



# **UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES**

**MÁSTER EN GEOTECNOLOGIA Y DESARROLLO DE PROYECTOS SIG**

**Departamento de Biología de Organismos y Sistemas**

**Área de Ingeniería Agroforestal**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE MODELOS DIGITALES  
DEL TERRENO BAJO ARBOLADO A PARTIR DE DATOS PNOA-  
LiDAR**

**Autor: Ana Lucía Caravario**

**Directores: Carlos Antonio López Sánchez**

**Marcos Barrio Anta**

**JULIO, 2020**

## RESUMEN

Antes de que surgiera la tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging) aerotransportada comercial de pulsos discretos y huella pequeña – también conocida como ALS (Airbone Laser Scanner) – allá por los años 90 del siglo XX y el uso de los datos fuera accesible para los investigadores en materia forestal, la mayoría de los estudios para derivar parámetros estructurales de la vegetación utilizaban sensores de teledetección ópticos, que solo proporcionan información espectral sobre la cubierta vegetal, y en menor medida sensores SAR (Systhetic Aperture Radar), los cuales aportan información relacionada con la estructura del dosel debido a la sensibilidad de las microondas. Sin embargo, actualmente con la disponibilidad de datos LiDAR capturados para todo el territorio español en el marco del Plan Nacional de Ortofotografía Área (PNOA) se ha abierto una nueva línea de investigación.

En este trabajo fin de máster se ha hecho de uso de dichos datos públicos para evaluar la extracción de diferentes modelos digitales del terreno bajo arbolado, con el apoyo de trabajo de campo obtenido del Inventario Forestal Nacional Español 4.5. El tema del trabajo incorpora, además, dos aspectos que le confieren cierta dificultad, pero que, al mismo tiempo, le dotan de un interés añadido: en relación con los datos utilizados, la baja densidad de las nubes de puntos y la falta de simultaneidad temporal entre las diferentes fuentes de obtención de datos; respecto del área de estudio, sus características ambientales, de topografía accidentada y con masas forestales morfológicamente heterogéneas.

Los diferentes modelos digitales del terreno extraídos se han comparado entre sí en el mismo sitio de prueba y con los mismos datos de campo, por medio de modelos lineales (regresión lineal). La comparación de las estimaciones para los modelos seleccionados se basó en el coeficiente de determinación  $R^2$ , arrojando el mejor valor para la relación entre el *P. pinaster* y el primer algoritmo de extracción del MDT ( $R^2 = 0,9453$ ).

Asimismo, los datos se examinaron mediante el análisis de la varianza (ANOVA), para identificar si existen diferencias estadísticas significativas entre los cuatro algoritmos propuestos para la extracción de los MDT's en relación con la altura dominante registrada en campo en las parcelas del IFN 4.5, como así también entre las distintas especies forestales y entre el tercil  $H_0$ .

## ABSTRACT

Before LiDAR (Light Detection and Ranging) commercial airborne discrete pulse and small footprint technology - also known as ALS (Airbone Laser Scanner) - emerged back in the 1990s and the use of the data was accessible to forestry researchers, Most studies to derive structural parameters of vegetation used optical remote sensing sensors, which only provide spectral information on the vegetation cover, and to a lesser extent SAR (Systhetic Aperture Radar) sensors, which provide information related to the structure of the canopy due to the sensitivity of microwaves. However, currently with the availability of LiDAR data captured for all the Spanish territory in the framework of the National Plan of Orthophotography Area (PNOA) a new line of research has been opened.

In this study, the use of these public data has been made to evaluate the extraction of different digital models of the land under trees, with support in field work obtained from the Spanish National Forest Inventory 4.5. The subject of the work also incorporates two aspects which make it somewhat difficult, but which at the same time give it added interest: in relation to the data used, the low density of the point clouds and the lack of temporal simultaneity between the different sources of data; with respect to the area of study, its environmental characteristics, of rugged topography and with morphologically heterogeneous forest masses.

The different digital terrain models extracted have been compared with each other at the same test site and with the same field data, by means of linear models (linear regression). The comparison of estimates for the selected models was based on the determination coefficient  $R^2$ , giving the best value for the relationship between *P. pinaster* and the first DTM extraction algorithm ( $R^2 = 0.9453$ ).

The data were also examined by analysis of variance (ANOVA), to identify if there are significant statistical differences between the four algorithms proposed for the extraction of DTMs in relation to the dominant height recorded in the field on the IFN 4.5 plots, as well as between the different forest species and between the tercil H0.

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

<b>ALS</b>	Airbone Laser Scanning
<b>ANOVA</b>	Analysis of variance
<b>CNIG</b>	Centro Nacional de Información Geográfica
<b>FCC</b>	Fracción de Cobertura Cubierta
<b>H95</b>	Altura dominante para un percentil del 95%
<b>IFN-4.5</b>	Cuarto Inventario Forestal Nacional
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional
<b>LiDAR</b>	Light Detection And Ranging
<b>MAE</b>	Mean Absolute Error
<b>MDT</b>	Modelo Digital del Terreno
<b>PNOA</b>	Plan Nacional de Ortofotografía Aérea
<b>R<sup>2</sup></b>	Coefficiente de determinación
<b>RMSE</b>	Root Mean Squared Error
<b>SAR</b>	Synthetic Aperture Radar

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. <i>INVENTARIO FORESTAL BASADO EN TECNOLOGÍA LIDAR</i> .....	2
1.2. <i>EXTRACCIÓN DEL MDT EN TERRENOS BOSCOSOS</i> .....	3
1.3. <i>DESAFÍOS EN LA EXTRACCIÓN DE MDT's EN TERRENOS FORESTALES</i> .....	3
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	5
2.1. <i>ÁREA DE ESTUDIO</i> .....	5
2.2. <i>CONJUNTO DE DATOS</i> .....	7
2.2.1. <i>DATOS DEL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL</i> .....	7
2.2.2. <i>DATOS PNOA-LIDAR</i> .....	9
2.3. <i>MÉTODOS DE ANÁLISIS</i> .....	13
2.3.1. <i>EXTRACCIÓN DE MDT</i> .....	13
2.3.2. <i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</i> .....	21
2.3.3. <i>MAPEADO</i> .....	23
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
4. CONCLUSIONES .....	34
5. BIBLIOGRAFÍA.....	36
6. ANEXOS.....	38
6.1. ANEXO I. COMANDOS UTILIZADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE LOS MDT'S Y EXTRACCIÓN DEL PERCENTIL DEL 95. ....	38
6.2. ANEXO II. RESULTADO DE LA EJECUCIÓN DEL COMANDO 'CATALOG' .....	56
6.3. ANEXO III. RESULTADO DE LA EJECUCIÓN DEL COMANDO 'CLOUDMETRICS' .....	58
6.4. ANEXO IV. PLANOS CORRESPONDIENTES A LAS VARIACIONES EN LA PREDICCIÓN DEL P95 PARA CADA UNO DE LOS ALGORITMOS.....	62

## FIGURAS

<i>Figura 1. Localización del área de estudio.</i> .....	7
<i>Figura 2. Distribución de las especies forestales en la zona de estudio.</i> .....	9
<i>Figura 3. Interacción de un pulso láser con la vegetación (Montealegre Gracia, 2017).</i> .....	11
<i>Figura 4. Estado del Proyecto LiDAR - Segunda cobertura.</i> .....	12
<i>Figura 5. Flujo de procesos.</i> .....	14
<i>Figura 6. Nube de puntos correspondiente al archivo PNOA_2016_GAL_E_566-4698_ORT-CLA-COL.las,</i> .....	16
<i>Figura 7. P95 previsto frente a la altura dominante registrada en campo (IFN 4.5).</i> .....	25
<i>Figura 8. P95 previsto frente a la altura dominante registrada en campo (IFN 4.5) en E. globulus (fila 1), P. Pinaster (fila 2) y P. Radiata (fila 3), en relación con los algoritmos 1, 2, 3 y 4 (columnas).</i> .....	28
<i>Figura 9. P95 previsto frente a la altura dominante registrada en campo (IFN 4.5) en E. globulus, P. pinaster y P. radiata (de izquierda a derecha) en relación con los cuatro algoritmos.</i> .....	28
<i>Figura 10. Diagramas de caja y bigotes para todo el conjunto de datos. Diferentes letras indican diferencias significativas (<math>p &lt; 0.05</math>) entre categorías.</i> .....	31
<i>Figura 11. Diagramas de caja y bigotes para, E. globulus, P. pinaster y P. radiata y (en filas) y algoritmos y terciles (columnas). Diferentes letras indican diferencias significativas (<math>p &lt; 0.05</math>) entre categorías.</i> .....	33

## TABLAS

<i>Tabla 1. Estadísticas descriptivas de alturas dominantes (Hdom.) correspondientes a datos LiDAR y del IFN-4.5, densidad (N), altitud y pendiente, extraídas de las parcelas del IFN-4.5 objeto de estudio. ....</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 2. Desfases temporales entre el IFN-4.5 y el vuelo LiDAR. ....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 3. Materiales, equipo y software. ....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 4. Resumen de las métricas de análisis láser aerotransportado (ALS). ....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 5. Estadísticos de bondad de ajuste ....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 6. Estadísticos de bondad de ajuste ....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 7. Coeficiente de determinación para las comparaciones entre especies, considerando todos los algoritmos. ....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 8. Coeficiente de determinación para las comparaciones entre especie y algoritmo. ....</i>	<i>25</i>

## COMANDOS

<i>Comando 1. Pre - procesado de datos LiDAR. ....</i>	<i>17</i>
<i>Comando 2. Inspección de los datos LAS. ....</i>	<i>17</i>
<i>Comando 3. Estadística básica de los datos. ....</i>	<i>17</i>
<i>Comando 4. Separación de los primeros y últimos retornos. ....</i>	<i>18</i>
<i>Comando 5. Filtrado del terreno. ....</i>	<i>18</i>
<i>Comando 6. Modelo Digital del Terreno. ....</i>	<i>19</i>
<i>Comando 7. Obtención de Métricas LiDAR. ....</i>	<i>20</i>
<i>Comando 8. Obtención del percentil del 95. ....</i>	<i>21</i>

# 1. INTRODUCCIÓN

En la mayor parte de los territorios, las actividades humanas (tales como la agricultura, explotación forestal, urbanización, entre otros) son los motores principales de la dinámica del paisaje. La heterogeneidad percibida en un momento o en un lugar dado es el resultado de la heterogeneidad espaciotemporal producida por las restricciones ambientales, los procesos ecológicos y las perturbaciones de origen humano o natural. El ser humano modifica el territorio para llevar a cabo actividades productivas, lo que conlleva a que estas modificaciones produzcan importantes cambios en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

Es necesario comprender, analizar y controlar el impacto humano sobre el ambiente biofísico, así como participar y dar respuesta a los impactos ambientales generados por la humanidad. En la actualidad, la teledetección está siendo utilizada como una herramienta valiosa y determinante a la hora de establecer indicadores de manera especial para evaluar dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales. Un aporte destacado de la teledetección espacial al estudio medioambiental es su capacidad de seguir procesos dinámicos ya que las imágenes se captan por un sensor que observa la tierra desde una órbita estable y repetitiva (Farias et al., 2018). Con respecto a las técnicas de teledetección, tradicionalmente, se han empleado las imágenes satelitales y las ortofotografías aéreas, sin embargo, en los últimos veinte años la tecnología de escaneo láser ha cobrado gran importancia debido a su capacidad para recoger datos espaciales georreferenciados de forma automática y eficiente. Esta tecnología también se conoce con el acrónimo de LiDAR, tecnología de detección remota activa que utiliza sistemas de escaneo láser montados en aviones junto con un sistema de posicionamiento y orientación (POS) para propósitos de alcance. El sistema mide la distancia entre el escáner láser y los objetos reflejados en el suelo (o en el propio suelo) al considerar el tiempo de ida y vuelta que tarda un pulso láser en viajar desde el sensor a la superficie reflectante y viceversa.

En cuanto a lo que a aplicaciones forestales compete, el uso de la tecnología LiDAR ha aumentado constantemente en la última década. Esta tendencia creciente en el uso de la tecnología LiDAR en aplicaciones forestales puede atribuirse tanto a los resultados prometedores obtenidos en las aplicaciones de la tecnología LiDAR a la silvicultura como a la madurez de la tecnología LiDAR a lo largo del tiempo. A diferencia de los sensores LiDAR convencionales, que pueden registrar hasta cuatro retornos de múltiples objetivos, los sensores LiDAR de forma de



onda completa pueden muestrear y grabar la forma de onda de eco completa para cada pulso láser. Esta capacidad les permite recopilar más información sobre las características físicas de los objetos reflectantes y se está aprovechando para generar modelos digitales del terreno (en adelante, simplemente denominado MDT) a partir de datos LiDAR con mejoras notables en términos de precisión en comparación con los sensores LiDAR convencionales.

Por otro lado, los costos de adquisición de datos LiDAR por unidad de área han disminuido significativamente, especialmente para proyectos que cubren grandes áreas. Sin embargo, esta rentabilidad de LiDAR es una compensación entre el costo y la densidad de puntos. Para cubrir grandes áreas a costos mínimos, la altitud de vuelo debe ser relativamente más alta, lo que conlleva a que las densidades de puntos sean más bajas (Maguya et al., 2014).

Este trabajo fin de máster se enfoca principalmente en aplicaciones LiDAR en actividades forestales, particularmente en la extracción de MDT's en terreno boscoso para las provincias de Lugo y Ourense, considerando para ello a algunas de las especies forestales con mayor presencia en la comunidad de Galicia tales como *Eucalyptus globulus*, *Pinus Pinaster* y *Pinus Radiata*. El uso de la tecnología LiDAR en este tipo de masas es especialmente importante debido al potencial productor de las mismas y al interés creciente por parte de la administración y del sector privado.

Por tanto, el objetivo de este proyecto es el desarrollo de cuatro algoritmos diferentes para la extracción de modelos digitales del terreno a partir del procesamiento de los datos PNOA – LiDAR, con el fin de evaluar el impacto de la calibración en la calidad de cada uno de ellos de cara a la obtención de la métrica correspondiente al percentil del 95, con el que se ha realizado una puesta en común con respecto a la altura dominante registrada en campo (parcelas del inventario forestal nacional 4.5) por medio de modelos de regresión lineal y análisis de la varianza.

## **1.1. INVENTARIO FORESTAL BASADO EN TECNOLOGÍA LiDAR**

La tecnología LiDAR ha sido ampliamente utilizada para estimar ciertos parámetros forestales relacionados con el inventario forestal (Akay et al., 2009). Uno de los parámetros que ha recibido mayor atención es la altura del árbol (altura media, altura dominante o alturas individuales de los árboles). Esto se debe a que a partir de la altura de los árboles podemos estimar otros parámetros forestales, como la biomasa y el volumen de los árboles (van Leeuwen & Nieuwenhuis, 2010). Una técnica común que se ha utilizado para la estimación de la altura de los árboles implica la estimación de dos modelos a partir de datos LiDAR, el modelo digital del terreno

(MDT) y el modelo digital de superficie (MDS) del que se deriva el modelo de altura de copa (MCH) como su diferencia algebraica ( $MCH = MDS - MDT$ ).

En este estudio se han obtenido diferentes combinaciones de MDT's en función de la topografía del terreno (pendiente), densidad de la masa (FCC<sup>1</sup>) y el tipo de especie.

## **1.2. EXTRACCIÓN DEL MDT EN TERRENOS BOSCOSOS**

La extracción de un MDT es un proceso de dos etapas (Kraus & Pfeifer, 2001). En la primera etapa, los puntos de la tierra (puntos de pulsos LiDAR reflejados desde la superficie del suelo) se separan de los puntos de vegetación (puntos de pulsos LiDAR reflejados desde el dosel y la vegetación baja). En la segunda etapa, el MDT se genera al estimar las elevaciones del suelo en lugares donde no hay datos a través de técnicas de interpolación.

Sin embargo, la extracción de MDT en terrenos boscosos es única, debido a la presencia del dosel de copas (que limita la penetración de pulsos LiDAR) y el complejo terreno presente normalmente en los bosques, por lo que la mayoría de los algoritmos de interpolación de MDT de propósito general funcionan mal en estas condiciones. Esto se debe, por un lado, al hecho de que ningún algoritmo puede funcionar bien en todo tipo de situaciones (datos y tipo de terreno), y además de ello, a la naturaleza heterogénea del terreno y los datos LiDAR típicos del terreno boscoso (Maguya et al., 2014). Por ejemplo, una comparación experimental de algoritmos de filtrado de suelo reveló que si bien la mayoría de los algoritmos funcionan de manera similar en situación menos exigentes (lo que puede ser un terreno plano y ausencia de discontinuidad en el terreno), se observaron diferencias significativas en el rendimiento de los algoritmos con una creciente complejidad del terreno, la presencia de objetos grandes como edificios, y la presencia de cobertura vegetal (Sithole & Vosselman, 2004).

## **1.3. DESAFÍOS EN LA EXTRACCIÓN DE MDT's EN TERRENOS FORESTALES**

Si bien el objeto de este trabajo ha sido el desarrollo de algoritmos especializados para intentar resolver el problema de la extracción de MDT's en terreno boscoso, este proceso aún enfrenta algunos desafíos más. Algunos autores señalan que existen muchos factores que afectan

---

<sup>1</sup> Se denomina Fracción de cabida cubierta (FCC) a la proporción de la superficie del suelo cubierta por la proyección de las copas de los árboles, expresada indistintamente en tanto por ciento o en tanto por uno.

el proceso de extracción de MDT en terreno boscoso. Estos factores incluyen, entre otros tantos, la altitud de vuelo sobre el nivel del suelo, la cubierta forestal, la fecha en que se recopilieron los datos LiDAR, la pendiente del terreno y el ángulo de exploración (Hyypä et al., 2005; Sithole & Vosselman, 2004).

