) con un TLS.
 - FARO Focus 3D 120 en 2015.
 - Trimble TX8 en 2022.
- Estrategia de escaneo:
 - 1 escaneo desde el centro de la parcela.
 - 4 escaneos a 7,5 metros en cada uno de los puntos cardinales.
 - Corregistro: al menos 5 esferas blancas sean visibles desde cada escaneo.





Airborne Laser Scanning (ALS)

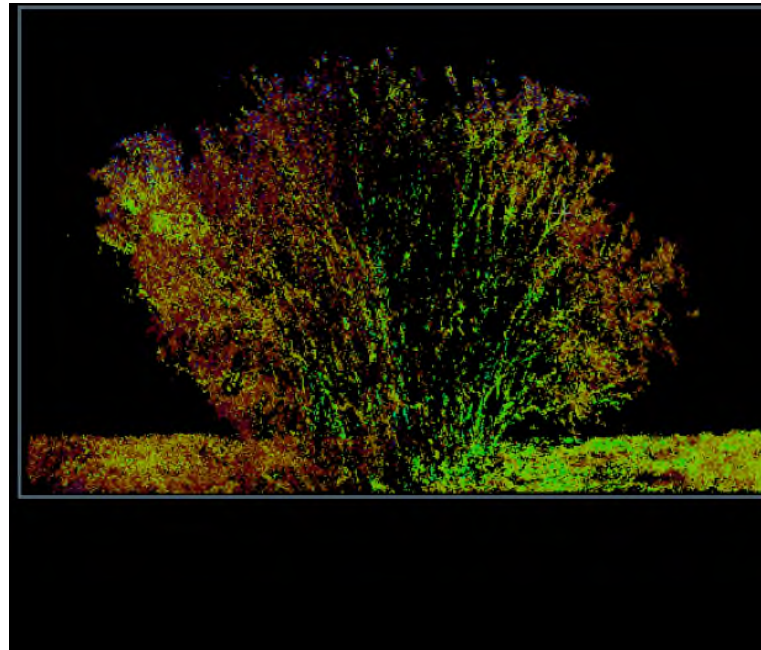
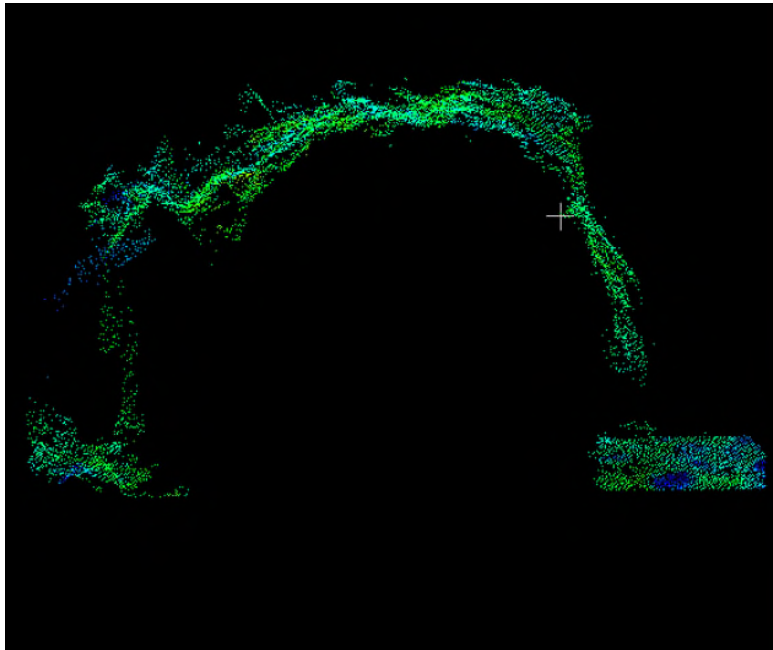
- En 2022, se volaron las dos zonas de estudio (Calderona y Espadán) para la adquisición de datos ALS discreto y *full-waveform* (~60,3 km²).
- Sensor: Riegl VQ780IIS-C – H2223888.
- Altura media vuelo: 1.750 m.
- Frecuencia adquisición: 1.100 kHz.
- Densidad de puntos: 10 pts·m⁻².





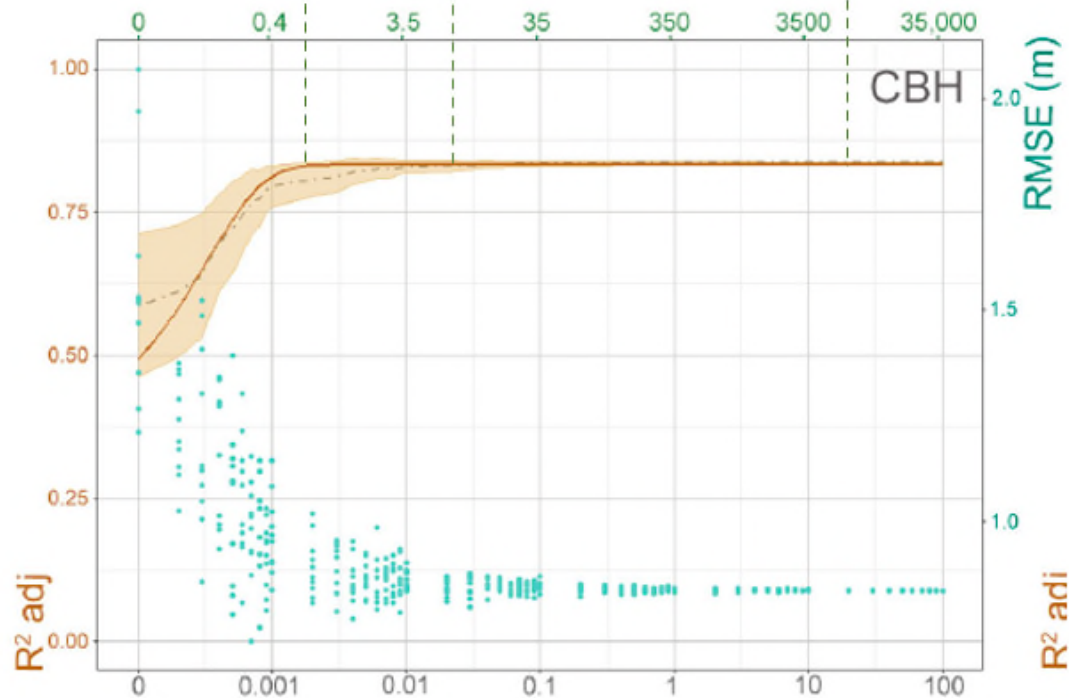
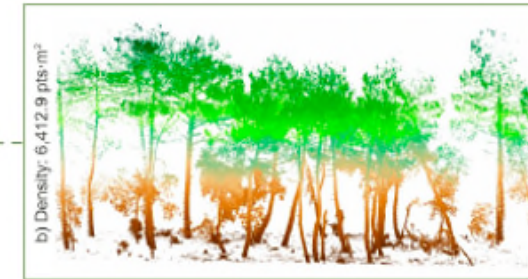
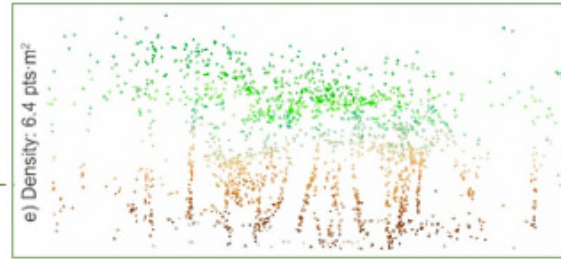
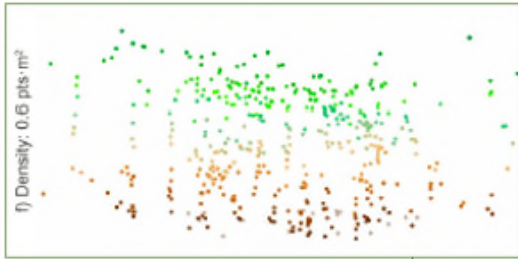
UAV-DAP (Unmanned Aerial Vehicle – Digital Aerial Photogrammetry)

- En 2022, se volaron las 27 parcelas de la zona de estudio de la Sierra Calderona.
- Dron: DJI Inspire 2.
- Cámara: Micasense RedEdge MS Camera (Visible y NIR).





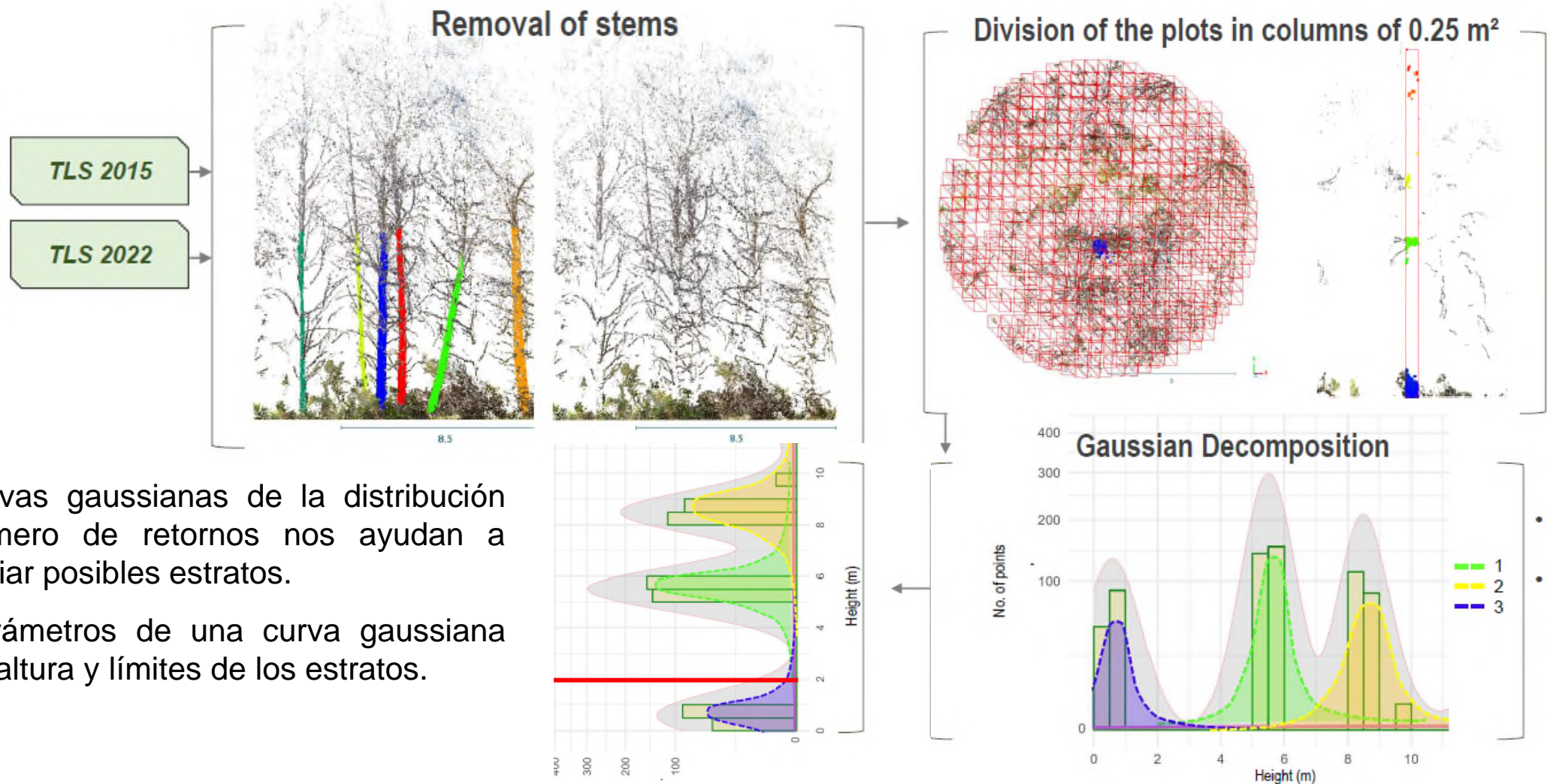
Estudios TLS



- Variación de la densidad de puntos del TLS y su efecto en la estimación de variables de estructura.
 - No es necesario el uso de nubes de puntos TLS muy densas para estimar algunas variables de estructura y combustibilidad.
 - Estos resultados son relevantes, sobre todo, pensando en el uso de Mobile Laser Scanning (MLS) de bajo coste.