Se ha demostrado que estos factores tienen un efecto directo en la tasa de penetración de los pulsos LiDAR a través de la cubierta forestal y, por lo tanto, afectan la cantidad de ecos al suelo. La altitud de vuelo, por ejemplo, afecta la densidad de puntos en los datos, es decir, cuanto mayor sea la altitud de vuelo sobre el nivel del suelo, menor será la densidad de puntos. Del mismo modo, el grosor de la vegetación y la temporada de recopilación de datos afectan la densidad de los datos recopilados. La densidad de la nube de puntos LiDAR tiende a disminuir desde la parte superior de la cubierta hacia abajo, y esto es resultado de que la mayor parte de los pulsos LiDAR estén bloqueados por la vegetación.

Por otro lado, si los datos se recopilan durante la temporada de caída de hojas, habrá una tasa de penetración más alta para los pulsos LiDAR que si los datos se recopilaron durante la temporada de hoja (Hyypä et al., 2005). Esto se debe a que, en la temporada de caída de las hojas, existen numerosas brechas en el dosel de la vegetación para que penetren los pulsos.

La pendiente del terreno también plantea un gran desafío para la mayoría de los algoritmos de interpolación de MDT y filtrado del suelo. Algunos estudios que evalúan el efecto de la pendiente del terreno en la precisión del MDT mostraron que la precisión de este tiende a deteriorarse con el aumento de la pendiente del terreno (Fisher & Tate, 2006; Meng et al., 2010).

Hoy en día la tecnología LiDAR en actividades forestales está avanzando a pasos agigantados, lo que sugiere que es el futuro del inventario forestal. Desafortunadamente, el procesamiento de datos LiDAR, especialmente en terrenos boscosos, no ha avanzado tanto como la tecnología LiDAR en sí misma. Esto hace que el área de procesamiento de datos LiDAR, particularmente el filtrado del suelo y la extracción de MDT en terreno boscoso, merezca una mayor investigación (Maguya et al., 2014). Es por ello por lo que en este trabajo fin de máster se pretende desarrollar una serie de algoritmos para la extracción de MDT en terreno boscoso a partir de datos LiDAR, teniendo en cuenta la pendiente del terreno, la altura del arbolado, la densidad de la masa y el tipo de especie. De esta forma se intentará comparar estadísticamente el rendimiento de los algoritmos propuestos e indicando si existen diferencias estadísticas significativas entre ellos.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El relieve de Galicia ha sufrido profundas modificaciones a lo largo de su historia. Como todo sistema abierto, su propia dinámica, en la que se interaccionan multitud de factores, está siempre sometido a un balance de estabilidad/inestabilidad en función del dominio de uno u otro factor. Es por ello por lo que las unidades morfológicas de Galicia son fruto, en su mayor parte, de la tectónica, de los movimientos de la corteza terrestre, que fractura, alza o bunde, fragmentos del terreno (Pérez Alberti, 2002).

Actualmente se puede decir que el territorio gallego es fruto de la condición submediterránea de su clima templado y de la tendencia a la continentalidad que se registra siguiendo un gradiente progresivo desde el NW hacia el SE. Dicho esto, según la tipología corológica, Galicia se incluye íntegramente en la Provincia Atlántica Europea, perteneciente a la Subregión Atlántica-Europea de la Región Eurosiberiana (Rodríguez & Ramil-Rego, 2008). Como el presente trabajo se centra en las provincias de Lugo y Ourense, se detallarán a continuación ambas divisiones.

Por un lado, Lugo, pertenece al Subsector Cantábrico Occidental (Sector Galaico-asturiano), mientras que Ourense pertenece al Subsector Ourensano-Lugués (Sector Galaico interior). Con respecto al primero, el relieve se caracteriza en tierras gallegas por la sucesión de valles encajados separados por sierras que se disponen mayoritariamente perpendiculares a la costa y cuyas cotas culminantes se sitúan entre 1064 y 1203 m (Sierras de Xistral y Penas Apañadas, respectivamente). El clima de este territorio se caracteriza por su elevado grado de oceaneidad, debido a su situación litoral y a lo moderado de las cotas culminantes de la mayor parte de las sierras. Como característica distintiva con respecto al resto de Galicia, en el territorio Cantábrico occidental es donde se registra un mayor aporte pluviométrico durante la época estival, siendo prácticamente inexistente el período de sequía. Este hecho es resultado de la combinación de factores climáticos (elevada nubosidad y brumosisidad que caracteriza los meses de verano en esta parte del país debido al predominio de vientos húmedos y frescos de componente N-NE) y edáficos (alta capacidad de retención de agua de los suelos derivada de su elevado contenido en materia orgánica). Esto permite a que, en la actualidad, el paisaje vegetal de este subsector se caracterice por el predominio de áreas dedicadas a cultivos agrícolas y forrajeros en las partes llanas, cultivos forestales de eucaliptos (sobre todo de *Eucalyptus globulus* y *E. nitens*) y pinos

(*Pinus radiata*, *P. pinaster*, *P. sylvestris*). La vegetación arbolada autóctona (fundamentalmente robledales dominados por *Quercus robur* y “soutos”) se refugia en las cabeceras de los principales ríos y en sus tramos medios más abruptos siendo destacables por su importancia en el contexto gallego y NW ibérico, las masas presentes en la cuenca de los ríos Eo, Landro, Sor, Eume y Mandeo. Por lo general, los niveles culminantes de las sierras se encuentran sin cubierta arbórea debido a la deforestación antrópica y en lugar de los bosques potenciales del territorio se encuentran matorrales de carácter mesohigrófilo en los que *Erica mackaiana* y *Cytisus commutatus* suelen ser especies frecuentes.

Por otro lado, el Subsector Ourensano-Lugués está constituido principalmente por una serie de cubetas sedimentarias interiores incrustadas mediante tramos fluviales encajados en los que se manifiesta una doble tendencia climática: una termicidad elevada, asociada a veranos luminosos y cálidos, y una continentalidad más acusada, como consecuencia de la existencia de inviernos relativamente rigurosos caracterizados por períodos prolongados de inversión térmica que provocan un incremento de la oscilación térmica anual frente a los territorios vecinos más septentrionales y occidentales, sobre todo en las principales depresiones. Este conjunto de depresiones y valles amplios se extiende entre los aproximadamente 100 m de O Ribeiro y los 600/650 m de A Limia, si bien la mayor parte de esta unidad se encuentra entre los 400 y 600 m. Consecuentemente, los termotipos más extendidos son el termotemplado y el mesotemplado inferior. Al mismo tiempo, la situación alejada de la costa y protegida de los vientos húmedos atlánticos por importantes alineamientos montañosos (Dorsal Galega, Sierras Galaico- Miñotas) produce una apreciable reducción de los aportes hídricos, especialmente durante el final de la primavera y el verano. Esto provoca que los ombrotipos más frecuentes se sitúen dentro del rango de los tipos subhúmedo superior y húmedo inferior. El paisaje de esta unidad corológica se caracteriza por el predominio de parcelas de dedicación agrícola, especialmente para la producción de forraje, así como la existencia de amplias áreas cubiertas por matorrales. La mayor parte de las masas arboladas autóctonas presentes dominadas por quercíneas (“carballeiras”, “reboleiras”) muestran huellas inequívocas de su utilización tradicional como fuente de leñas, siendo escasa la presencia de “soutos”. Las masas procedentes de repoblación son en su mayor parte pinares (*P. pinaster*, *P. radiata*) aunque abundan las choperas (*Populus x canadensis*) sobre los suelos con mayor disponibilidad hídrica. En las áreas con tendencia a la hidromorfía suelen conservarse pequeñas superficies cubiertas por matorrales y bosques higrófilos, siendo frecuente la presencia en estos ambientes de especies como *Erica tetralix*, *Salix atrocinerea* y *Genista micrantha* (Rodríguez & Ramil-Rego, 2008).

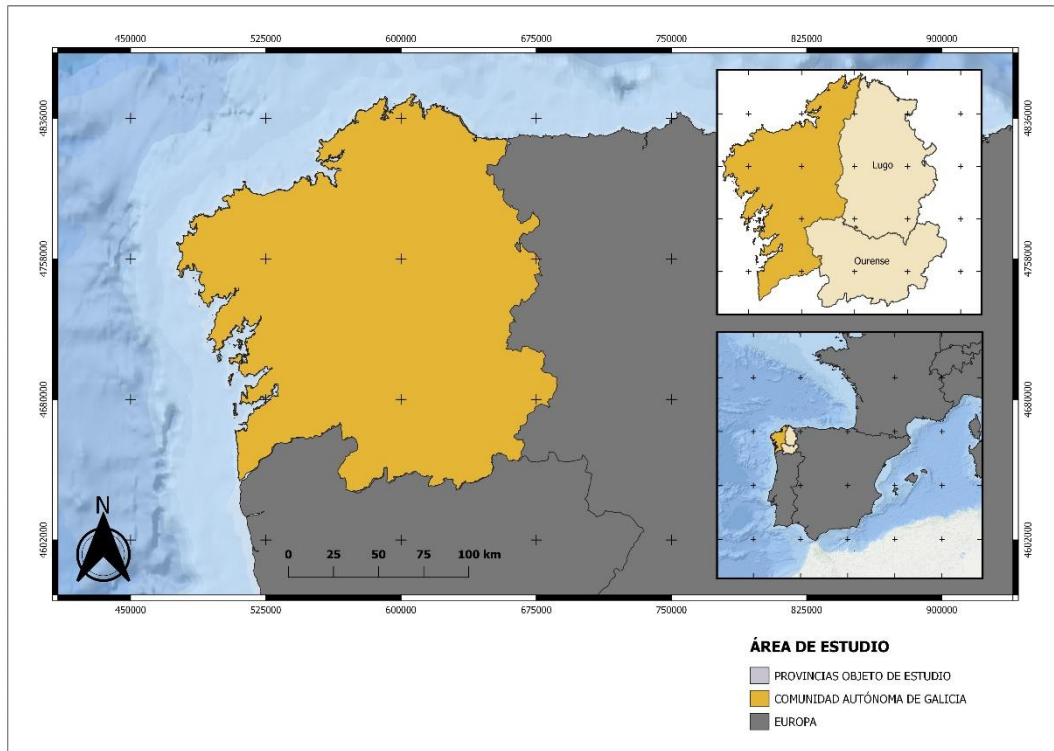


Figura 1. Localización del área de estudio.

## 2.2. CONJUNTO DE DATOS

### 2.2.1. DATOS DEL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL

El estudio ha consistido en la evaluación de diferentes parámetros para la extracción de modelos digitales del terreno bajo arbolado, considerando para ello tres de las especies con mayor presencia y distribución superficial en las provincias de Lugo y Ourense, las cuales son:

- *Eucalyptus globulus*
- *Pinus pinaster*
- *Pinus radiata*

El *Eucalyptus globulus* es una especie que necesita un clima templado, ya que es árbol de litoral y colinas bajas y es muy susceptible a las heladas, por lo que requiere precipitación uniforme todo el año. Se encuentra sobre todo en Galicia, Asturias y Cantabria y en el suroeste (Huelva). Es una especie de luz, de temperamento robusto.

Por otro lado, el *Pinus pinaster* es el pino que ocupa de forma natural más superficie en España; es una especie que soporta bien la sequía estacional, tiene escasa resistencia al frío, viento y nieve. Es frugal, tiene tolerancia a suelos de escasa fertilidad y muy arenosos, y además

de ello es calcífuga (silicícola) y no tolera los suelos pesados o encharcadizos. De temperamento heliófilo.

En último lugar, el *Pinus radiata*, es una especie muy representada en Lugo, dónde es la especie más común en masas de repoblación. Es higrófila y termófila, no soporta más de un mes y medio de aridez al año y es poco resistente a las heladas (sobre todo a las tardías). En cuanto a la altitud, en Lugo da Buenos resultados hasta los 700 – 800 m en exposiciones de solana. Especie de temperamento robusto, de luz o media luz.

Los datos de campo utilizados en este estudio se obtuvieron del Cuarto Inventario Forestal Nacional Español (IFN-4.5) (MAPA, 2019), para las provincias de Lugo y Ourense en el año 2018. El IFN opera en un ciclo de diez años y las parcelas de muestreo se establecen en las intersecciones de una cuadrícula UTM de 1 x 1 km (Novo-Fernández et al., 2019).

Las parcelas fueron seleccionadas de acuerdo con la composición de la especie, considerando sobre todo aquellas con un alto grado de pureza. Siguiendo este criterio, se utilizaron un total de 45 parcelas de campo en este trabajo donde 15 de ellas corresponden a *E. globulus*, 15 parcelas corresponden a *P. radiata* y las restantes a *P. pinaster*.

La tabla 1 incluye las estadísticas resumidas de las variables relacionadas para la extracción de los MDT's consideradas para las tres especies forestales en la zona de estudio.

Especies	N.º parcelas	Hdom. LiDAR			Hdom. IFN-4.5			N/ha IFN-4.5	Altitud	Pendiente
		Media	Min.	Máx.	Media	Min.	Máx.	Media	Media	Media
<i>E. globulus</i>	15	19,9111	9,013	33,967	21,226	8,300	34,967	834,273	365,500	28,453
<i>P. pinaster</i>	15	16,037	3,262	29,936	17,321	4,582	31,476	603,379	578,524	22,745
<i>P. radiata</i>	15	17,927	6,173	29,936	19,282	8,273	31,476	607,361	573,457	22,497

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de alturas dominantes (Hdom.) correspondientes a datos LiDAR y del IFN-4.5, densidad (N), altitud y pendiente, extraídas de las parcelas del IFN-4.5 objeto de estudio.

La distribución de las especies estudiadas y la clasificación de los tipos de vegetación se determinaron utilizando el Mapa Forestal Español (escala 1:25.000, unidad mínima de cartografía de 1 ha), desarrollado en coordinación con el SNFI-4.5.

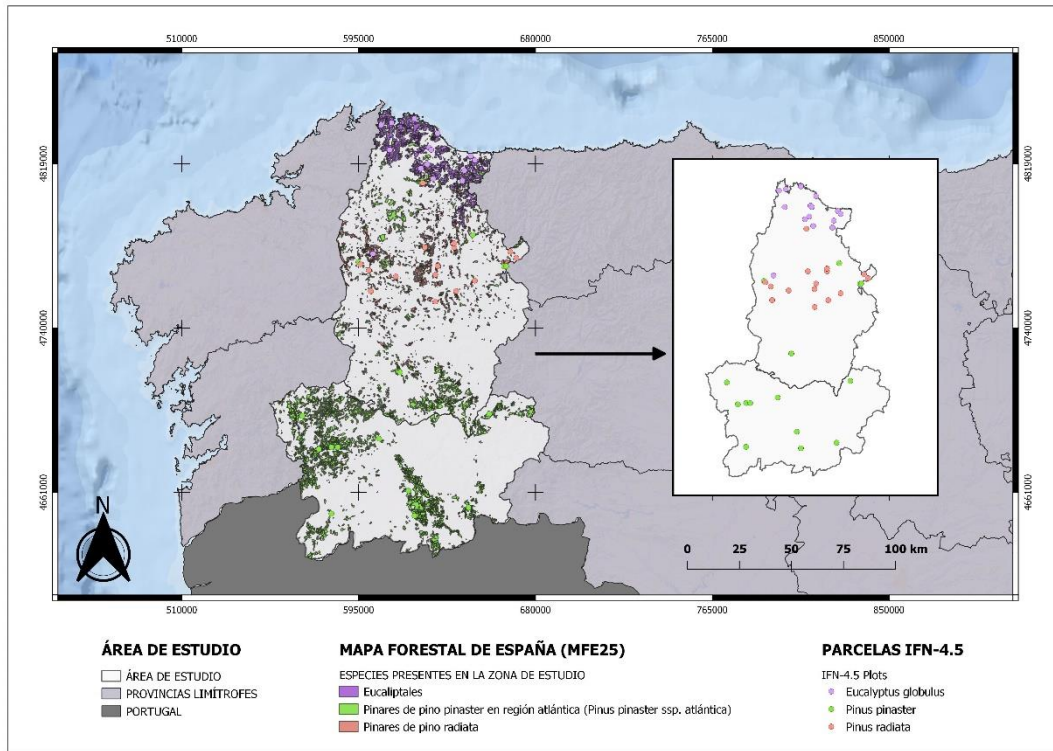


Figura 2. Distribución de las especies forestales en la zona de estudio.

### 2.2.2. DATOS PNOA-LiDAR

Los inventarios forestales tradicionales, como el Inventario Forestal Nacional (IFN) español, con los que se conoce el estado de las masas y la evolución de las superficies forestales, consisten en mediciones manuales por muestreo que tienen un alto coste económico y de tiempo, por lo que no se realizan con la frecuencia e intensidad necesaria para una correcta gestión forestal.