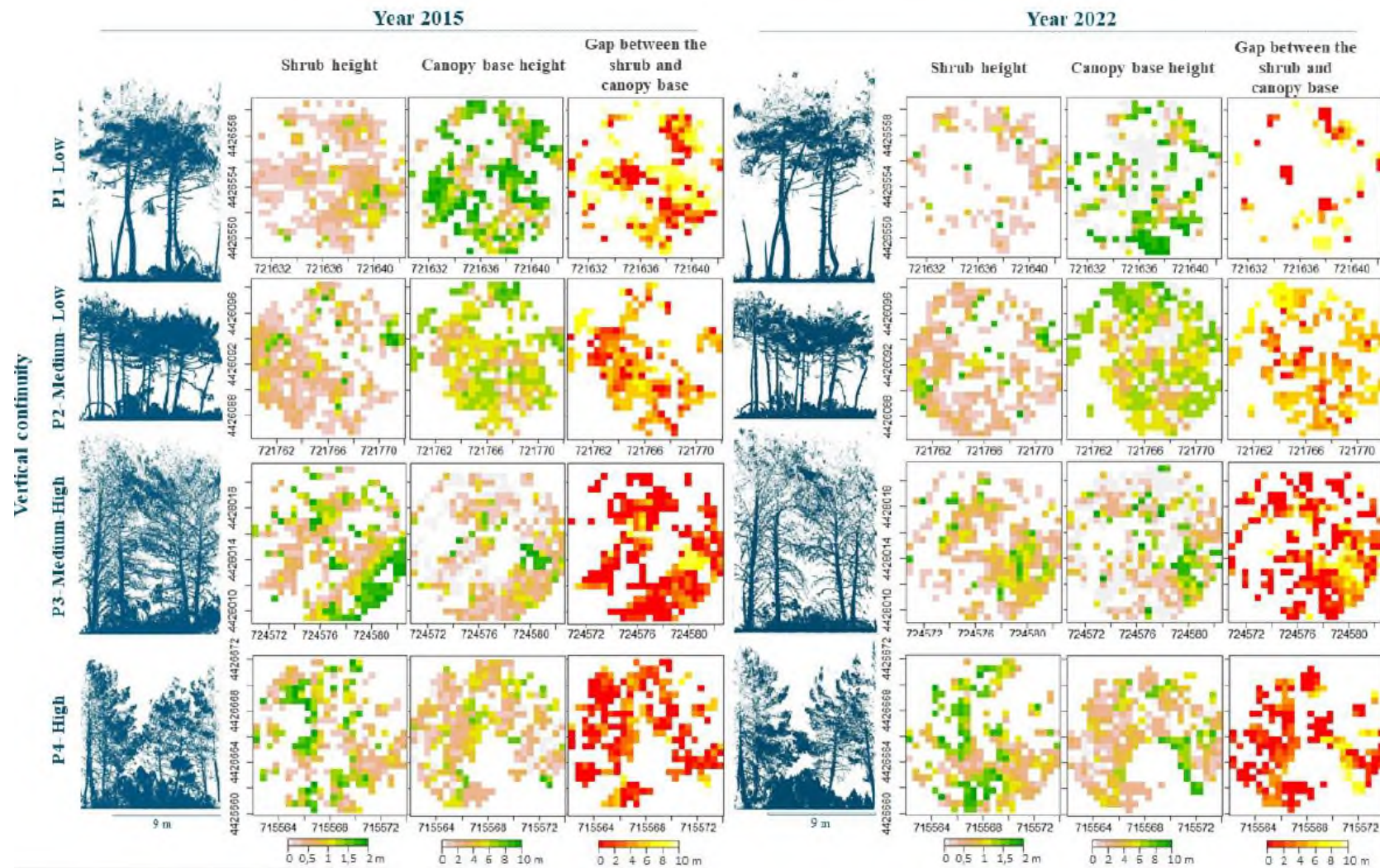
Estudios TLS



- Las curvas gaussianas de la distribución del número de retornos nos ayudan a diferenciar posibles estratos.
- Los parámetros de una curva gaussiana indican altura y límites de los estratos.



Estudios TLS





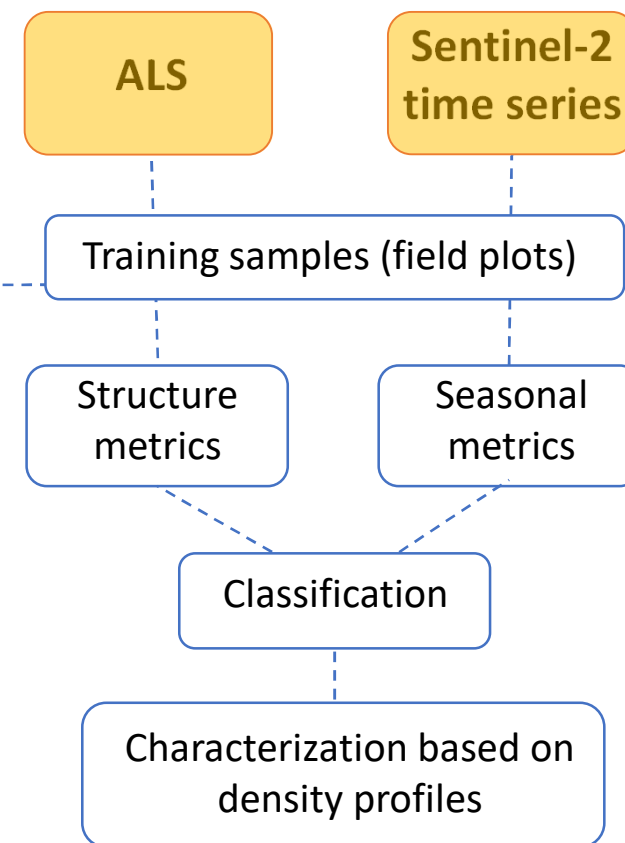
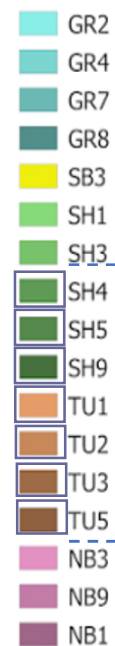
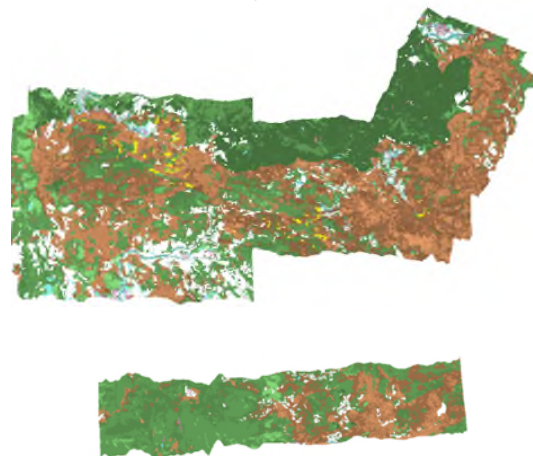
Estudios ALS

Caracterización Modelos de Combustible

Mapas modelos de combustible (ICV)



Modelos de combustible Espadán y Calderona

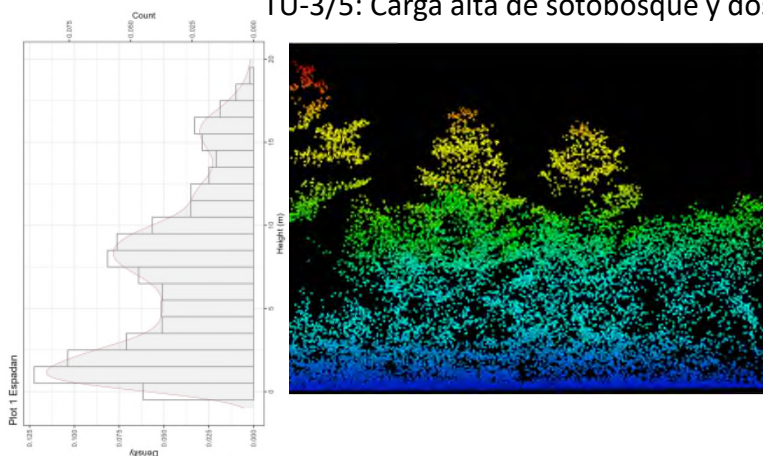




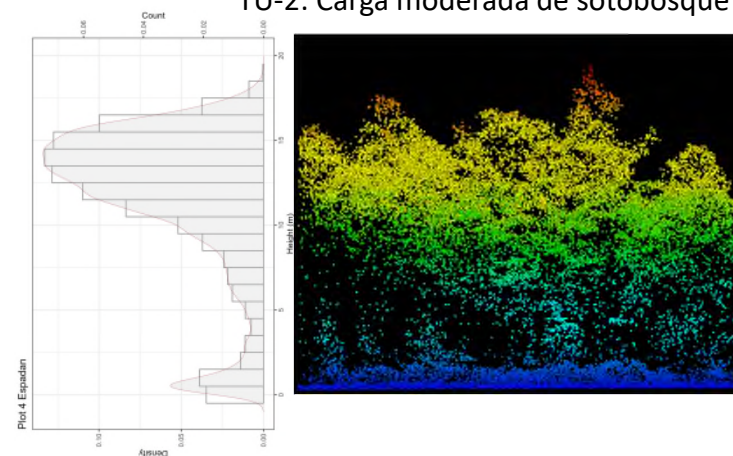
Estudios ALS

Caracterización Modelos de Combustible

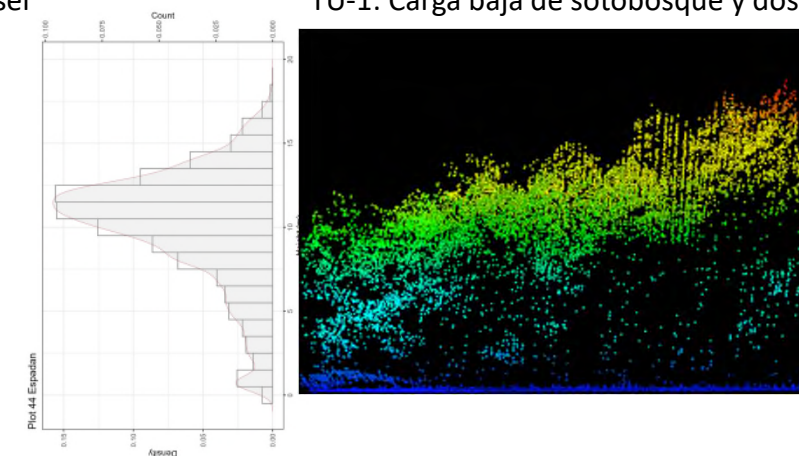
TU-3/5: Carga alta de sotobosque y dosel



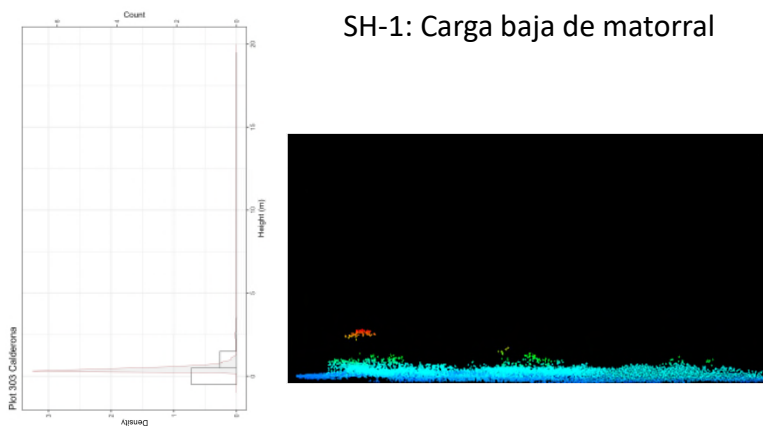
TU-2: Carga moderada de sotobosque y dosel