Por otro lado, las técnicas de teledetección parecen ser la alternativa más adecuadas a los costosos inventarios tradicionales, ya que permiten obtener datos continuos para grandes áreas, a un menor coste económico y con mayor periodicidad. Sin embargo, los resultados pueden verse afectados por problemas de saturación en áreas donde la biomasa es excesiva, disminuyendo la sensibilidad para estimar la biomasa aérea por encima de este umbral. En este sentido, las aproximaciones que utilizan sensores activos han mostrado que éstos son más sensibles a niveles de biomasa más altos, aunque los resultados son variables dependiendo de la banda seleccionada y de las condiciones ambientales del área de estudio. Más recientemente, la utilización de la tecnología LiDAR se está convirtiendo en una herramienta con gran potencial para estimar diversas variables dasométricas, como la altura media, el volumen maderable, el área basimétrica, la densidad de pies, la biomasa, etc., en diferentes ecosistemas y con una precisión



mayor a la alcanzada con otras técnicas de inventario tradicional. Esto se debe a la capacidad de los sensores LiDAR para proporcionar de forma directa información tridimensional de la estructura vegetal en forma de nubes de puntos con un error centimétrico, derivadas del registro de los múltiples ecos o retornos reflejados por cada pulso láser emitido por el sensor (Lekuona Zuazo et al., 2017).

En cuanto a la medición de distancias que separa el emisor de pulsos láser del objeto o superficie se pueden distinguir dos tipologías:

- Sistemas de onda continua (full-waveform), que registran toda la energía reflejada (forma de onda). El valor de distancia emisor-objeto se obtiene mediante la medición de la diferencia de fase entre la señal emitida y la radiación recibida por retrodispersión procedente de la superficie del objeto.
- Sistemas de pulsos discretos o “multi-retorno”, que registran uno o varios retornos por cada pulso láser emitido.

Son estos últimos sistemas los que son más utilizados en aplicaciones forestales, ya que permiten registrar hasta cinco retornos por pulso. En estos sistemas, cuando el pulso es interceptado por un objeto, una parte de la energía se refleja hacia el receptor y se registra como el primer eco. Pero cuando el objeto posee cierta porosidad, como es el caso de la vegetación, y no bloquea completamente el pulso, la energía continúa su trayectoria, pudiendo ser reflejada no solo por los objetos más altos (primer retorno correspondiente a la superficie del suelo), sino también por los intermedios y bajos (segundo, tercero o cuarto retorno relativos a las ramas, hojas y sotobosque) e incluso por el suelo (quinto y último retorno). Este hecho es el que se produce cuando el LiDAR aerotransportado captura datos de una zona forestal, donde las copas de los árboles presentan pequeños huecos entre las ramas y el follaje por donde los pulsos láser pueden colarse (Montealegre Gracia, 2017).

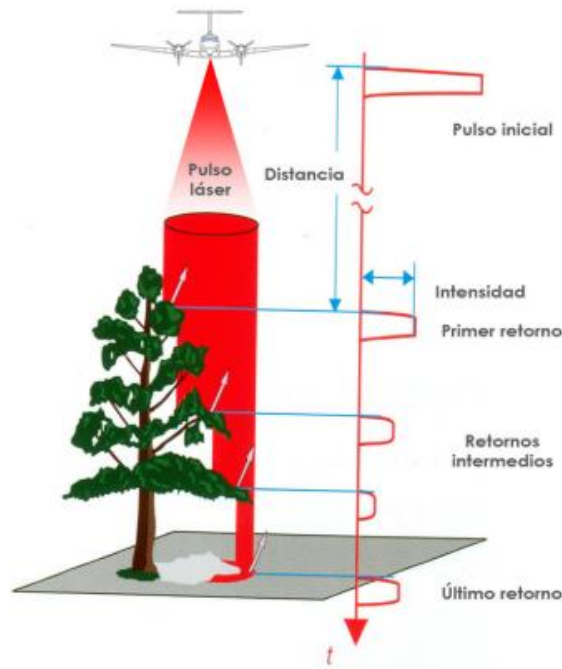


Figura 3. Interacción de un pulso láser con la vegetación (Montealegre Gracia, 2017).

Es por ello por lo que, actualmente, los sistemas LiDAR más comúnmente utilizados son aerotransportados, de pulsos discretos y huella pequeña, también conocidos como ALS (*Airbone Laser Scanning*). Habitualmente se trata de nubes de puntos que presentan una baja densidad (igual o inferior a 1 punto/m<sup>2</sup>) con el fin de abaratar costes. Más concretamente, el Instituto Geográfico Nacional de España inició en el período 2008-2009 la captura de datos LiDAR de baja resolución espacial (densidad nominal de 0,5 puntos/m<sup>2</sup>) en el marco del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), surgiendo la necesidad de evaluar la idoneidad de esta nueva fuente de información, que no está destinada específicamente a aplicaciones forestales, para el estudio de la biomasa arbórea a escala regional (Lekuona Zuazo et al., 2017).

En la actualidad, el PNOA-LiDAR está totalmente procesado, pero no se ha realizado una clasificación de la nube de puntos. Se puede trabajar directamente con los datos de intensidad procedentes de ellos, pero para otros aprovechamientos se requiere una labor de preparación de los datos (Grupo Tragsa, 2018). En este caso, el procesado de la nube de puntos se llevó a cabo mediante el software FUSION® (McGaughey, 2018), lo cual permite transformar la información registrada en alturas de la vegetación y estudiando su distribución, obtener datos de la estructura de la cubierta forestal, determinando variables tales como la fracción de cabida cubierta arbórea, las alturas máximas de la vegetación, la altura dominante, la presencia de matorral o regeneración avanzadas, la existencia o no de continuidad vertical u horizontal de los combustibles (Tomé Morán et al., 2013).

Es importante destacar que uno de los motivos de la elección de las provincias objeto de estudio ha sido la disponibilidad de los datos ya que, de la zona noroeste de España, donde se tienen grandes superficies de terreno arbolado, la zona de Galicia es la que posee una segunda cobertura del vuelo LiDAR relativamente actualizada (año 2016).

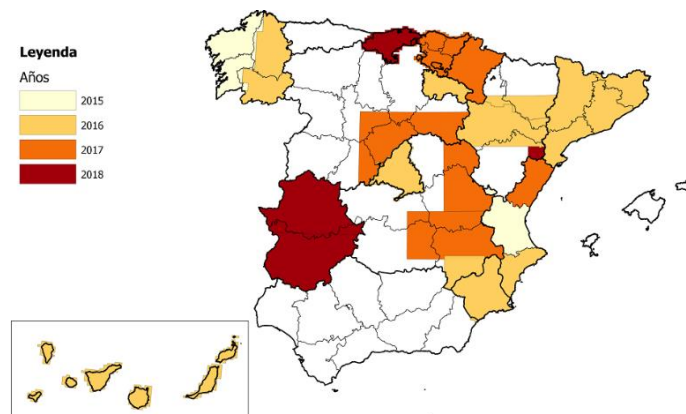


Figura 4. Estado del Proyecto LiDAR - Segunda cobertura.

Fuente: <https://pnoa.ign.es/>

Pese a que el vuelo es el más actualizado para la zona de estudio, no tiene una simultaneidad temporal con las parcelas forestales del IFN-4.5 (tabla 2). Esto genera un problema ya que algunas parcelas pueden ser perturbadas (debido a operaciones de corte, daños por el viento, enfermedades, etc.) durante el tiempo entre el escaneo láser y el inventario de campo.

Provincias	IFN-4.5	Vuelo LiDAR
Lugo	2018	2016
Ourense	2018	2016

Tabla 2. Desfases temporales entre el IFN-4.5 y el vuelo LiDAR.

Para subsanar dicho desfase temporal entre los trabajos de campo del IFN-4.5 y la adquisición de datos PNOA-LiDAR se ha seguido la metodología descrita por Novo-Fernández et al. (2019). Esta metodología consistió en realizar una armonización de los datos de campo con los datos LAS del vuelo LiDAR; para ello, en primer lugar, se ha realizado una proyección hacia atrás de las variables obtenidas del IFN-4.5 a la misma fecha que los datos LAS, con el fin de corregir el efecto de la diferencia de años entre los mismos.

En segundo lugar, con el fin de proyectar la altura dominante de las parcelas de campo a la fecha de los datos LAS, se realizaron, por lo tanto, los tres pasos siguientes: (i) estimación del índice del sitio, (ii) predicción de la edad del soporte y (iii) cálculo de la relación de crecimiento de

altura dominante. Una vez que se llevó a cabo este paso, se ha realizado la eliminación efectiva de parcelas que estaban mal geolocalizadas o perturbadas en el período entre el escaneo láser y el trabajo de campo.

## 2.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS

### 2.3.1. EXTRACCIÓN DE MDT

Tal como se ha comentado anteriormente, los sensores remotos activos (LiDAR) envían millones de impulsos láser a la superficie que se pretende analizar; una vez que estos impulsos chocan con los objetos, la mayor parte de estos regresan al sensor (algunos se pierden) con una energía menor con la que fueron emitidos. Cada uno de los impulsos que regresa tiene una ubicación espacial tridimensional de alta precisión (en ejes X, Y y Z) y una energía de regreso diferencial, la cual va a variar dependiendo de la naturaleza del objeto con que chocó.

La información que genera un sensor LiDAR es almacenada en archivos \*.LAS, siendo éste un formato público para el intercambio de datos LiDAR entre los generadores de información y los usuarios. Dichos archivos corresponden a una nube de puntos que conserva la información específica propia de la naturaleza de los sistemas LiDAR y los atributos de los millones de impulsos que conforman la nube de puntos. Dependiendo del sensor, cada impulso tiene los siguientes atributos: posición (X, Y y Z), intensidad, número de retorno, número de línea de barrido, ángulo del espejo del sensor en el momento de captura (ángulo de escaneo), tiempo de captura GPS, entre otros (Fagua et al., 2011).

La siguiente tabla indica los materiales y software utilizados para el presente trabajo.

Categoría	Descripción
Datos cartográficos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Parcelas del IFN-4.5 año 2018.</li> <li>Archivos *.LAS vuelo PNOA-LiDAR año 2016.</li> </ul>
Software	<ul style="list-style-type: none"> <li>Software libre QGIS (versión 3.10)</li> <li>Software ArcGIS (versión 10.6.1)</li> <li>FUSION (versión 3.80)</li> <li>CMD (Consola de Windows o Símbolo del Sistema)</li> <li>Software estadístico R y RStudio (IDE)</li> <li>Software CloudCompare (versión 2.11.0)</li> </ul>

Tabla 3. Materiales, equipo y software.

A continuación, se detallará el flujo de procesos realizado para la extracción de los distintos MDT's.

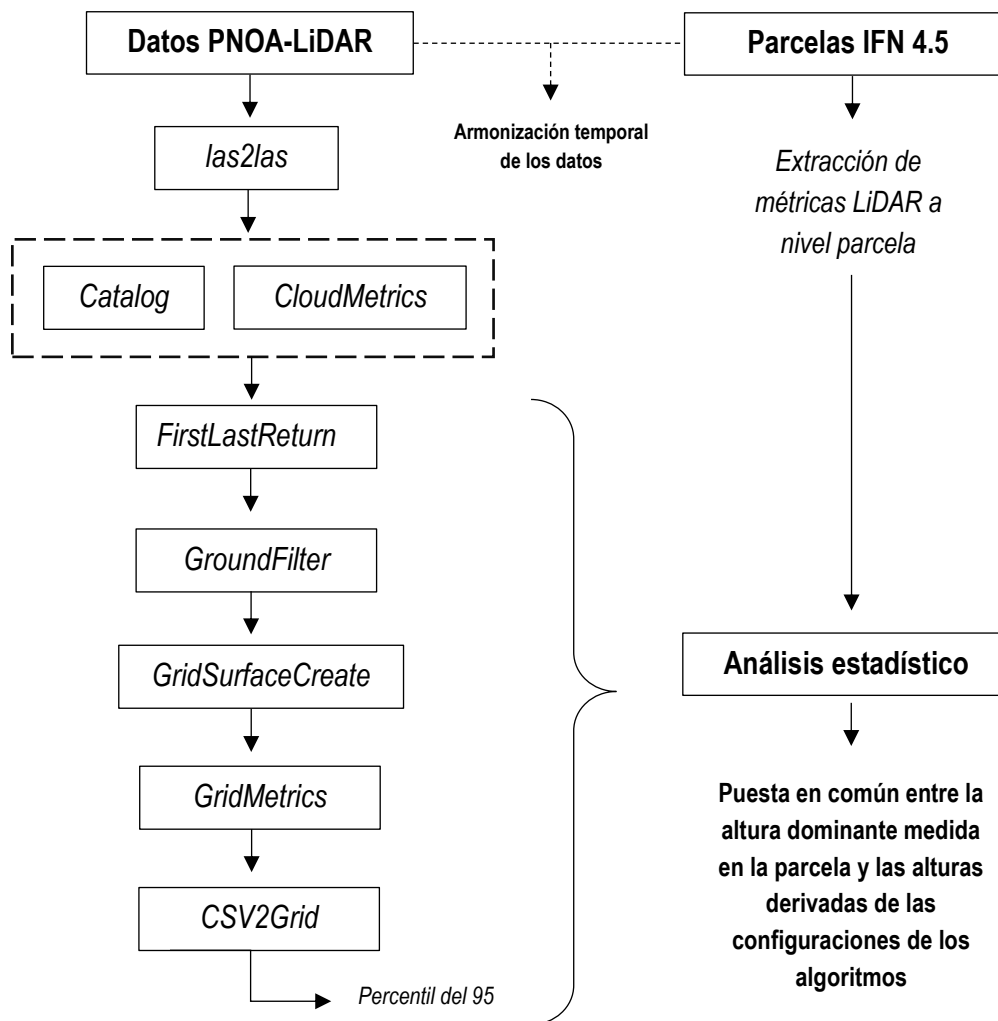


Figura 5. Flujo de procesos.

### 2.3.1.1. Descarga de los datos

Los datos LAS utilizados en el área de estudio se recopilaron durante el vuelo realizado en el año 2016 en las provincias de Lugo y Ourense, los cuales corresponden a la segunda cobertura del vuelo PNOA-LiDAR. Estos archivos se obtuvieron del [Centro Nacional de Información Geográfica \(CNIG\)](#).

Estos archivos corresponden a ficheros digitales de nubes de puntos 3D obtenidos con LiDAR y de ámbito Nacional, coloreados con color verdadero (RGB) o con infrarrojo cercano (IRC). El sistema geodésico de referencia con el cual se realizó la descarga ha sido ETRS89, proyección UTM en el huso 29 (correspondiente a la Comunidad Autónoma de Galicia).

La siguiente tabla detalla un resumen de las Especificaciones Técnicas para la realización del vuelo LiDAR en el año 2016, extraídas del ANEXO A que se encuentra en la información auxiliar del Centro de Descargas del CNIG (producto LiDAR 2ª Cobertura).

Fase/Parámetro	Especificaciones	Detalles
<b>Sistema Geodésico de Referencia</b>	ETRS89	Todo el trabajo se realizará en ETRS89, basándose exclusivamente en vértices REGENTE de la Red Geodésica Nacional
<b>Altitudes Elipsoidales</b>	Se utilizaron únicamente alturas elipsoidales referidas a ETRS89 en todos los procesos de cálculo (elipsoide GRS80)	
<b>Proyección cartográfica</b>	UTM	Huso 29 (Galicia)
<b>Distribución de hojas</b>	La distribución es en archivos de 2x2 km, en los que la esquina superior izquierda sea múltiplo par de los kilómetros	
<b>Modelo de geoide</b>	Para realizar la transformación de cotas elipsoidales a ortométricas, se utilizará el modelo de geoide EGM2008-REDNAP (Adaptación del geoide mundial EGM08 a España)	La Dirección Técnica entregará las herramientas de transformación y los ficheros del modelo de geoide
<b>Sensor</b>	Sensor LiDAR	Leica ALS80
<b>Frecuencia de escaneado</b>	El sensor tendrá una frecuencia de escaneado mínima de 70 Hz, debiendo alcanzar un mínimo de 40 Hz con un FOV de 50°	
<b>Frecuencia de pulso</b>	Mínima de 45 kHz, asumiendo un FOV de 50° y un máximo alcance de hasta 3000 metros	
<b>Resolución espacial – Densidad promedio</b>	El vuelo se ha planificado a una velocidad adecuada para garantizar un mínimo distanciamiento entre líneas de barrido que permita obtener de manera homogénea por todo su ámbito la <b>densidad promedio mínima exigida de 0,5 puntos del primer retorno por metro cuadrado sin considerar puntos de solape entre pasadas</b>	El cálculo de la densidad promedio se realizó despreciando un 2% del ancho de barrido en cada extremo. La densidad mínima de 0,5 puntos del primer retorno por metro cuadrado implica un espaciamiento entre puntos $\leq 1,41$ m
<b>Capacidad de detectar múltiples retornos para un mismo pulso</b>	Deberá ser capaz de detectar y registrar hasta 4 retornos para cada pulso con una discriminación en distancia vertical de al menos 4 m.	
<b>Condiciones meteorológicas</b>	En general, el vuelo no podrá realizarse cuando exista niebla, nieve, humo, polvo, zonas inundadas o factores medio ambientales que dificulten o degraden la precisión del sensor	
<b>Altura de vuelo</b>	Se fija en función de los siguientes parámetros: velocidad el avión, especificaciones de captura de datos del sensor LiDAR, densidad final de puntos que se pretende obtener	
<b>Dirección de las pasadas</b>	Dirección Este-Oeste siguiendo pasadas paralelas en el caso de realizar vuelo combinado.	
<b>Precisión de Postproceso de la trayectoria</b>	RMSE $\leq 10$ cm (X, Y, Z)	

Tabla 4. Resumen de las métricas de análisis láser aerotransportado (ALS).

### 2.3.1.2. Visualización de los datos LiDAR

Este es el primer paso que se debe llevar a cabo en todo flujo de procesos, aunque no es indispensable, si aconsejable. Se trata de la visualización de los datos LiDAR para su posterior procesado.