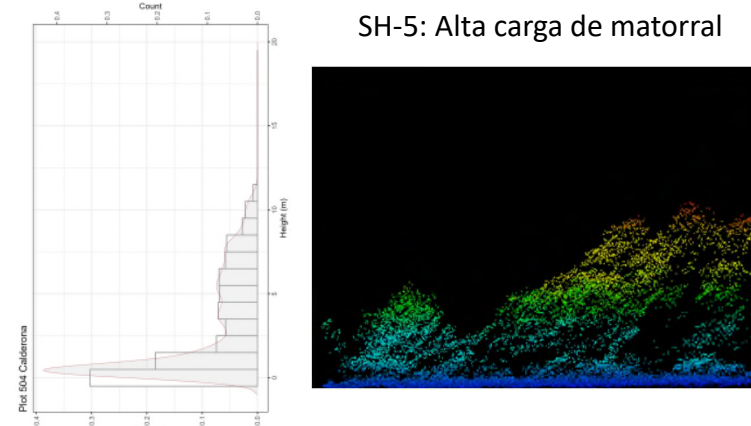
TU-1: Carga baja de sotobosque y dosel



SH-1: Carga baja de matorral

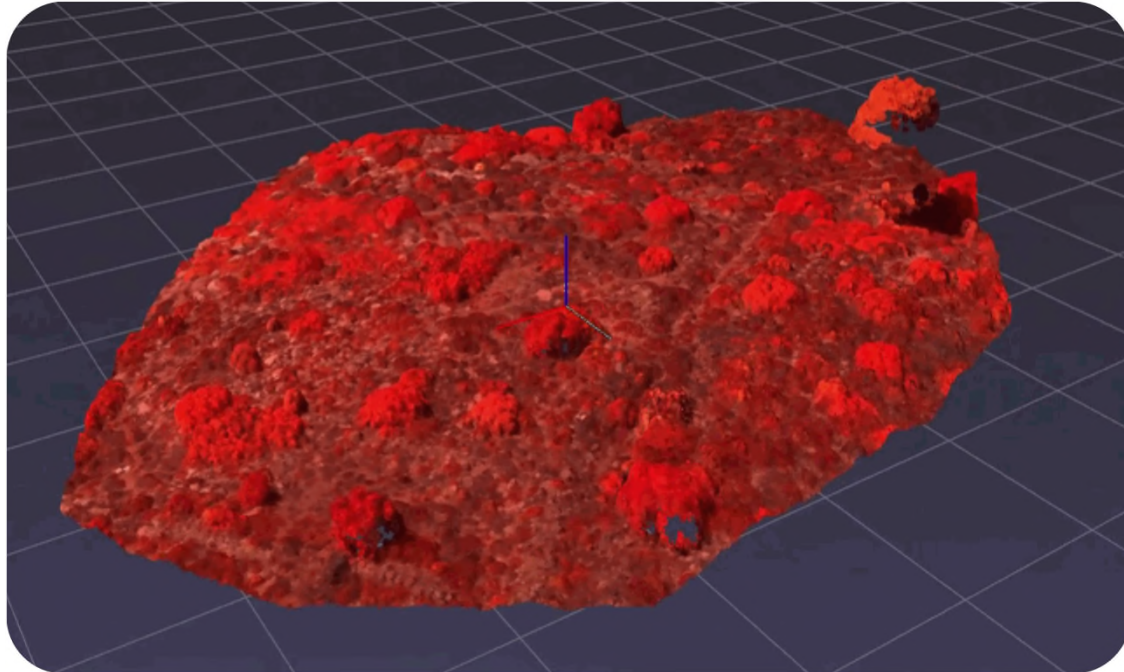


SH-5: Alta carga de matorral





Estudios UAV-DAP



- ¿Qué puede aportar a las aplicaciones forestales una nube de puntos 3D obtenida mediante UAV-DAP?
 - Segmentación de individuos.
 - Clasificación de especies.
 - Mediciones directas de variables (altura, diámetro de copa, etc.)
 - Aplicación de ecuaciones alométricas.



Estudios UAV-DAP

Feature type	Classification	Name	Description
Spectral	RGB and MS	Blue	Blue value of the point
Spectral	RGB and MS	Green	Green value of the point
Spectral	RGB and MS	Red	Red value of the point
Spectral	MS	RedEdge	RedEdge value of the point
Spectral	MS	NIR	NIR value of the point
Spectral	MS	ARVI	Atmospherically Resistant Vegetation Index
Spectral	RGB and MS	BH	Brightness
Spectral	RGB	CVI	Colour Index of Vegetation
Spectral	MS	DVI	Differential Vegetation Index
Spectral	MS	EVI	Enhanced Vegetation Index
Spectral	RGB	GLI	Green Leaf Index
Spectral	MS	GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index
Spectral	RGB and MS	GR	Green divided by red
Spectral	MS	IPVI	Infrared Percentage Vegetation Index
Spectral	RGB	MGRVI	Modified Green-Red Vegetation Index
Spectral	MS	MSAVI	Modified Soil-Adjusted Vegetation Index
Spectral	MS	MSR	Modified Simple Ratio Index
Spectral	RGB and MS	NERDF	Normalized Blue-Red Difference Index
Spectral	MS	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
Spectral	RGB and MS	NOBBI	Normalized Green-Blue Difference Index
Spectral	RGB and MS	NGRDI	Normalized Green-Red Difference Index
Spectral	RGB	Normalized Greenness	Normalized Greenness
Spectral	MS	OSAVI	Optimized Soil Adjusted Vegetation Index
Spectral	MS	RDVI	Resonance Difference Vegetation Index
Spectral	RGB and MS	RORI	Red Green Ratio Index
Spectral	MS	RVI	Ratio Vegetation Index
Spectral	RGB	SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
Spectral	MS	SARVI	Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index
Spectral	MS	SR	Simple Ratio Vegetation Index
Spectral	MS	SR-NDVI	Simple Ratio + Normalized Difference Vegetation Index
Spectral	RGB	VARI	Visible Atmospheric Resistance Index
Spectral	RGB	VDVI	Visible Normalized Difference Vegetation Index
Neighbourhood spectral	MS	NDVI_mean	Mean NDVI of the point and its Neighbouring points
Neighbourhood spectral	MS	NDVI_std	Standard deviation NDVI of the point and its Neighbouring points
Neighbourhood spectral	RGB	NGRDI_mean	Mean NGRDI of the point and its Neighbouring points
Neighbourhood spectral	RGB	NGRDI_std	Standard deviation NGRDI of the point and its Neighbouring points
Geometrical	RGB and MS	X	Coordinate X of the point
Geometrical	RGB and MS	Y	Coordinate Y of the point
Geometrical	RGB and MS	Z	Height of the point
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Numbers	Number of neighbours
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Dist_mean	Mean distance of the point with its Neighbouring points
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Dist_std	Standard deviation of the point with its Neighbouring points
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Mean_hgt	Mean height of the point and its neighbours
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Std_hgt	Standard deviation height of the point and its neighbours
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Dist_Z	Neighbourhood maximum height minus Neighbourhood minimum height
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Z_Min	Point height minus Neighbourhood minimum height
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Max_Z	Maximum Neighbourhood height minus point height
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Sum_Z	Sum of elevations
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Curvature	Three-dimensional distribution of the points in the Neighbourhood
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Entropy	Shannon entropy of the normalized curvature
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Anisotropy	Change of the Neighbourhood in different directions
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Planarity	Two-dimensionality of the Neighbourhood on the x and y axes
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Linearity	Neighbourhood dimensionality on one axis
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Surface_Variety	Surface roughness in all three dimensions
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Sphericity	Essentiality of the Neighbourhood to the shape of a perfect sphere
Neighbourhood geometrical	RGB and MS	Verticality	Z component of the normal vector

➤ Class3Dp:

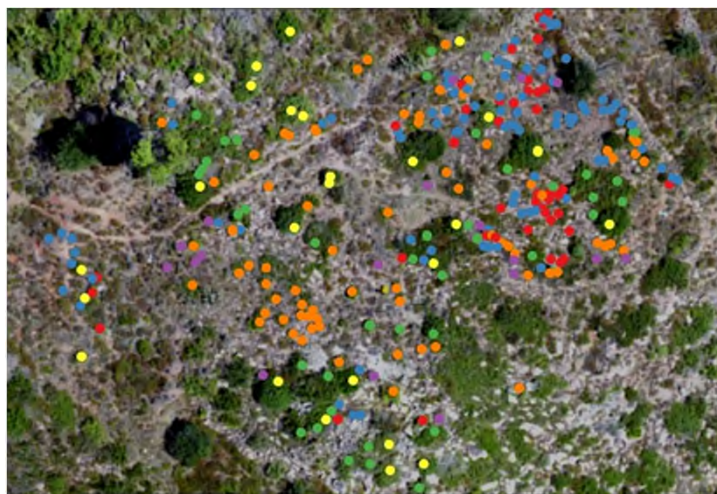
- Software para la clasificación supervisada de nubes de puntos 3D mediante características geométricas y espectrales.
- Está diseñado para clasificar especies de plantas a partir de su información espectral (RGBI) y geométrica (coordenadas).
- Class3Dp calcula hasta 48 características y tiene disponible 5 algoritmos de Machine Learning.



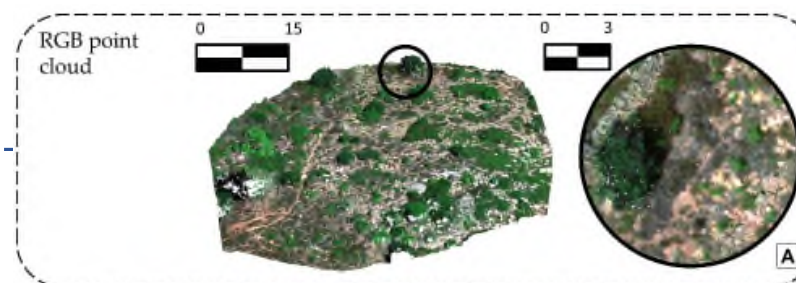


Estudios UAV-DAP

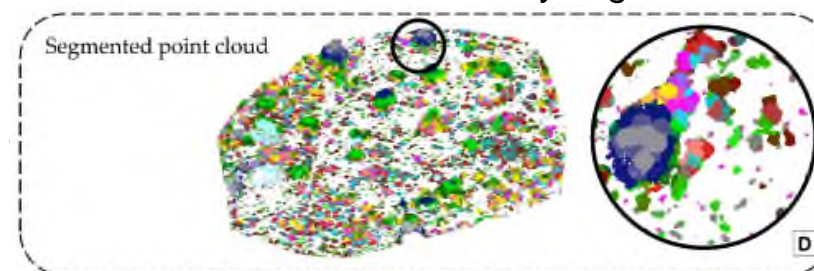
Datos de campo: localización e identificación de especies



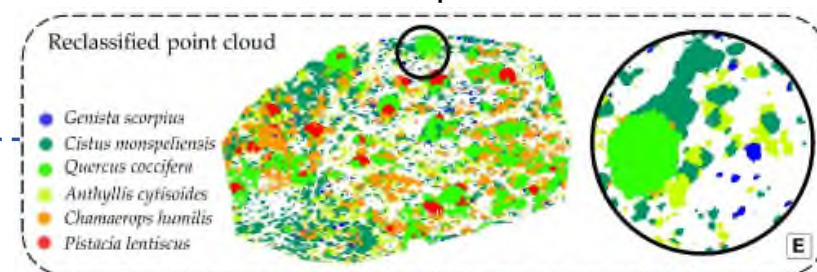
Adquisición de imágenes y generación nube de puntos



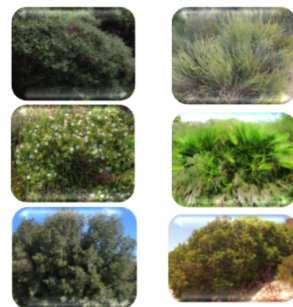
Extracción de características y segmentación



Clasificación de especies arbustivas



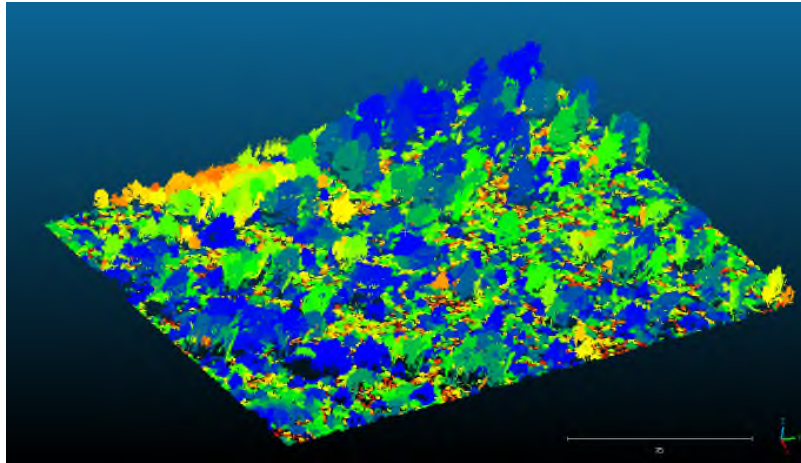
- *Genista scorpius* (L.) DC.
- *Cistus monspeliensis* L.
- *Quercus coccifera* L.
- *Anthyllis cytisoides* L.
- *Chamaerops humilis* L.
- *Pistacia lentiscus* L.