En este caso se ha utilizado la herramienta *CloudCompare*, la cual nos permite cargar una nube de puntos para su visualización; este programa permite además abrir una gran cantidad de formatos, entre los cuales se encuentra el formato LAS (\*.las o \*.laz). De esta forma, se han podido cargar los ficheros LAZ, y observar, por ejemplo, la cantidad de puntos que posee cada imagen, el valor de sus coordenadas X, Y y Z y jugar con cada imagen en un espacio tridimensional.



*Figura 6. Nube de puntos correspondiente al archivo PNOA\_2016\_GAL\_E\_566-4698\_ORT-CLA-COL.las, la cual contiene un total de 5.078.306 puntos.*

### 2.3.1.3. Descompresión de ficheros \*.laz

Ahora bien, para poder ejecutar desde línea de comandos de MS-DOS cualquier función de FUSION, es necesario previamente añadir a la variable PATH de las variables de entorno del sistema, la ruta donde tenemos alojado al software FUSION. Esto es sumamente importante a la hora de procesar grandes lotes de datos LiDAR.

Una vez ya se tiene configurado y enlazado el software con las variables de entorno, ya se está en condiciones de ejecutar cualquier comando desde la Consola de Windows. El primer paso para poder utilizar y trabajar con estos ficheros es descomprimirlos a su formato \*.las, para lo cual se ejecuta el comando **las2las**, tal como puede verse a continuación.

```
las2las -i C:\TFM\laz\*.laz -odir C:\TFM\las
```

*Comando 1. Pre - procesado de datos LiDAR.*

#### 2.3.1.4. Inspección de los ficheros \*.las

Para la inspección de los datos \*.LAS se utiliza el comando **Catalog**; no es imprescindible para obtener un MDT, pero si es útil ejecutarlo ya que produce un conjunto de informes descriptivos que describen varias características importantes del conjunto de datos LiDAR. La salida principal del comando es una página web que contiene un resumen de todos los datos evaluados (también lo proporciona en un archivo .csv) (anexo II).

```
C:\FUSION\Catalog C:\TFM\las\*.las C:\TFM\catalog\lista_las_catalog.csv
```

*Comando 2. Inspección de los datos LAS.*

#### 2.3.1.5. Estadística básica de los datos

Con el comando **CloudMetrics** calculamos una variedad de parámetros estadísticos que describen el conjunto de datos LiDAR. Las métricas se calculan utilizando elevaciones de puntos y valores de intensidad (si están disponibles).

Al igual que **Catalog**, no es un comando necesario para extraer un MDT, pero resulta útil ejecutarlo ya que proporciona un archivo de valores separados por coma (CSV), con información acerca del número de primeros, segundos, terceros, cuartos..., novenos retornos que obtuvo cada archivo LAS. También, da información acerca de la elevación mínima, máxima, media, y elevaciones en torno a todos los percentiles. Es sin dudas, el primer acercamiento estadístico que se tiene a los datos en bruto, esto es, sin procesar (anexo III).

```
C:\FUSION\CloudMetrics C:\TFM\las\*.las C:\TFM\cloudmetrics\estadisticos.csv
```

*Comando 3. Estadística básica de los datos.*

#### 2.3.1.6. Filtrado del terreno

Para que un archivo \*.LAS que proviene de un LiDAR pueda generar un MDT, es necesario realizar una separación de los impulsos que provienen del terreno y de los impulsos que provienen de la superficie sobre el terreno. Este proceso es conocido como clasificación o filtrado de impulsos y se refiere a la separación de los impulsos dependiendo de la superficie con que chocaron después de que fueron emitidos.



Para ello, en primer lugar, se realiza una separación de los primeros con los últimos retornos mediante el comando **FirstLastReturn**.

### C:\FUSION\FirstLastReturn OutputFile DataFile

*Comando 4. Separación de los primeros y últimos retornos.*

El siguiente paso consiste en filtrar una nube de retornos e identificar aquellos retornos que se encuentran en la superficie probable del suelo (puntos de tierra descubierta), utilizando en este caso el comando **GroundFilter**; este comando se utiliza solamente con los últimos retornos obtenidos anteriormente, por lo que antes de proceder a su ejecución, se deben seleccionar aquellos archivos correspondientes.

Tras una amplia búsqueda bibliográfica, se ha tratado de localizar diferentes configuraciones para la extracción de los MDT's, con el objetivo posterior de comparar la precisión entre ellos de cara a la obtención del percentil del 95 (referido a la altura dominante de una masa forestal).

```
FILTRADO DEL TERRENO - V1
C:\FUSION\GroundFilter /gparam:-1 /wparam:2 /tolerance:0.1 /iterations:10 OutputFile 2 DataFile

FILTRADO DEL TERRENO - V2
C:\FUSION\GroundFilter /gparam:-3 /wparam:0.0 /tolerance:0.1 /iterations:3 OutputFile 1 DataFile

FILTRADO DEL TERRENO - V3
C:\FUSION\GroundFilter /gparam:-2.5 /wparam:0.5 /tolerance:0.1 /iterations:5 OutputFile 3 DataFile

FILTRADO DEL TERRENO - V4
C:\FUSION\GroundFilter /gparam:-2.0 /wparam:1.0 /tolerance:0.1 /iterations:7 OutputFile 5 DataFile
```

*Comando 5. Filtrado del terreno.*

De esta forma, se han configurado cuatro algoritmos en función de diferentes configuraciones de filtrado. La configuración de cada parámetro y los 'switches' utilizados se detallan a continuación.

- **OutputFile:** nombre del archivo de salida (extensión \*.las).
- **InputFile:** archivos de entrada (últimos retornos obtenidos tras el proceso de FirstLastReturn).
- **gparam:#** Valor para el parámetro g de la ecuación de peso. El valor predeterminado es -2.0.
- **wparam:#** Valor para el parámetro w de la ecuación de peso. El valor predeterminado es 2.5.

- *tolerance:#* Valor de tolerancia para el filtrado final de los puntos de suelo; si no se especifica ninguna tolerancia, el valor de peso se utiliza para filtrar puntos. 7
- *iterations:#* Número de iteraciones para la lógica de filtrado. El valor predeterminado es 5.
- *Cellsize:* entre el OutputFile y el DataFile se especifica el tamaño de celda utilizado en cada configuración.

### 2.3.1.7. Modelo digital del terreno

El resultado del proceso de **GroundFilter** son archivos que contienen solo aquellos puntos clasificados como retornos de tierra almacenados. Dichos puntos son utilizados para generar un modelo de superficie terrestre, mediante la utilización del comando **GridSurfaceCreate**.

```

MODELO DIGITAL DEL TERRENO V1
C:\FUSION\GridSurfaceCreate /median:8 /spike:20 SurfaceFile 2 m m 1 29 2 2 DataFile

MODELO DIGITAL DEL TERRENO V2
C:\FUSION\GridSurfaceCreate /median:5 SurfaceFile 1 m m 1 29 0 0 DataFile

MODELO DIGITAL DEL TERRENO V3
C:\FUSION\GridSurfaceCreate /median:5 SurfaceFile 3 m m 1 29 0 0 DataFile

MODELO DIGITAL DEL TERRENO V4
C:\FUSION\GridSurfaceCreate /median:5 SurfaceFile 5 m m 1 29 0 0 DataFile

```

*Comando 6. Modelo Digital del Terreno.*

Este comando crea un modelo de superficie cuadrículada utilizando colecciones de puntos aleatorios. El modelo de superficie se almacena en formato \*.dtm, utilizando valores de elevación de punto flotante. La configuración de cada parámetro utilizado se detalla a continuación.

- SurfaceFile: nombre del archivo de salida (extensión \*.dtm).
- Cellsize: tamaño de celda.
- xyunits: unidades para datos LiDAR X e Y (en metros).
- zunits: unidades para elevaciones de datos LiDAR (en metros).
- coordsys: sistema de coordenadas (0 para desconocido, 1 para UTM, 2 para plano estatal)
- zone: sistema de coordenadas para la superficie (0 para desconocido).
- horizdatum: datum horizontal de la superficie (0 para desconocido, 1 para NAD27, 2 para NAD83).

- `vertdatum`: datum vertical de la superficie (0 para desconocido, 1 para NGVD29, 2 para NAVD88, 3 para GRS80).
- `DataFile`: archivos de entrada, siendo en este caso los archivos \*.las obtenidos como resultado del proceso **GroundFilter**.

### 2.3.1.8. Obtención de métricas LiDAR

Una vez obtenidos los diferentes MDT's, el siguiente paso es generar una serie de estadísticas descriptivas para el conjunto de datos. Para ello se utiliza el comando **GridMetrics**, el cual calcula las métricas LiDAR para todos los retornos dentro de cada celda en la cuadrícula de salida; de esta forma se consigue entrenar la base de datos para luego ajustar un modelo estadístico. La salida por defecto de GridMetrics es un archivo de texto ASCII con valores separados por comas (formato CSV).

```
ALGORITMO V1
C:\FUSION\GridMetrics /outlier:-5,50 /minht:2 /strata:2,50 /first GroundFile 2 25 OutputFile DataFile 1

ALGORITMO V2
C:\FUSION\GridMetrics /outlier:-5,50 /minht:2 /strata:2,50 /first GroundFile 1 25 OutputFile DataFile 1

ALGORITMO V3
C:\FUSION\GridMetrics /outlier:-5,50 /minht:2 /strata:2,50 /first GroundFile 3 25 OutputFile DataFile 1

ALGORITMO V4
C:\FUSION\GridMetrics /outlier:-5,50 /minht:2 /strata:2,50 /first GroundFile 5 25 OutputFile DataFile 1
```

*Comando 7. Obtención de Métricas LiDAR.*

La configuración de cada algoritmo se basa en los siguientes parámetros:

- `GroundFile`: archivo de entrada correspondiente al MDT obtenido como resultado del comando **GridSurfaceCreate**.
- `OutputFile`: nombre base para el archivo de salida. Las métricas se almacenan en formato CSV (extensión .csv); las demás salidas se almacenan en archivos con el nombre base y con información descriptiva adicional.
- `DataFile 1`: archivos correspondientes a los primeros datos LiDAR (formato \*.las).
- `outlier`: omite los puntos con elevaciones por debajo de un cierto valor.
- `minht`: altura mínima de los puntos utilizada para calcular la métrica; la densidad se calcula siempre utilizando todos los puntos, incluidos los que tienen alturas inferiores a la altura mínima especificada.
- `strata`: da el límite superior para cada estrato; los retornos se cuentan si su altura es mayor o igual al límite inferior y menor al límite superior. El primer estrato

contiene puntos inferiores al primer límite, y el último estrato contiene puntos mayores o iguales al último límite.

- `first`: se utiliza este switch para especificar que se utilicen sólo los primeros retornos para calcular todas las métricas; si no se especifica, por defecto, se utilizan todos los retornos.

Tal y cómo puede observarse en las configuraciones de los diferentes algoritmos, se ha bloqueado la resolución espacial a la que generamos las métricas (25 metros/píxel). De esta forma, los diferentes resultados que obtendremos de cada algoritmo dependerán únicamente de la configuración establecida para la extracción de cada uno de los MDT's.

Las métricas de la nube de puntos se almacenan en dos archivos; por un lado, el primero de ellos se identifica como 'elevación\_estadística', mientras que el segundo como 'intensidad\_estadística'. Para convertir los datos almacenados en formato CSV al formato rasterizado ASCII, se deben filtrar todos los ficheros denominados como 'elevación\_estadística' (*elevation\_stats.csv*).

A partir del comando **CSV2Grid** se calculará la métrica (ráster) correspondiente al percentil del 95, con el que posteriormente se hará una comparación con respecto a la altura dominante registrada en campo con las parcelas del IFN 4.5.

```
C:\FUSION\CSV2Grid inputFile 37 outputFile
```

*Comando 8. Obtención del percentil del 95.*

La configuración del comando es similar en los cuatro algoritmos (cambiando las rutas de entrada y salida). El `inputFile` se corresponde con el nombre del archivo CSV de entrada, es decir, el archivo que se obtuvo como resultado del proceso de **GridMetrics**. El número 37 hace referencia al código que se ha de emplear para calcular el percentil del 95 (McGaughey, 2018). Por último, en `OutputFile` se indica el nombre para el archivo ráster de salida.

Los códigos completos utilizados en cada comando pueden ser visualizados en el Anexo I.

### **2.3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Una vez que se ha extraído la métrica del percentil del 95 correspondiente a la altura dominante mediante los datos PNOA-LiDAR, se obtienen posteriormente las métricas LiDAR a nivel parcela a partir de la intersección del perímetro de estas. A partir de estos datos, se ha realizado una puesta en común entre la altura dominante medida en la parcela (`Hdom_LiDAR`) y

las alturas correspondientes al percentil del 95 derivadas de cada una de las configuraciones de los cuatro algoritmos de filtrado ensayados.

A continuación, se realizaron análisis de regresión lineal con el propósito de conocer la capacidad del ajuste en predicción de la altura dominante para cada uno de los algoritmos ensayados en el estudio. Para ello, se obtuvieron estadísticos de bondad del ajuste tales como coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y raíz del error medio cuadrático expresado en términos relativos (%RMSE).

Posteriormente, los datos se examinaron mediante el análisis de la varianza, conocido también como ANOVA, para identificar cualquier diferencia estadística significativa entre los algoritmos propuestos en relación con la altura dominante<sup>2</sup> registrada en campo en las parcelas del IFN 4.5.

Antes de llevar a cabo el ANOVA, se ha realizado una normalización (tipificación) de los datos mediante la prueba Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965). Esta prueba se utiliza para contrastar la normalidad de un conjunto de datos, de una población normalmente distribuida. Cuando los resultados de esta prueba indicaron incumplimientos de los supuestos, las variables fueron sometidas a una transformación logarítmica natural, y posteriormente, se realizó un análisis de la varianza, en conjunto con la prueba de Tukey.

Del mismo modo, se construyeron diagramas de caja para cada variable con el fin de facilitar la interpretación de los resultados.

Todos los análisis estadísticos fueron realizados mediante la utilización del software estadístico R (R Core Team, 2018), y con la utilización de los diferentes paquetes estadísticos que fueron necesarios descargar para su utilización.

Variable	<i>Pinus pinaster</i>			<i>Pinus radiata</i>			<i>Eucalyptus globulus</i>		
	H0	N	P	H0	N	P	H0	N	P
<b>Min</b>	3.40	14.15	1.84	6.10	56.59	0.97	8.30	31.83	1.81
<b>T1</b>	10.78	371.36	17.59	19.28	321.71	12.22	18.72	712.60	21.07
<b>T2</b>	18.19	723.34	31.21	23.40	612.15	20.86	26.60	1109.20	36.91
<b>Max</b>	31.03	2843.57	69.55	39.20	1773.48	59.43	41.63	2526.81	60.41

Tabla 5. Estadísticos de bondad de ajuste considerando la totalidad de los datos analizados.

<sup>2</sup> Altura Dominante (H0) es la altura de los pies más altos de la masa; según el criterio de Assmann es la altura media de los cien pies más altos por hectárea.

### **2.3.3. MAPEADO**

Los mapas e imágenes generados para el presente trabajo fueron elaborados por medio del software QGIS® desarrollado por la Fundación OSGeo, de licencia gratuita y código abierto.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los modelos de regresión lineal se utilizaron para establecer relaciones empíricas entre los diferentes modelos de algoritmos y las diferentes especies forestales. La expresión general, considerando conjuntamente la totalidad de los datos analizados es la siguiente:  $Y = 0,9501X + 1,6742$  (tabla 6).

<b>N datos</b>	171
<b>H0 LiDAR_mean</b>	18,6683
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8789
<b>BIAS</b>	-0,7808
<b>MAE</b>	2,0880
<b>RMSE</b>	2,8192
<b>% MAE</b>	11,1847
<b>% RMSE</b>	15,1015

Tabla 6. Estadísticos de bondad de ajuste considerando la totalidad de los datos analizados.

La tabla 6 refleja que la cantidad de datos analizados conjuntamente, teniendo en cuenta las tres especies forestales y los cuatro modelos de algoritmos para la extracción de los MDT's ha sido de 171. La altura dominante media medida para el conjunto de parcelas ha sido de 18,6683 m., con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,8789. Por otro lado, el Sesgo (BIAS), es una medición de la exactitud del sistema de medición y representa al error sistemático del sistema, es decir, es la contribución al error total debido a los efectos combinados de todas las fuentes de variación. El MAE (*Mean Absolute Error*) es una medida de la diferencia entre dos variables continuas; cuanto mayor es este valor, mayor es la dispersión entre los datos reales y los de la predicción. Por último, el RMSE (*Root mean square error*), es una medida de uso frecuente de las diferencias entre los valores (de muestra) predichos por un modelo y los valores observados; esta diferencia se eleva al cuadrado y luego se promedian sobre la muestra, calculándose finalmente el valor resultante. El MAE y el RMSE se pueden usar juntos para diagnosticar la variación de errores de una previsión; el RMSE siempre será mayor o igual que el MAE, cuanto mayor sea la diferencia entre ambos, mayor será la variación en los errores individuales en la muestra.

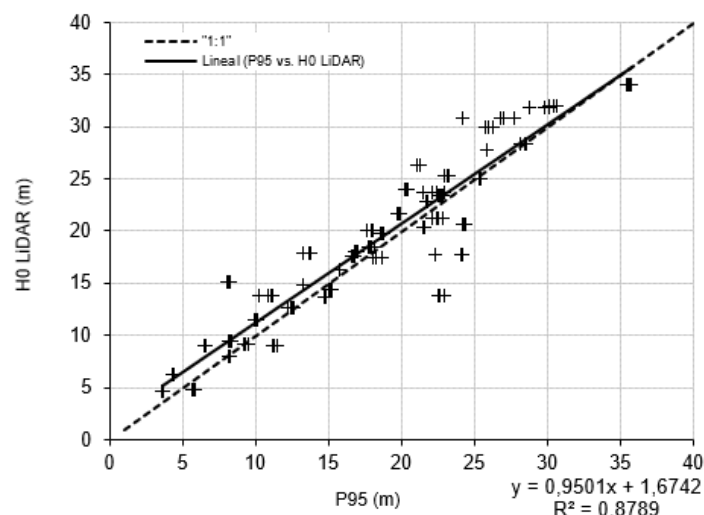


Figura 7. P95 previsto frente a la altura dominante registrada en campo (IFN 4.5).

La línea sólida representa el modelo lineal ajustado a la gráfica de dispersión de datos y la línea discontinua representa la línea de pendiente igual a 1.

De todas formas, la comparación de las estimaciones para los modelos seleccionados se basó en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Se han realizado comparaciones entre 'especies (considerando todos los algoritmos)' y entre 'especie y algoritmo' (tablas 7 y 8, respectivamente).

Algoritmo 1 + Algoritmo + Algoritmo 3 + Algoritmo 4	
<i>E. globulus</i>	0,8257
<i>P. pinaster</i>	0,9445
<i>P. radiata</i>	0,8592

Tabla 7. Coeficiente de determinación para las comparaciones entre especies, considerando todos los algoritmos.

	Algoritmo 1	Algoritmo 2	Algoritmo 3	Algoritmo 4
<i>E. globulus</i>	0,7785	0,8155	0,8397	0,8716
<i>P. pinaster</i>	0,9453	0,9444	0,9449	0,9437
<i>P. radiata</i>	0,8565	0,8585	0,8612	0,8612

Tabla 8. Coeficiente de determinación para las comparaciones entre especie y algoritmo.

Tal y como puede observarse en las tablas 7 y 8, los mejores resultados para la estadística de bondad de ajuste en cuanto a las comparaciones entre 'especie y algoritmo' se resumen de la siguiente manera: (i) para el algoritmo 1 y la especie *Pinus pinaster*, el modelo produjo el mayor valor de  $R^2$ , siendo este de 0,9453. (ii) para el algoritmo 3 y la especie *P. pinaster* el modelo produjo un valor de  $R^2$  de 0,9449, al cual le sigue para el mismo algoritmo, *P. radiata* con un  $R^2$  de 0,8612. (iii) para el algoritmo 2 y la especie *P. pinaster* se obtuvo un valor de  $R^2$  de 0,9444, al cual le sigue *P. radiata* con un  $R^2$  de 0,8585 y luego *E. globulus* con un  $R^2$  de 0,8155. (iv) para el algoritmo 4 y la especie *P. pinaster* el modelo obtuvo un  $R^2$  de 0,9437, al cual le sigue *E. globulus* con un  $R^2$  de 0,8716 y luego *P. radiata* con un  $R^2$  de 0,8612.



Se observa que las mejores configuraciones se han obtenido teniendo en cuenta a la especie *P. pinaster* y combinándolo con los diferentes algoritmos de extracción del MDT. En *E. globulus* y *P. radiata* parece ser que el  $R^2$  más elevado se obtiene cuando se comparan con el algoritmo 4, obteniendo un  $R^2$  de 0,8716 y 0,8612, respectivamente.

Por otro lado, las comparaciones entre 'especies y todos los algoritmos' arrojan los siguientes resultados: (i) para la especie *Pinus pinaster* y los cuatro algoritmos, el modelo produjo nuevamente el mayor valor de  $R^2 = 0,9445$ . (ii) para la especie *Pinus radiata* y los cuatro algoritmos, el modelo un valor de  $R^2$  de 0,8592. (iii) para *E. globulus* y los cuatro algoritmos se obtuvo un valor de  $R^2$  de 0,8257.

Estos resultados demuestran que la estadística de bondad de ajuste de los modelos ajustados fue más alta para *P. Pinaster* con todos los algoritmos utilizados, pero sobre todo cuando se compara con el algoritmo 1. Por otro lado, *E. globulus*, siempre ha dado un  $R^2$  más pobre de bondad de ajuste, pero, sin embargo, los resultados han sido siempre por encima de un  $R^2 = 0,77$ . Esto puede deberse a que los pulsos LiDAR penetran con mayor facilidad en las masas de *P. pinaster*, posiblemente debido a su baja densidad de copas, ya que sus hojas son muy finas y rígidas y sus copas claras, permitiendo que lleguen al suelo una mayor cantidad de ecos lo que conduce a una mayor capacidad y calidad en la extracción del MDT.

*E. globulus* debería funcionar de igual forma que *P. pinaster* por la forma de la copa (más abierta y clara) en contraste con *P. radiata* que presenta una copa más densa, pero según los resultados obtenidos de la estadística de bondad de ajuste para esta especie vemos que obtiene los resultados más bajos. Esto podría deberse a que el eucalipto, por naturaleza, explora y asienta en suelos con mayores pendientes (ver tabla 5) y condiciona la cantidad de puntos que llegan al suelo (a mayor pendiente, mayor dificultad en la interpolación de los últimos retornos y, por consiguiente, mayor imprecisión en la extracción del MDT).

Hyypä et al. (2005) y Sithole & Vosselman (2004), señalan que existen muchos factores que pueden afectar el proceso de extracción de MDT en terreno boscoso (tales como la pendiente, la cubierta forestal, pendiente del terreno, entre otros). De la misma forma, Fisher & Tate (2006) y Meng et al. (2010) han demostrado que la precisión del MDT tiende a deteriorarse con el aumento de la pendiente del terreno, lo que podría afirmar lo señalado en este estudio.

El análisis gráfico de los valores observados con respecto a los valores previstos de P95, teniendo en cuenta las comparaciones entre 'especies, considerando todos los algoritmos' y entre 'especie y algoritmo' se muestran en las figuras 8 y 9, respectivamente.

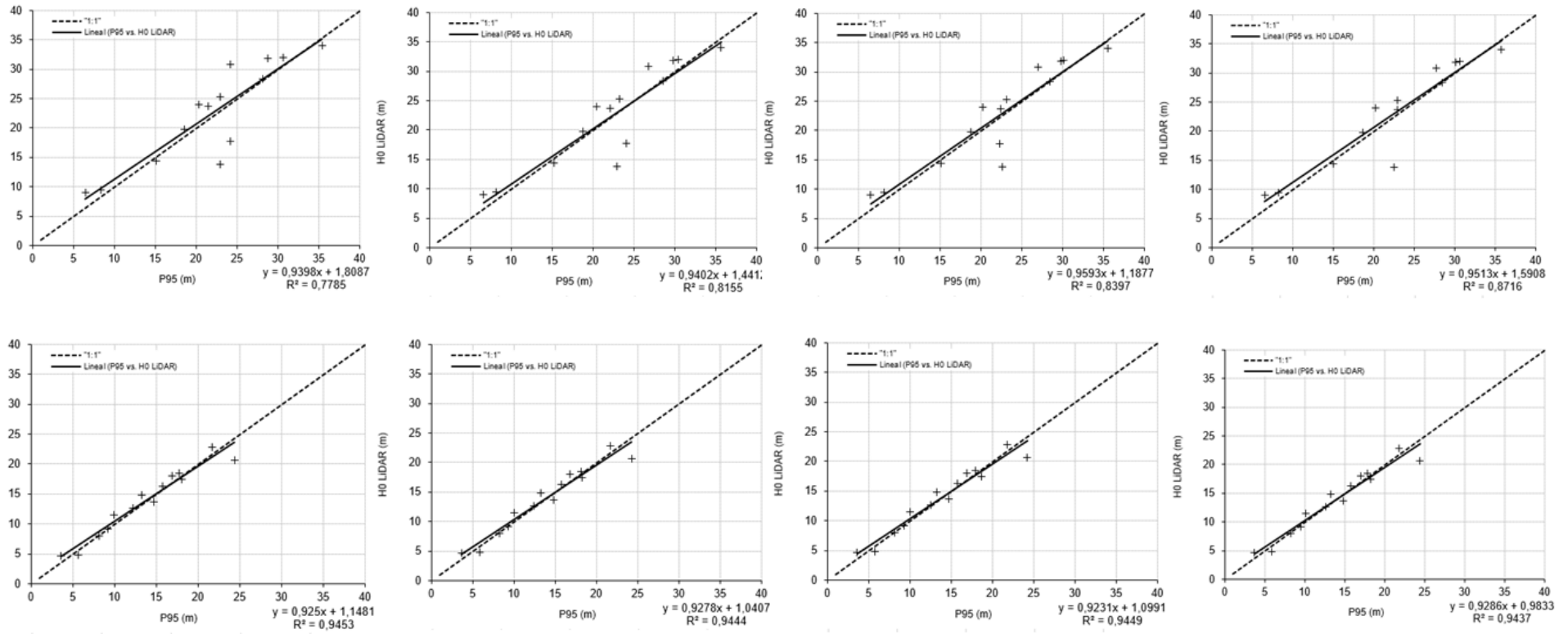


Figura 8. Cont.

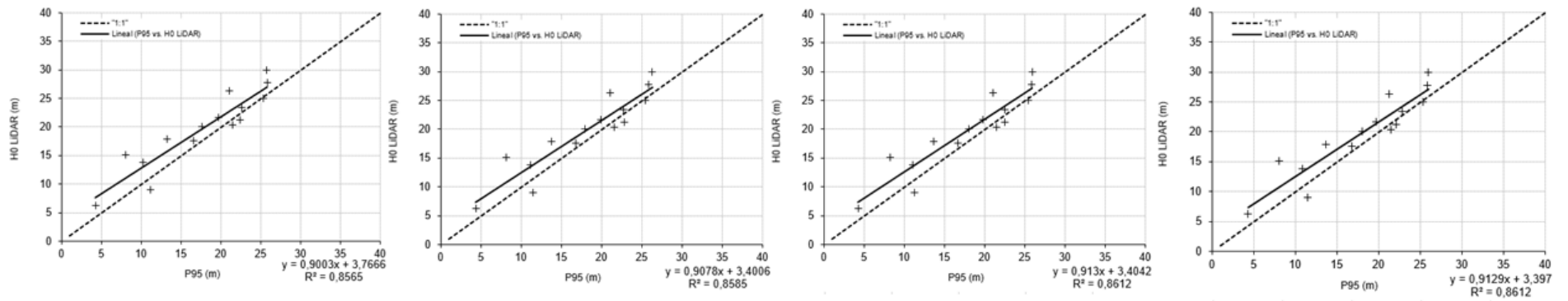


Figura 8. P95 previsto frente a la altura dominante registrada en campo (IFN 4.5) en *E. globulus* (fila 1), *P. Pinaster* (fila 2) y *P. Radiata* (fila 3), en relación con los algoritmos 1, 2, 3 y 4 (columnas).

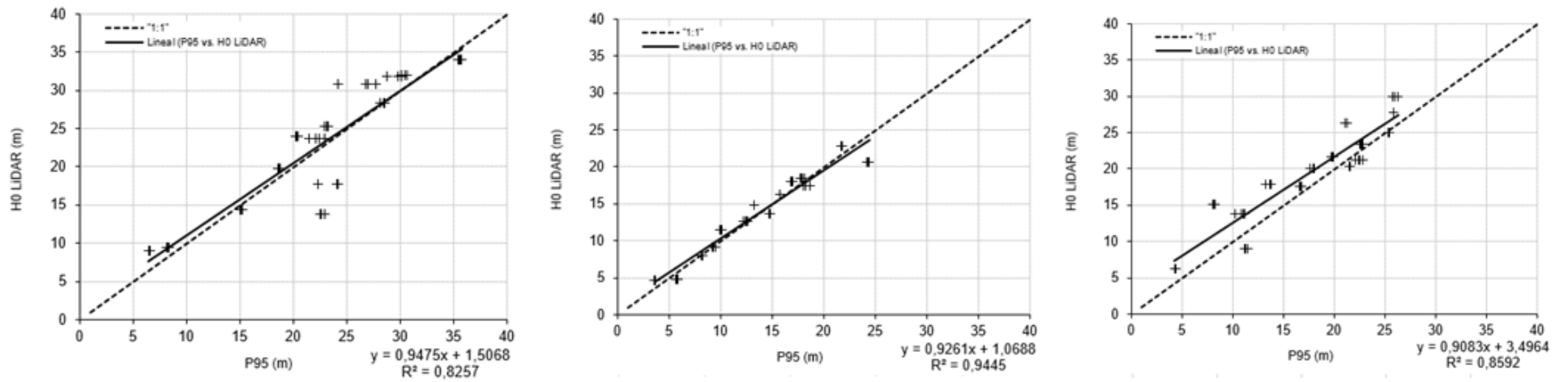


Figura 9. P95 previsto frente a la altura dominante registrada en campo (IFN 4.5) en *E. globulus*, *P. pinaster* y *P. radiata* (de izquierda a derecha) en relación con los cuatro algoritmos.

Se han realizado tres análisis ANOVA (Figuras 10 y 11): uno correspondiente a las especies forestales (ANOVA by specie), el segundo de ellos correspondiente a los algoritmos (ANOVA by Algorithm) y el tercero de ellos correspondiente a los terciles correspondientes a las variables altura dominante ( $H_0$ ), densidad (N) y pendiente (S) (ANOVA by Tercil).

Tras ejecutar el análisis ANOVA correspondiente a las especies forestales, se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre las diferentes especies; concretamente entre el *P. pinaster* (especie 26) y *E. globulus* (especie 61) (grupo b) respecto a *P. radiata* (especie 28) (grupo a). Esto es consecuencia de la mayor dificultad a la penetrabilidad de los pulsos LiDAR en *P. radiata*, debido a que sus copas son más densas en relación con las otras dos especies. El dosel de copas más denso tiende a bloquear una gran proporción de los pulsos LiDAR, evitando así que puedan llegar al suelo, lo que dificulta la extracción de un MDT.

Por otro lado, el resultado del análisis ANOVA correspondiente a los algoritmos, indica que para este estudio no existen diferencias estadísticas significativas entre los mismos. El hecho de que no existan diferencias estadísticas significativas implica que el comportamiento medio de los algoritmos es similar. Algunas de las causas de dichos resultados pueden deberse a la baja densidad de puntos, así como también a posibles problemas derivados de la armonización temporal realizada en las fuentes de datos. De esto último hay que destacar que la altura dominante ha sido proyectada hacia atrás en el tiempo al vuelo del sensor (de 2018 a 2016), reduciendo dicha altura, siendo esto una posible fuente de error.

También puede suceder que el comportamiento de las diferentes configuraciones de los algoritmos de lugar a que sea errático, es decir, que tiendan al final a compensarse esas diferencias (entre parcelas) que se puedan establecer entre los diferentes algoritmos y que acaben convergiendo desde el punto de vista de tendencia central.

Dicho esto, se considera que para captar diferencias estadísticas significativas harían falta disponer de datos con mayor nivel de precisión, esto es, una mayor densidad de puntos. De todas formas, cuando se realiza la estadística de bondad de ajuste en cuanto a las comparaciones entre 'especie y algoritmo', se pudo comprobar que cada especie funcionó distinta con cada algoritmo, donde los mayores problemas se han visto en el ajuste del algoritmo para las pendientes asociadas a las masas de eucalipto. Es más, si se comparan conjuntamente las especies, los algoritmos y las pendientes, podemos observar que los algoritmos funcionan mejor cuando la pendiente es menor (una orografía más suave, da lugar a que la extracción de los MDT funcione mejor). Si bien

el ANOVA no ha detectado dichas diferencias, en el análisis estadístico por regresión lineal pueden observarse diferentes capacidades de ajuste entre especies y algoritmos.