Fiabilidades globales de 81,9% y 96,4% para las 2 zonas de estudio, respectivamente.



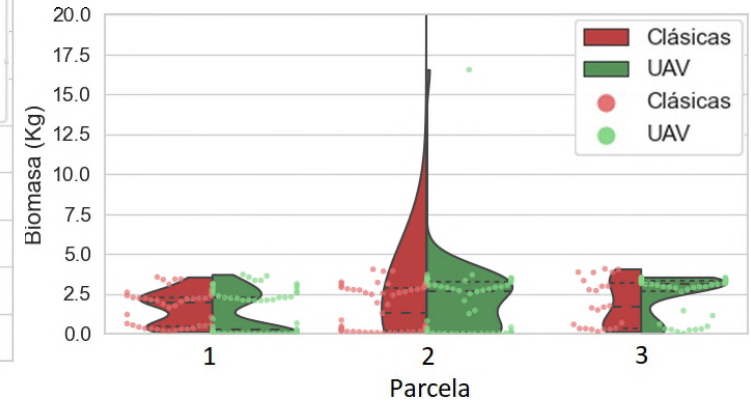
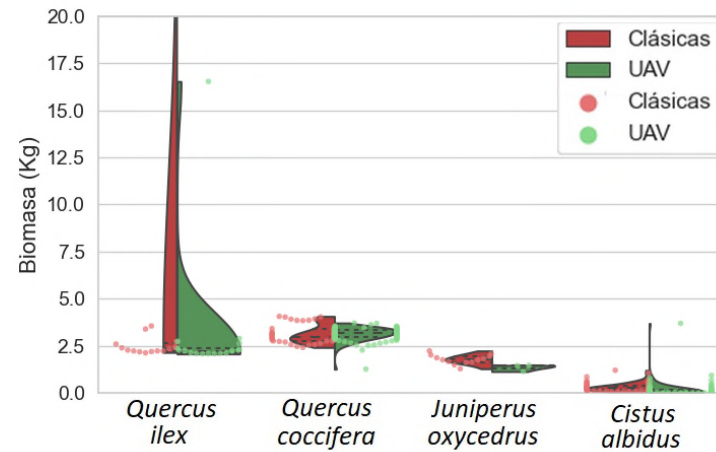
Estudios UAV-DAP



➤ Estimación de biomasa mediante UAV-DAP:

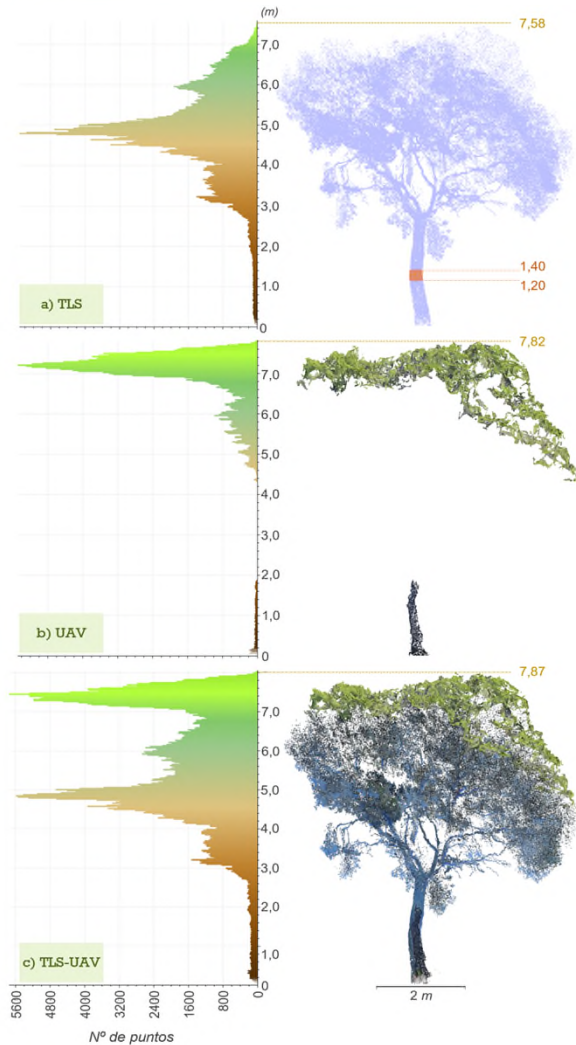
- Segmentación y clasificación en 13 especies.
- Estimación de la biomasa a nivel de individuo empleando ecuaciones alométricas recopiladas mediante revisión bibliográfica.

Specie	Number of individuals	Equation	Biomass units	Reference
<i>Antylius cystisoides</i>	97	$B = 23.0205 + 0.0355458 \cdot CC + 4.87575 \cdot CC^{1.1504001}$	g	(Robledo et al., 2011)
<i>Bupleurum frutescens</i>	22	$B = 37164.0 \cdot e^{0.01 \cdot V_{frustum}} - 37150.3$	g	(Usó-Doménech et al., 2016)
<i>Cistus albidus</i>	58	$B = 1909.853 \cdot (V_{frustum})^{0.829}$	g	(Castro et al., 1996)
<i>Erica multiflora</i>	96	$B = 6.9 \cdot e^{3 \cdot V_{frustum}} - 7.1$	g	(Usó-Doménech et al., 2016)
<i>Genista Scorpius</i>	33	$B = 2.189 + 0.913 \cdot V_{frustum}$	g	(Casals et al., 2016)
<i>Globularia alypum</i>	129	$B = 1.8255065 \cdot [H \cdot \arcsin(\sqrt{(CC)})]^{0.8044}$	Tn/ha	(Montero et al., 2020)
<i>Juniperus oxycedrus</i>	44	$\log(B) = 1.87 + 0.70 \cdot \log(V_{cormus})$	g	(Paton et al., 2002)
<i>Pinus halepensis</i>	34	$B = e^{\frac{0.351637^2}{2}} \cdot e^{-2.0930} \cdot DBH^{2.209180}$	Tn/ha	(Montero et al., 2005)
<i>Pistacia lentiscus</i>	32	$B = 2479.76 \cdot V_{frustum}^{0.985}$	Kg	(Blanco Oyonarte and Navarro Cerrillo, 2003)
<i>Quercus coccifera</i>	116	$\log(B) = 3.55 + 0.57 \cdot \log(V_{cormus})$	g	(Paton et al., 2002)
<i>Quercus ilex</i>	31	$B = 2.064 + 0.762 \cdot V_{frustum}$	g	(Casals et al., 2016)
<i>Rhamnus alaternus</i>	12	$B = 241.68x^2 - 17824 + V_{cylinder} + 0.0979$	Kg	(Dallali et al., 2020)
<i>Salvia rosmarinus</i>	165	$B = (381.8 \cdot e^{2 \cdot V_{frustum}} - 367)$	g	(Usó-Doménech et al., 2016)