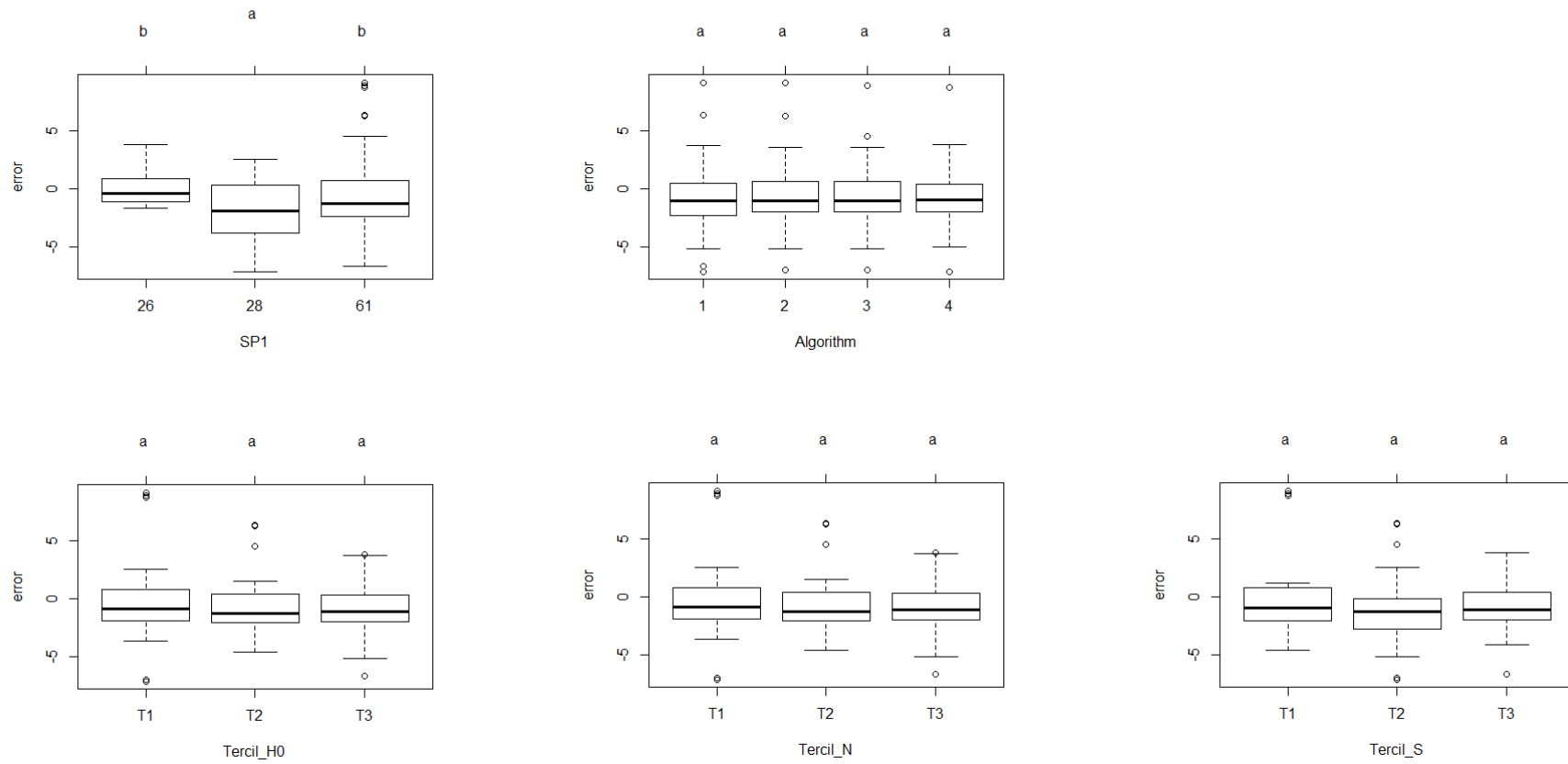
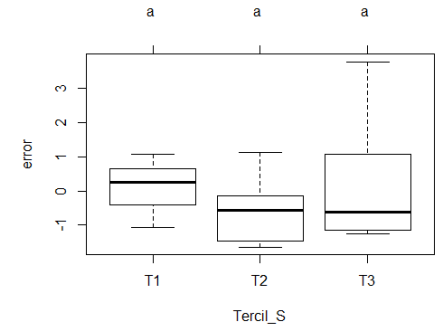
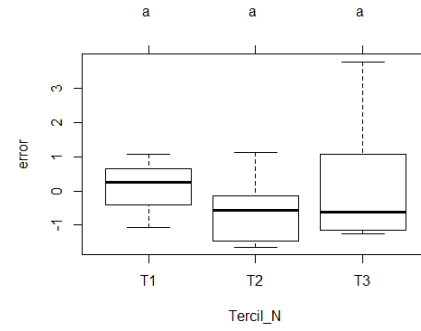
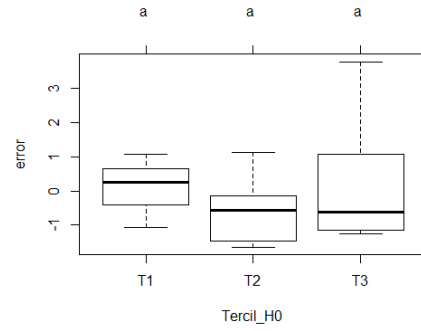
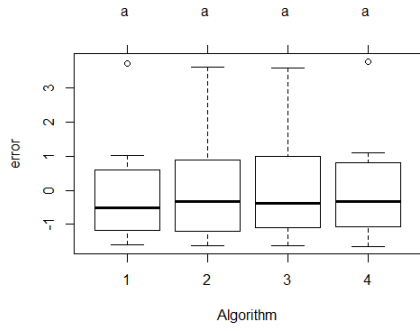
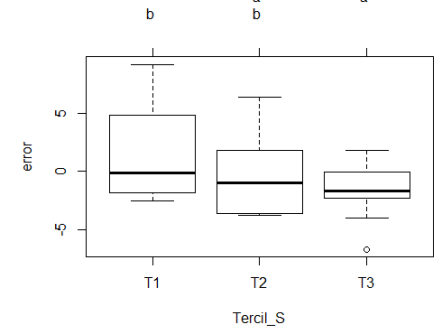
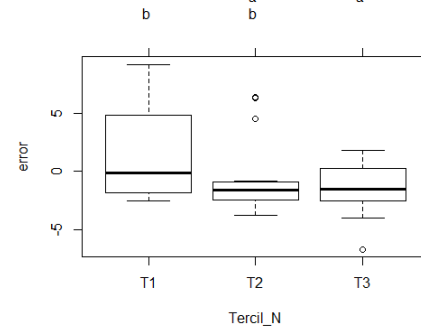
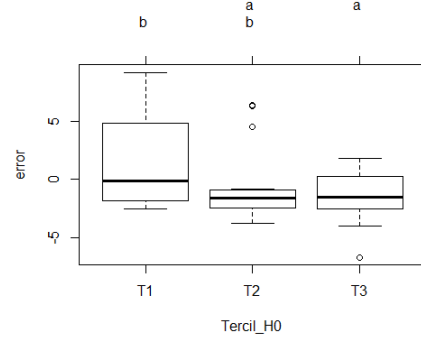
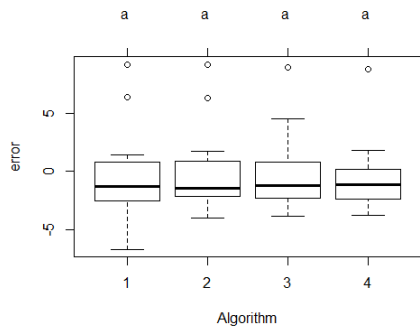


Figura 10. Diagramas de caja y bigotes para todo el conjunto de datos. Diferentes letras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre categorías.



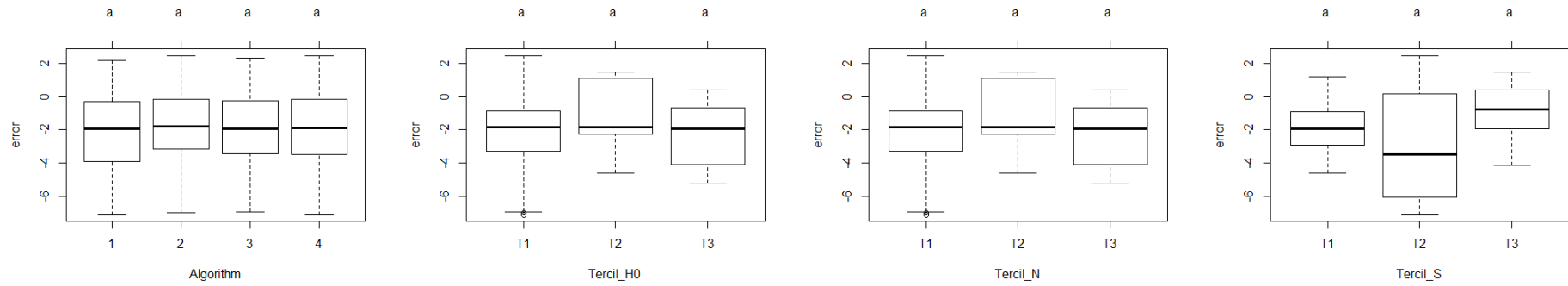


Figura 11. Diagramas de caja y bigotes para, *E. globulus*, *P. pinaster* y *P. radiata* y (en filas) algoritmos y tertiles (columnas). Diferentes letras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre categorías.



## 4. CONCLUSIONES

Durante los últimos veinte años, los sistemas LiDAR aerotransportados se han utilizado en muchas disciplinas como una herramienta de recogida automática y eficiente de datos espaciales con coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . A través del presente trabajo fin de máster, se han presentado diferentes parametrizaciones de algoritmos, prestando especial atención al tratamiento previo de las nubes de puntos, para la extracción de modelos digitales del terreno bajo arbolado, a partir de la armonización de datos PNOA-LiDAR y parcelas del Inventario Forestal Nacional Forestal 4.5 en terrenos boscosos.

Frente a otras aplicaciones que utilizan altas densidades de puntos y/o están desarrolladas en entornos forestales de estructuras homogéneas, el punto fuerte de este estudio radica en el uso de datos de baja densidad de puntos en entornos forestales heterogéneos, donde la investigación está mucho menos desarrollada.

Una de las principales debilidades de este estudio ha sido la falta de simultaneidad temporal entre el vuelo LiDAR del PNOA (año 2016) y las parcelas forestales del IFN-4 (año 2018). Para intentar subsanar dicho desfase, se ha realizado una armonización temporal de las bases de datos referida a la altura dominante, lo que posiblemente haya sido una fuente de ruido para los análisis estadísticos realizados. Si bien los datos LiDAR del PNOA constituyen una nueva fuente de información topográfica de carácter público con un potencial que aún debe explotarse mucho más, es cierto que para muchas partes del territorio nacional se tienen vuelos que ya han quedado obsoletos en el tiempo; siendo ésta una de las principales debilidades de la cobertura nacional PNOA-LiDAR.

Otra limitante que se ha visto en base a los resultados obtenidos es la baja densidad de puntos de que se dispone. En el caso de que en este estudio no se hayan encontrado diferencias estadísticas significativas entre la parametrización de los algoritmos, es en parte debido a que, con esta densidad, pesa más la especie y la orografía que el propio algoritmo, ya que como se ha visto, para cada especie existe un algoritmo que funciona mejor, pero cuando se trabaja a nivel territorio, contabilizando la totalidad de las especies, no tienen efecto los mismos.

Este trabajo ha profundizado en la aplicación de los datos públicos PNOA-LiDAR, que son de baja densidad, en terrenos boscosos y de vegetación heterogénea, proporcionando un primer

enfoque sobre diferentes parametrizaciones de modelos digitales del terreno en estos territorios, complementando dicho estudio con datos de campo provenientes del Inventario Forestal Nacional 4.5. De esta forma, se ha intentado mostrar algunas de las potencialidades que se tienen para ello, como así también las posibles limitaciones. Podría decirse que este estudio podría ser el inicio de otras investigaciones más prometedoras, existiendo algunas posibles líneas de mejora a considerar en futuros trabajos, las cuales se comentan a continuación:

- En primer lugar, poder realizar un vuelo LiDAR específico para la zona de estudio, considerando masas de diferentes especies arbóreas, así como terrenos con diferentes grados de pendiente.
- Por otro lado, probar dicho estudio con mayores densidades de puntos, ya que se ha observado que esto fue uno de los condicionantes principales.
- Por último, y no menos importante, considero que para obtener resultados concluyentes sería necesario realizar parcelas de campo específicas para cada especie, procurando que el año de vuelo LiDAR y el inventario forestal coincidan en la misma escala temporal.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Akay, A. E., Oğuz, H., Karas, I. R., & Aruga, K. (2009). Using LiDAR technology in forestry activities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 151(1–4), 117–125.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-008-0254-1>
- Fagua, J., Campo, A., & Posada, E. (2011). Desarrollo de dos metodologías para la generación de modelos digitales de terreno (MDT) y superficie (MDS) empleando datos LiDAR y programas de licencia. *Análisis Geográfico*, 49(May), 83–95.
- Farias, B., Márquez, A., Rey-Lago, D., & Guevara, E. (2018). Characterization spatio-temporal land use in watershed using geomatic techniques. *INGENIERÍA UC*, 25(1).
- Fisher, P. F., & Tate, N. J. (2006). Causes and consequences of error in digital elevation models. *Progress in Physical Geography*, 30(4), 467–489.  
<https://doi.org/10.1191/0309133306pp492ra>
- Grupo Tragsa. (2018). *Empleo de la tecnología LiDAR para el seguimiento ecológico: aplicación piloto para la Red de Parques Nacionales y comparativa con los datos LiDAR del PNOA*.
- Hyypä, H., Yu, X., Hyypä, J., Kaartinen, H., Kaasalainen, S., Honkavaara, E., & Rönholm, P. (2005). Factors affecting the quality of DTM generation in forested areas. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, November, 85–90.  
<https://doi.org/10.3390/s120506347>
- Kraus, K., & Pfeifer, N. (2001). Advanced Dtm Generation From Lidar Data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIV(January 2001), 22–24.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Lekuona Zuazo, I., Montealegre Gracia, A. L., & Lamelas Gracia, M. T. (2017). CARTOGRAFÍA DE LA BIOMASA AÉREA TOTAL EN MASAS DE PINUS RADIATA D. DON MEDIANTE ANÁLISIS MULTIVARIANTE A PARTIR DE DATOS PÚBLICOS LiDAR (PNOA) E IFN 4. *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 20, 87–107. <https://doi.org/10.21138/gf.539>
- Maguya, A. S., Junttila, V., & Kauranne, T. (2014). Algorithm for extracting digital terrain models under forest canopy from airborne LiDAR data. *Remote Sensing*, 6(7), 6524–6548.  
<https://doi.org/10.3390/rs6076524>
- McGaughey, R. J. (2018). *FUSION / LDV : Software for LIDAR Data Analysis and Visualization*.

U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station,  
University of Washington, Seattle, WA, USA. August, 123.

[http://forsys.cfr.washington.edu/Software/FUSION/FUSION\\_manual.pdf](http://forsys.cfr.washington.edu/Software/FUSION/FUSION_manual.pdf)

- Meng, X., Currit, N., & Zhao, K. (2010). Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing*, 2(3), 833–860. <https://doi.org/10.3390/rs2030833>
- Montealegre Gracia, A. L. (2017). *Aplicaciones forestales de los datos LiDAR-PNOA en ambiente mediterráneo: su filtrado e interpolación y el modelado de parámetros estructurales con apoyo en trabajo de campo*. Universidad de Zaragoza.
- Novo-Fernández, A., Barrio-Anta, M., Recondo, C., Cámara-Obregón, A., & López-Sánchez, C. A. (2019). Integration of national forest inventory and nationwide airborne laser scanning data to improve forest yield predictions in north-western Spain. *Remote Sensing*, 11(14), 1–25. <https://doi.org/10.3390/rs11141693>
- Pérez Alberti, A. (2002). Análisis geomorfológico y evolución paleoclimática de Galicia durante el Terciario y Cuaternario. *Semata: Ciências Sociais e Humanidades*, 13, 11–66.
- R Core Team. (2018). A Language and Environment for Statistical Computing. In *R Foundation for Statistical Computing* (Vol. 2). <http://www.r-project.org>
- Rodríguez, M. a., & Ramil-Rego, P. (2008). Fitogeografía de Galicia (NW Ibérico): análisis histórico y nueva propuesta corológica. *Recursos Rurais*, 1(4), 19–50.
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3–4), 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Sithole, G., & Vosselman, G. (2004). Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59(1–2), 85–101. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2004.05.004>
- Tomé Morán, J. L., Sanjuanbenito García, P., & Fernández Landa, A. (2013). Cartografía de Vegetación de la Comunidad de Madrid utilizando información LiDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Área (PNOA). In S. E. de C. Forestales (Ed.), *6º Congreso Forestal Español* (pp. 1–14).
- van Leeuwen, M., & Nieuwenhuis, M. (2010). Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing. *European Journal of Forest Research*, 129(4), 749–770. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0381-4>

## 6. ANEXOS

### 6.1. ANEXO I. COMANDOS UTILIZADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE LOS MDT'S Y EXTRACCIÓN DEL PERCENTIL DEL 95.

DESCOMPRESIÓN DE FICHEROS \*.laz

```
las2las -i C:\TFM\laz\*.laz -odir C:\TFM\desarrollo\las
```

INSPECCIÓN DE LOS FICHEROS \*.las

```
C:\FUSION\Catalog C:\TFM\las\*.las C:\TFM\catalog\lista_las_catalog.csv
```

ESTADISTICA BÁSICA DE LOS DATOS

```
C:\FUSION\CloudMetrics C:\TFM\las\*.las C:\TFM\cloudmetrics\estadisticos.csv
```







































## 6.2. ANEXO II. RESULTADO DE LA EJECUCIÓN DEL COMANDO 'CATALOG'.

FileName	ModDateChkSum	MinX	MinY	MinZ	MaxX	MaxY	MaxZ	PtDensity	#Pts
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_566-4698_ORT-CLA-COL.Ias	-2082110211	5660000000	4696000000	1465000	5679999900	4697999900	6545400	12696	5078306
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_574-4682_ORT-CLA-COL.Ias	1900163991	5740000000	4680000000	993000	5759999900	4681999900	5554600	13233	5293215
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_580-4652_ORT-CLA-COL.Ias	-859376901	5800000000	4650000000	6452400	5819999900	4651999900	12730200	16203	6481265
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_580-4684_ORT-CLA-COL.Ias	-1481138149	5800000000	4682000000	2378200	5819999900	4683999900	4761900	13133	5252993
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_584-4684_ORT-CLA-COL.Ias	325644749	5840000000	4682000000	3004800	5859999900	4683999900	13273500	13631	5452490
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_594-4772_ORT-CLA-COL.Ias	-1215790189	5940000000	4770000000	4442500	5959999900	4771999900	5852400	9479	3791677
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_598-4768_ORT-CLA-COL.Ias	-469583557	5980000000	4766000000	4553900	5999999900	4767999900	5333300	9936	3974225
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_600-4758_ORT-CLA-COL.Ias	2012042913	6000000000	4756000000	1745200	6019999900	4757999900	7222200	10791	4316180
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_600-4776_ORT-CLA-COL.Ias	-1475331935	6000000000	4774000000	4559400	6019999900	4775999900	6279600	9878	3951252
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_604-4688_ORT-CLA-COL.Ias	818789025	6040000000	4686000000	4984100	6059999900	4687999900	7267900	11652	4660692
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_604-4838_ORT-CLA-COL.Ias	361905573	6044477800	4836000000	516800	6059999900	4837999900	4050000	7729	2399414
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_608-4826_ORT-CLA-COL.Ias	-363320467	6080000000	4824000000	1743200	6099999900	4825999900	7078900	14068	5627098
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_610-4840_ORT-CLA-COL.Ias	526540335	6100000000	4838000000	13600	6119999900	4839999900	1783400	11852	4740651
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_612-4766_ORT-CLA-COL.Ias	-2071465347	6120000000	4764000000	3661600	6139999900	4765999900	5847900	13099	5239522
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_614-4720_ORT-CLA-COL.Ias	495641207	6140000000	4718000000	4634800	6159999900	4719999900	12071000	12151	4860303
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_618-4662_ORT-CLA-COL.Ias	-1662953863	6180000000	4660000000	7139000	6199999900	4661999900	9252100	15561	6224192
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_620-4650_ORT-CLA-COL.Ias	-518996583	6200000000	4648000000	6144300	6219999900	4649999900	17328600	12910	5164112
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_620-4842_ORT-CLA-COL.Ias	-2046878361	6200000000	4840000000	41500	6219999900	4841999900	1882100	10490	4196039
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_624-4810_ORT-CLA-COL.Ias	-1082572691	6240000000	4808000000	5012300	6259999900	4809999900	7859100	11542	4616794
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_624-4818_ORT-CLA-COL.Ias	842347223	6240000000	4816000000	884900	6259999900	4817999900	8990900	12639	5055615
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_626-4780_ORT-CLA-COL.Ias	-1381613775	6260000000	4778000000	4138300	6279999900	4779999900	5317900	12713	5085212
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_626-4820_ORT-CLA-COL.Ias	-167787971	6260000000	4818000000	582800	6279999900	4819999900	11099600	12259	4903618
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_628-4826_ORT-CLA-COL.Ias	1224800471	6280000000	4824000000	603600	6299999900	4825999900	3364500	11714	4685631
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_628-4828_ORT-CLA-COL.Ias	-491736865	6280000000	4826000000	1372600	6299999900	4827999900	5256700	12334	4933571
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_630-4754_ORT-CLA-COL.Ias	1650792681	6300000000	4752000000	3997000	6319999900	4753999900	5186600	15461	6184440
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_630-4766_ORT-CLA-COL.Ias	-1073789827	6300000000	4764000000	4652700	6319999900	4765999900	6367400	14019	5607522
D:\FUSION\Ias\PNOA_2016_GAL_E_630-4812_ORT-CLA-COL.Ias	441829817	6300000000	4810000000	1138300	6319999900	4811999900	6527600	13697	5478688

FileName	ModDateChkSum	MinX	MinY	MinZ	MaxX	MaxY	MaxZ	PtDensity	#Pts
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_630-4812_ORT-CLA-COL.las	441829817	6300000000	48100000000	1138300	6319999900	48119999900	6527600	13697	5478688
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_632-4770_ORT-CLA-COL.las	1846887281	6320000000	47680000000	6403800	6339999900	47699999900	8669900	11863	4745084
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_632-4834_ORT-CLA-COL.las	223239923	6320000000	48320000000	-15100	6339999900	48339999900	3485200	13430	5372141
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_640-4758_ORT-CLA-COL.las	1097898829	6400000000	47560000000	6124600	6419999900	47579999900	9661800	13038	5215050
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_640-4780_ORT-CLA-COL.las	-1345905451	6400000000	47780000000	5520300	6419999900	47799999900	8480700	13859	5543374
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_640-4782_ORT-CLA-COL.las	-1888687171	6400000000	47800000000	2994800	6419999900	47819999900	7106000	13284	5313538
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_644-4812_ORT-CLA-COL.las	1891779261	6440000000	48100000000	1370100	6459999900	48119999900	4744200	12218	4887042
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_644-4816_ORT-CLA-COL.las	678234955	6440000000	48140000000	2398500	6459999900	48159999900	8072200	11587	4634777
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_646-4654_ORT-CLA-COL.las	1750110859	6460000000	46520000000	7264600	6479999900	46539999900	9397500	9149	3659577
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_648-4786_ORT-CLA-COL.las	582348721	6480000000	47840000000	4468700	6499999900	47859999900	8975900	12620	5047964
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_648-4824_ORT-CLA-COL.las	1401425201	6480000000	48220000000	400	6499999900	48239999900	1907000	11817	4726684
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_650-4764_ORT-CLA-COL.las	777895063	6500000000	47620000000	4929400	6519999900	47639999900	8198500	12658	5063071
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_650-4822_ORT-CLA-COL.las	-1500544063	6500000000	48200000000	682900	6519999900	48219999900	4545000	13138	5255076
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_656-4700_ORT-CLA-COL.las	2037086405	6560000000	46980000000	4789500	6579999900	46999999900	10902900	21052	8420678
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_664-4770_ORT-CLA-COL.las	1110911407	6640000000	47680000000	2172100	6659999900	47699999900	6437100	11039	4415531
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_666-4778_ORT-CLA-COL.las	-905345451	6660000000	47760000000	6424000	6679999900	47779999900	12016000	12415	4965838
D:\FUSION\las\PNOA_2016_GAL_E_670-4774_ORT-CLA-COL.las	1596380651	6700000000	47720000000	2141900	6719999900	47739999900	5983500	11484	4593705



### 6.3. ANEXO III. RESULTADO DE LA EJECUCIÓN DEL COMANDO 'CLOUDMETRICS'

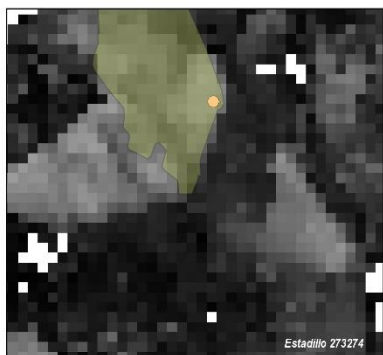
DataFile	FileTitle	Total return	Retena 1 c	Retena 2 c	Retena 3 c	Retena 4 c	Retena 5 c	Retena 6 c	Retena 7 c	Retena 8 c	Retena 9 c	Other return	Elev minia	Elev maxia	Elev m	Elev rta	Elev vari	
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_566-4698_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_566-4698_ORT-OLA-COL		5078306	3628110	1214052	213755	12192	197	0	0	0	0	0	146500000	654529978	464224926	501231572	79125103	6260781848
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_574-4682_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_574-4682_ORT-OLA-COL		5293245	3870755	1235523	177649	6206	62	0	0	0	0	0	99300003	555460022	319422818	294791754	82747805	703494670
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_589-4652_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_589-4652_ORT-OLA-COL		6461245	4757767	1469165	23525	10079	963	0	0	0	0	0	445229990	627302020	309960281	174507990	50706747	2271747476
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_589-4654_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_589-4654_ORT-OLA-COL		5252992	2924224	1172244	136452	4705	56	0	0	0	0	0	237620007	476160002	394757124	242630451	42378226	1616704275
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_584-4684_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_584-4684_ORT-OLA-COL		5452490	4056417	1250525	141046	4452	50	0	0	0	0	0	300430011	1327349976	398185841	396277150	48837668	2385137313
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_594-4772_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_594-4772_ORT-OLA-COL		3791677	2104632	619165	65738	2129	13	0	0	0	0	0	444250000	585239990	509594454	511280091	27339441	747472238
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_598-4768_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_598-4768_ORT-OLA-COL		2974225	1355962	736464	80266	2535	18	0	0	0	0	0	455390015	533320017	473271105	462812872	10869995	181035057
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_600-4758_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_600-4758_ORT-OLA-COL		4316180	2666363	576103	71047	2639	28	0	0	0	0	0	174520004	722219971	615629409	670058069	49976887	2398735493
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_600-4776_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_600-4776_ORT-OLA-COL		3951252	2198292	688894	62483	1576	7	0	0	0	0	0	455940002	627960022	532497797	546045727	31777586	1009815000
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_604-4688_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_604-4688_ORT-OLA-COL		4664062	3628996	887002	137012	7554	128	0	0	0	0	0	498410004	726789978	569870770	513035714	40236612	1619146500
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_604-4838_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_604-4838_ORT-OLA-COL		2399444	1640716	490321	63579	2742	56	0	0	0	0	0	51610000	405000000	278464953	237700952	76447935	5848266423
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_608-4824_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_608-4824_ORT-OLA-COL		5627090	4134918	1300388	183037	6646	109	0	0	0	0	0	174320007	707890015	318503509	37154772	60033471	1749623032
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_610-4840_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_610-4840_ORT-OLA-COL		4740651	3764590	912057	61154	820	0	0	0	0	0	0	1260000	173339996	63458201	1260000	41966691	175532642
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_612-4764_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_612-4764_ORT-OLA-COL		5239522	4021110	1045042	165641	7631	98	0	0	0	0	0	366160004	584789978	448335432	456388247	46414351	217294751
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_614-4720_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_614-4720_ORT-OLA-COL		4864033	4086787	37890	1565	15	0	0	0	0	0	0	463480011	120709976	584479714	569714035	24295453	595128146
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_618-4662_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_618-4662_ORT-OLA-COL		6224192	4672969	1380189	191249	8618	127	0	0	0	0	0	713900024	925210022	828524906	878252245	48020118	202610994
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_620-4650_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_620-4650_ORT-OLA-COL		5164112	4365567	755468	41426	1628	23	0	0	0	0	0	614429993	1732859985	709604516	703194278	32912208	1083213426
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_620-4842_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_620-4842_ORT-OLA-COL		4196029	3292284	855150	48162	422	1	0	0	0	0	0	4150000	188210007	94801011	85954447	32241803	1039532676
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_624-4810_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_624-4810_ORT-OLA-COL		4616794	3664206	824315	122444	5723	96	0	0	0	0	0	501230011	785909973	622352862	596122332	54952499	3019777058
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_624-4818_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_624-4818_ORT-OLA-COL		5055615	2798271	1189661	122495	4925	53	0	0	0	0	0	83489993	899090027	212235769	191422235	17901351	6663620549
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_626-4780_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_626-4780_ORT-OLA-COL		5095212	3999595	1940507	128812	6388	120	0	0	0	0	0	413229927	531759978	467894661	472746173	22500235	506620631
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_626-4820_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_626-4820_ORT-OLA-COL		4962618	3586273	1264728	109804	2593	20	0	0	0	0	0	58279999	110959961	220489002	58279999	105206497	11089452529
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_628-4826_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_628-4826_ORT-OLA-COL		4685631	3564775	1056289	33058	1505	4	0	0	0	0	0	60360001	336450012	192641205	209630959	51115835	261222614
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_628-4828_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_628-4828_ORT-OLA-COL		4923571	3619912	1140723	99664	1965	7	0	0	0	0	0	137259995	525649983	263609958	174251422	92683266	8590206402
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_630-4754_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_630-4754_ORT-OLA-COL		6184440	4386368	1430799	335926	27392	675	0	0	0	0	0	399700012	518659973	447802685	445018093	19923104	396930063
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_630-4766_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_630-4766_ORT-OLA-COL		5607522	4016205	135493	261124	16377	323	0	0	0	0	0	465269989	636739990	529944499	519704910	33955534	1152978290
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_630-4812_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_630-4812_ORT-OLA-COL		5478668	3937522	1359725	173313	7949	179	0	0	0	0	0	113830002	652760010	340665116	370463339	104654540	10952572778
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_632-4770_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_632-4770_ORT-OLA-COL		4745064	2806164	779228	149296	10180	216	0	0	0	0	0	640330005	866989990	729717953	705125715	44923163	2018090574
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_632-4834_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_632-4834_ORT-OLA-COL		5375141	4073571	1219752	73168	589	0	0	0	0	0	0	1510000	34059998	16361763	1510000	76469178	5351671237
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_640-4758_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_640-4758_ORT-OLA-COL		5215050	4157562	869268	172245	14160	415	0	0	0	0	0	612460022	966179997	714590321	752325090	80079091	6412640227
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_640-4780_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_640-4780_ORT-OLA-COL		5543374	4096261	1199880	241307	19019	567	0	0	0	0	0	552030029	848070007	719354900	697700495	62448812	3924073434
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_640-4782_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_640-4782_ORT-OLA-COL		5135358	3951827	1199160	155387	8007	157	0	0	0	0	0	294400011	710599016	598133537	638171215	53989595	2948767419
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_644-4812_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_644-4812_ORT-OLA-COL		4887042	3834056	996143	56026	814	3	0	0	0	0	0	137009995	474420013	262059957	244124286	63322293	4009712129
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_644-4816_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_644-4816_ORT-OLA-COL		4634777	3731811	784310	61723	1907	16	0	0	0	0	0	239500006	807219971	375904703	265932220	46692169	2180252073
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_646-4654_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_646-4654_ORT-OLA-COL		3689577	2519927	136605	2960	85	0	0	0	0	0	0	726460022	939750000	82502988	81898902	44266102	1959479842
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_648-4786_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_648-4786_ORT-OLA-COL		5047964	4166769	766584	109043	5455	113	0	0	0	0	0	446369995	897590027	720847550	71872871	69039872	4766265794
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_648-4824_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_648-4824_ORT-OLA-COL		4726654	4175150	516032	32175	326	1	0	0	0	0	0	40000	190699997	5629489	21224444	34044352	3299195294
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_650-4764_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_650-4764_ORT-OLA-COL		5063071	3965906	910795	172517	13469	384	0	0	0	0	0	496240002	818699976	593304777	56039716	62330428	381620457
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_650-4822_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_650-4822_ORT-OLA-COL		5255076	4182347	990638	79474	1611	6	0	0	0	0	0	63290001	48540000	25856606	28285112	90606520	8209541422
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_656-4700_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_656-4700_ORT-OLA-COL		8420678	7169744	1162644	121202	3444	24	0	0	0	0	0	478950012	109020029	78917282	876804220	137242639	18863000567
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_664-4770_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_664-4770_ORT-OLA-COL		4485521	3695345	667428	51727	1007	4	0	0	0	0	0	217210007	642710022	379921970	282606837	99109540	9822700918
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_666-4778_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_666-4778_ORT-OLA-COL		4965838	4058856	806816	96707	5340	119	0	0	0	0	0	642400024	120159976	1015871549	1015199992	108264318	11721162406
D:\FUSION\IA\FNOA_2016_GAL_E_670-4774_ORT-OLA-OC\FNOA_2016_GAL_E_670-4774_ORT-OLA-COL		4593705	2901320	649126	42631	626	2	0	0	0	0	0	214190002	598349976	370509290	238581112	93239110	8693521672