Estudios TLS + UAV-DAP



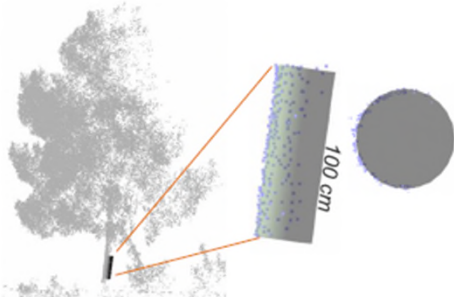
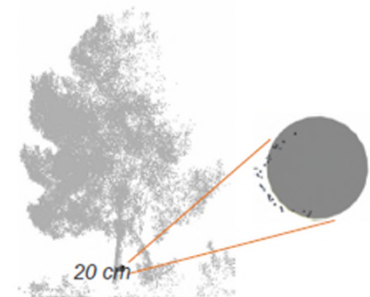
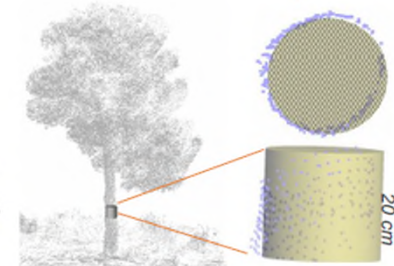
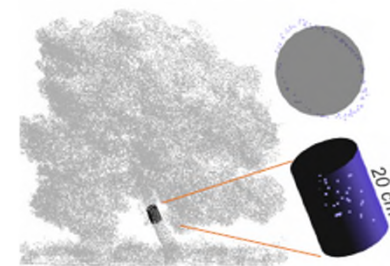
➤ Estimación de variables forestales mediante TLS-UAV:

- Resultados similares TLS/UAV-DAP para estimaciones de altura.
- Diferencias en la estimación del volumen y la biomasa.
- La combinación de ambos mejora ligeramente los resultados.

Variable	Sensor	R ²	RMSE
Altura	TLS	0.89	0.75m
	UAV	0.88	0.78m
	Fusion	0.90	0.69m
Biomasa	TLS	0.91	42.2kg
	UAV	0.70	65.4kg
VCC	TLS	0.91	35.9dm ³
	UAV	0.82	54.3dm ³
	Fusion	0.92	32.7dm ³

RANSAC

80% de los árboles - R²_{adj} de 0,91 - RMSE = 2,26 cm





Conclusiones

- Las **técnicas de teledetección** mostradas (TLS, ALS, UAV-DAP) presentan **un gran potencial** para la **caracterización** de diferentes variables forestales.
- Estas variables forestales son **parámetros esenciales** para la realización de un **inventario forestal nacional**.
- Todas las técnicas mostradas tienen un **coste asequible**, excepto el ALS (y TLS), pero existen datos abiertos del PNOA-LiDAR para todo el territorio nacional y con diferentes coberturas.
- Los resultados obtenidos mediante **TLS con una menor densidad** de puntos abren la posibilidad a emplear otras técnicas con menos densidad de puntos como el **MLS**.
- El uso de las técnicas mostradas **disminuye** considerablemente los **trabajos en campo**, y los trabajos de **oficina** se encuentran principalmente **automatizados**.
- El **nivel de detalle** de los datos de campo tomados con las técnicas presentadas es **incomparable** con respecto a las **técnicas tradicionales**.
- El uso de estas técnicas abre la puerta a extraer **otros parámetros para el IFN** hasta ahora no considerados.
- Trabajos actuales/futuros:
 - Clasificación nube de puntos PNOA-LiDAR 3ª cobertura mediante técnicas de Deep Learning.
 - Clasificación nubes de puntos en especies arbóreas/arbustivas mediante técnicas de Deep Learning.
 - Estimación variables forestales (altura, DBH, stem taper, dimensiones copa, biomasa, volumen) y segmentación + caracterización del tronco y ramas a partir de datos MLS.



Referencias

- Carbonell-Rivera, J. P., Torralba, J., Estornell, J., Ruiz, L. Á., & Crespo-Peremarch, P. (2022). Classification of mediterranean shrub species from UAV point clouds. *Remote Sensing*, *14*(1), 199.
- Carbonell-Rivera, J. P., Estornell, J., Ruiz, L. Á., Crespo-Peremarch, P., Almonacid-Caballer, J., & Torralba, J. (2024). Class3Dp: A supervised classifier of vegetation species from point clouds. *Environmental Modelling & Software*, *171*, 105859.
- Carbonell-Rivera, J. P., Ruiz, L. Á., Estornell, J., Simó-Martí, M., Quille-Mamani, J., Torralba, J. (2024). Comparación de biomasa estimada a partir de mediciones clásicas y nubes de puntos UAV clasificadas mediante Class3Dp. *Actas XX Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, 219.
- Torralba, J., Carbonell-Rivera, J. P., Ruiz, L. Á., Crespo-Peremarch, P., & Almonacid-Caballer, J. (2022). Estimación de parámetros forestales en *Pinus halepensis* Mill. a partir de nubes de puntos TLS, UAV y fusion TLS-UAV. *Actas XIX Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, 159.
- Torralba, J., Carbonell-Rivera, J. P., Ruiz, L. Á., & Crespo-Peremarch, P. (2022). Analyzing TLS scan distribution and point density for the estimation of forest stand structural parameters. *Forests*, *13*(12), 2115.
- Torralba, J., Crespo-Peremarch, P., Ruiz, L. Á., Carbonell-Rivera, J. P. (2024). Análisis multitemporal de la estructura vertical de ecosistemas forestales mediterráneos mediante datos TLS. *Actas XX Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, 291.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CGAT

¡Gracias por su atención!

Pablo Crespo Peremarch,
pabcrepe@cgf.upv.es

X @CrespoPeremarch
@CGAT_UPV

Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección,
Universitat Politècnica de València

www.cgat.webs.upv.es