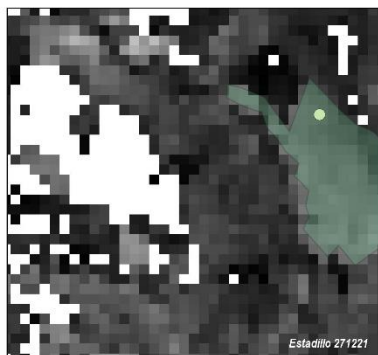
DataFile	Elev P	Elev P	Cranny relief	Elev SORT max	Elev CURT mean	Int minim	Int maxim	Int mo	Int ma	Int std	Int wrid	Int	Int ID	Int rkon	Int kurt	Int RA	Int L1	Int L2	Int L3	Int L4	Int L	Int L zkou	Int L kurt	Int P0
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_564-4698_ORT-CLA-CC 576599995	606210022	625397	47092183	476987194	0	65535000000	9,11E+09	1,04E+09	5069404787	3,44499E+13	644284	1,06E+10	25811	1804671	5,17E+09	9,11E+09	3,363E+09	2,72E+09	-83768000	349442	80929	-24910	1,083E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_574-4682_ORT-CLA-CC 45617011	490749989	480384	329261927	329208881	0	65535000000	7,645E+09	1,04E+09	5101763552	2,60995E+13	668207	8,91E+09	481138	2044672	4,40E+09	7,645E+09	2,899E+09	4,12E+09	-1307921	379177	142254	451	1,083E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_580-4652_ORT-CLA-CC 836929993	913280029	249642	80386197	80583006	0	65504000000	8,762E+09	1,654E+09	5209990007	2,3194E+13	606010	9,59E+09	181267	1720114	6,69E+09	8,762E+09	3,058E+09	1,71E+09	-9412542	348204	55994	-29961	1,083E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_580-4684_ORT-CLA-CC 437619995	485170013	511546	262362183	264839444	0	65535000000	8,422E+09	1,04E+09	5085918620	2,56646E+13	603822	9,15E+09	199180	1818958	4,499E+09	8,422E+09	2,92E+09	1,73E+09	-8023359	346637	59145	-27493	1,142E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_584-4684_ORT-CLA-CC 500950012	523849976	95149	401169666	404286749	0	28517000000	8,555E+09	1,62E+09	5240426395	2,7546E+13	612471	9,27E+09	271624	1827965	4,088E+09	8,555E+09	3,009E+09	2,44E+09	-5162068	356170	31022	-17161	1,142E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_594-4772_ORT-CLA-CC 593200020	561500000	463487	510227027	511052442	0	65535000000	8,256E+09	1,04E+09	5259992426	2,76175E+13	637083	9,45E+09	216360	1791497	6,644E+09	8,256E+09	3,015E+09	2,07E+09	-11594843	345224	63953	-27059	1,022E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_599-4762_ORT-CLA-CC 493789989	505100006	229421	473258596	473251967	0	65535000000	7,637E+09	1,04E+09	5229320660	2,72485E+13	600324	9,51E+09	334245	1972419	4,509E+09	7,637E+09	3,978E+09	2,80E+09	-59631594	337204	120123	-39716	1,022E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_600-4758_ORT-CLA-CC 634469971	694499990	805305	415744534	419477258	0	65535000000	1,15E+10	1,5E+10	5047224550	3,419E+13	508662	1,059E+10	246174	1754618	5,17E+09	1,15E+10	2,927E+09	-4,84E+08	-1,01E+08	236720	-146411	-30714	1,142E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_600-4776_ORT-CLA-CC 586340027	603980012	445052	533445141	524290784	0	65535000000	8,022E+09	1,04E+09	5257699022	2,87049E+13	667797	9,59E+09	239422	1824943	4,73E+09	8,022E+09	3,057E+09	2,34E+09	-9420240	318661	109114	-30922	1,022E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_604-4688_ORT-CLA-CC 658150024	697859985	308524	570292117	571785135	0	65535000000	8,917E+09	1,04E+09	5264919750	2,88282E+13	602106	9,97E+09	274560	1913477	6,97E+09	8,917E+09	3,082E+09	2,40E+09	-1703236	345647	78302	593	1,142E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_604-4838_ORT-CLA-CC 360200012	371100006	634459	286244247	293849973	0	65535000000	9,315E+09	1,04E+09	6477558176	4,19588E+13	695359	1,314E+10	250928	1502870	5,903E+09	9,315E+09	3,675E+09	3,26E+09	-3,09E+08	394488	88823	-84086	1,022E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_608-4826_ORT-CLA-CC 546429993	605880005	388297	391528868	401380895	0	65535000000	8,387E+09	1,04E+09	5181359815	3,38533E+13	637679	1,091E+10	447067	1832088	5,144E+09	8,387E+09	3,295E+09	4,69E+08	-87610368	392841	142309	-26592	1,022E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_610-4840_ORT-CLA-CC 143880005	158880005	394779	81115806	89595320	0	65535000000	7,501E+09	1,04E+09	5232026997	2,73747E+13	697491	9,632E+09	624948	3918452	4,628E+09	7,501E+09	2,935E+09	4,05E+08	-1,18E+08	391271	138017	-40280	963000000	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_612-4764_ORT-CLA-CC 536800017	551450012	375845	450752212	453197464	0	65535000000	8,672E+09	1,04E+09	5161070197	3,1474E+13	646401	1,079E+10	217440	1664958	4,986E+09	8,672E+09	3,215E+09	2,34E+09	-1,45E+08	370783	72844	-45159	1,022E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_614-4720_ORT-CLA-CC 597359985	601599976	122374	555842638	555842638	0	65535000000	1,099E+10	1,44E+10	5796458449	3,35525E+13	526347	1,019E+10	-159076	1848590	5,002E+09	1,099E+10	3,32E+09	-1,44E+09	-14916481	302883	-43241	-4501	1,254E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_619-4642_ORT-CLA-CC 949259999	902340027	542450	329749046	330951405	0	65535000000	8,771E+09	1,04E+09	5122363630	3,31999E+13	595441	1,003E+10	72245	1715047	5,190E+09	8,771E+09	3,044E+09	4,5261822	-1,21E+08	340238	19515	-26264	1,142E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_620-4650_ORT-CLA-CC 765409973	794699990	35047	710373787	711827992	0	65535000000	8,997E+09	1,144E+09	4935949101	2,4264E+13	494256	8,633E+09	-93220	1990463	4,234E+09	8,997E+09	2,843E+09	-9920356	19987474	234650	-31531	6999	1,324E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_620-4842_ORT-CLA-CC 148000000	165820007	429508	100133737	104597774	0	65535000000	7,609E+09	1,04E+09	5097482833	3,47802E+13	775024	8,57E+09	233497	2048166	4,732E+09	7,609E+09	3,043E+09	5,46E+08	10987824	402564	178207	3587	1,022E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_624-4818_ORT-CLA-CC 718249993	747549988	425470	624774248	627217470	0	65535000000	1,233E+10	1,872E+10	4785831221	4,65007E+13	546168	1,264E+10	-240175	1639623	3,058E+09	1,233E+10	3,898E+09	-3E+08	-1,63E+08	318089	-177804	-40236	1,264E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_624-4818_ORT-CLA-CC 248079987	249890015	153943	227020070	239891887	0	65535000000	1,263E+09	1,04E+09	5291427177	2,79992E+13	720000	9,932E+09	482463	1764395	4,722E+09	1,263E+09	2,972E+09	4,91E+08	-1,3E+08	409902	165824	-43775	963000000	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_608-4788_ORT-CLA-CC 503630006	512700010	485787	468136078	468136078	0	65535000000	9,263E+09	1,04E+09	5799422369	3,3624E+13	625978	1,123E+10	161682	1612642	5,194E+09	9,263E+09	3,266E+09	1,61E+08	-1,71E+08	359077	54283	-51589	1,142E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_626-4820_ORT-CLA-CC 399200012	430000000	194228	244045771	263483526	0	43116000000	6,697E+09	1,269E+09	4885555161	2,31694E+13	729517	8,789E+09	603222	1968720	4,29E+09	6,697E+09	2,726E+09	5,41E+08	-41913107	407040	198294	-15376	963000000	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_628-4826_ORT-CLA-CC 264100006	296730011	492745	200274172	205766994	0	65535000000	7,665E+09	1,04E+09	5243732576	2,7497E+13	634039	1,005E+10	302405	1571782	4,796E+09	7,665E+09	2,974E+09	6,45E+08	-2,07E+08	339775	180526	-69492	1,022E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_628-4826_ORT-CLA-CC 423640002	464185995	325300	279426338	294848232	0	65535000000	8,912E+09	1,04E+09	5233744577	2,85022E+13	642189	8,992E+09	193991	1633658	4,832E+09	8,912E+09	3,05E+09	2,03E+08	-2E+08	344825	64426	-45844	1,083E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_630-4754_ORT-CLA-CC 482459991	492989991	404260	440245642	440490677	0	65535000000	8,239E+09	1,04E+09	4048235891	2,65922E+13	725440	1,176E+10	428482	1728926	5,295E+09	8,239E+09	3,476E+09	4,99E+08	-1,52E+08	409611	146579	-47579	963000000	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_630-4764_ORT-CLA-CC 594039998	610199995	371717	531232721	532142721	0	65535000000	8,43E+09	1,04E+09	434077194	2,73774E+13	720701	1,174E+10	465544	1793797	4,394E+09	8,43E+09	3,465E+09	5,29E+08	-1,12E+08	411071	155631	-17584	1,022E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_630-4812_ORT-CLA-CC 515640015	500570007	420899	356378018	370524798	0	65535000000	6,958E+09	1,04E+09	5071168450	2,5716E+13	728872	8,849E+09	674891	2560227	4,692E+09	6,958E+09	2,826E+09	5,66E+08	-3357165	406186	200346	-1385	1,022E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_632-4770_ORT-CLA-CC 808140015	819969971	394237	731099463	732942319	0	53523000000	1,243E+10	1,784E+10	4564329288	4,30900E+13	528052	1,186E+10	-329149	1712125	8,814E+09	1,243E+10	3,738E+09	-3,88E+08	-9271216	300663	-103856	-24905	1,204E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_632-4834_ORT-CLA-CC 254570007	305410004	337326	139427376	15640423	0	65535000000	6,45E+09	1,04E+09	4643824323	2,1749E+13	722995	8,006E+09	744025	2902361	4,024E+09	6,45E+09	2,585E+09	5,33E+08	20456493	400795	213914	7913	963000000	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_608-4758_ORT-CLA-CC 904829990	920000000	488358	778718717	782788217	0	40059000000	1,272E+10	1,908E+10	472432916	4,6167E+13	528717	1,226E+10	-254887	1721041	9,913E+09	1,272E+10	3,852E+09	-3,14E+08	-1,07E+08	300293	-18535	-27830	1,264E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_640-4780_ORT-CLA-CC 320719997	330559998	561832	721081973	723788597	0	65535000000	1,025E+10	1,04E+09	4250971414	3,90746E+13	610156	1,15E+10	118291	1714404	5,553E+09	1,025E+10	3,593E+09	1,2E+08	-1,16E+08	358660	33518	-32372	1,142E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_640-4782_ORT-CLA-CC 472830005	436644993	724429	608652237	602931218	0	32373000000	9,536E+09	1,949E+09	5924033670	3,5177E+13	621471	1,123E+10	149941	1694935	5,252E+09	9,536E+09	3,404E+09	1,67E+08	-1,21E+08	358499	49147	-35592	1,142E+09	
D:\FUSION\IPNOA_2016_GAL_E_644-4812_ORT-CLA-CC 372230011	424825995	379617	269481094	277101786	0	65535000000	7,49E+09	1,04E+09	5122379985	2,67535E+13	646277	8,75E+09	407355	1721793	4,622E+09	7,49E+09	2,925E+09	4,05E+08						

DataFile	Int P0	Int P1	Int P2	Int P2	Int P3	Int P4	Int P5	Int P6	Int P7	Int P75	Int P8	Int P9	Int P95	Int P9
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_566-4698_ORT-CLA-CC	1,505E+09	1,806E+09	2,709E+09	3,431E+09	4,274E+09	6,321E+09	8,608E+09	1,114E+10	1,298E+10	1,404E+10	1,499E+10	1,749E+10	1,881E+10	2,098E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_574-4682_ORT-CLA-CC	1,384E+09	1,685E+09	2,408E+09	2,949E+09	3,612E+09	5,056E+09	6,622E+09	8,428E+09	1,072E+10	1,186E+10	1,282E+10	1,549E+10	1,664E+10	1,85E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_580-4652_ORT-CLA-CC	1,505E+09	1,926E+09	3,07E+09	3,792E+09	4,575E+09	6,321E+09	8,247E+09	1,06E+10	1,264E+10	1,348E+10	1,449E+10	1,599E+10	1,708E+10	1,881E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_580-4684_ORT-CLA-CC	1,505E+09	1,926E+09	2,949E+09	3,612E+09	4,394E+09	6,02E+09	7,946E+09	1,029E+10	1,216E+10	1,276E+10	1,36E+10	1,549E+10	1,649E+10	1,838E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_584-4684_ORT-CLA-CC	1,565E+09	1,986E+09	3,01E+09	3,732E+09	4,454E+09	6,02E+09	7,886E+09	1,011E+10	1,222E+10	1,3E+10	1,404E+10	1,577E+10	1,708E+10	1,925E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_594-4772_ORT-CLA-CC	1,324E+09	1,625E+09	2,408E+09	3,07E+09	3,852E+09	5,779E+09	8,066E+09	1,029E+10	1,192E+10	1,252E+10	1,306E+10	1,577E+10	1,699E+10	1,838E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_598-4768_ORT-CLA-CC	1,264E+09	1,565E+09	2,167E+09	2,648E+09	3,311E+09	4,816E+09	6,802E+09	9,03E+09	1,126E+10	1,216E+10	1,288E+10	1,577E+10	1,664E+10	1,794E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_600-4758_ORT-CLA-CC	1,685E+09	2,347E+09	4,515E+09	5,899E+09	7,464E+09	1,096E+10	1,3E+10	1,534E+10	1,621E+10	1,649E+10	1,699E+10	1,794E+10	1,85E+10	1,968E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_600-4776_ORT-CLA-CC	1,324E+09	1,625E+09	2,347E+09	2,889E+09	3,551E+09	5,117E+09	7,224E+09	9,571E+09	1,162E+10	1,248E+10	1,324E+10	1,599E+10	1,699E+10	1,838E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_604-4688_ORT-CLA-CC	1,565E+09	1,986E+09	3,311E+09	4,153E+09	4,996E+09	6,622E+09	8,307E+09	1,017E+10	1,228E+10	1,312E+10	1,491E+10	1,699E+10	1,794E+10	1,925E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_604-4838_ORT-CLA-CC	1,324E+09	1,685E+09	2,528E+09	3,07E+09	3,732E+09	5,357E+09	7,765E+09	1,144E+10	1,491E+10	1,621E+10	1,708E+10	1,838E+10	1,9E+10	2,011E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_608-4826_ORT-CLA-CC	1,394E+09	1,745E+09	2,528E+09	3,07E+09	3,612E+09	4,996E+09	6,862E+09	9,451E+09	1,24E+10	1,398E+10	1,499E+10	1,664E+10	1,8E+10	2,05E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_610-4840_ORT-CLA-CC	1,324E+09	1,625E+09	2,287E+09	2,709E+09	3,19E+09	4,334E+09	6,08E+09	8,608E+09	1,138E+10	1,234E+10	1,306E+10	1,499E+10	1,577E+10	1,708E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_612-4766_ORT-CLA-CC	1,384E+09	1,685E+09	2,528E+09	3,19E+09	4,033E+09	5,899E+09	8,006E+09	1,054E+10	1,264E+10	1,398E+10	1,499E+10	1,664E+10	1,751E+10	1,881E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_614-4720_ORT-CLA-CC	1,866E+09	2,588E+09	4,515E+09	5,598E+09	6,742E+09	9,752E+09	1,198E+10	1,312E+10	1,499E+10	1,577E+10	1,664E+10	1,838E+10	1,95E+10	2,098E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_618-4662_ORT-CLA-CC	1,565E+09	2,046E+09	3,311E+09	4,153E+09	5,117E+09	7,224E+09	9,812E+09	1,234E+10	1,447E+10	1,499E+10	1,577E+10	1,708E+10	1,85E+10	2,055E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_620-4650_ORT-CLA-CC	1,926E+09	2,889E+09	4,936E+09	5,839E+09	6,622E+09	8,367E+09	1,041E+10	1,204E+10	1,318E+10	1,447E+10	1,499E+10	1,621E+10	1,708E+10	1,881E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_620-4842_ORT-CLA-CC	1,324E+09	1,625E+09	2,287E+09	2,709E+09	3,13E+09	4,274E+09	5,959E+09	8,668E+09	1,132E+10	1,228E+10	1,298E+10	1,534E+10	1,621E+10	1,8E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_624-4810_ORT-CLA-CC	1,806E+09	2,408E+09	4,454E+09	5,719E+09	7,103E+09	1,041E+10	1,398E+10	1,621E+10	1,751E+10	1,838E+10	1,881E+10	2,05E+10	2,142E+10	2,272E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_624-4818_ORT-CLA-CC	1,264E+09	1,505E+09	2,107E+09	2,468E+09	2,889E+09	3,913E+09	5,478E+09	7,826E+09	1,126E+10	1,24E+10	1,312E+10	1,534E+10	1,599E+10	1,751E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_626-4780_ORT-CLA-CC	1,505E+09	1,926E+09	3,01E+09	3,672E+09	4,454E+09	6,321E+09	8,668E+09	1,148E+10	1,398E+10	1,491E+10	1,577E+10	1,708E+10	1,8E+10	1,95E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_626-4820_ORT-CLA-CC	1,264E+09	1,505E+09	2,046E+09	2,408E+09	2,769E+09	3,672E+09	4,936E+09	6,862E+09	9,812E+09	1,12E+10	1,222E+10	1,449E+10	1,549E+10	1,664E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_628-4826_ORT-CLA-CC	1,324E+09	1,625E+09	2,287E+09	2,648E+09	3,13E+09	4,294E+09	6,26E+09	9,391E+09	1,198E+10	1,27E+10	1,324E+10	1,534E+10	1,577E+10	1,699E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_628-4828_ORT-CLA-CC	1,444E+09	1,806E+09	2,588E+09	3,13E+09	3,732E+09	5,237E+09	7,585E+09	1,054E+10	1,252E+10	1,312E+10	1,447E+10	1,549E+10	1,649E+10	1,751E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_630-4754_ORT-CLA-CC	1,324E+09	1,565E+09	2,227E+09	2,709E+09	3,25E+09	4,695E+09	6,561E+09	9,27E+09	1,252E+10	1,447E+10	1,549E+10	1,749E+10	1,838E+10	1,968E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_630-4766_ORT-CLA-CC	1,324E+09	1,625E+09	2,287E+09	2,709E+09	3,311E+09	4,755E+09	6,682E+09	9,27E+09	1,24E+10	1,447E+10	1,577E+10	1,751E+10	1,881E+10	2,05E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_630-4812_ORT-CLA-CC	1,324E+09	1,565E+09	2,167E+09	2,528E+09	2,949E+09	3,973E+09	5,297E+09	7,103E+09	9,872E+09	1,138E+10	1,248E+10	1,499E+10	1,599E+10	1,8E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_632-4770_ORT-CLA-CC	1,745E+09	2,408E+09	4,695E+09	6,14E+09	7,705E+09	1,132E+10	1,447E+10	1,621E+10	1,749E+10	1,8E+10	1,85E+10	2E+10	2,1E+10	2,251E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_632-4834_ORT-CLA-CC	1,264E+09	1,565E+09	2,107E+09	2,468E+09	2,829E+09	3,672E+09	4,816E+09	6,381E+09	8,969E+09	1,047E+10	1,168E+10	1,398E+10	1,499E+10	1,649E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_640-4758_ORT-CLA-CC	1,806E+09	2,528E+09	5,177E+09	6,742E+09	8,187E+09	1,108E+10	1,36E+10	1,621E+10	1,8E+10	1,9E+10	1,95E+10	2,098E+10	2,151E+10	2,301E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_640-4780_ORT-CLA-CC	1,565E+09	2,046E+09	3,311E+09	4,274E+09	5,237E+09	7,464E+09	1,005E+10	1,274E+10	1,499E+10	1,577E+10	1,664E+10	1,85E+10	1,968E+10	2,201E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_640-4782_ORT-CLA-CC	1,565E+09	1,926E+09	2,949E+09	3,672E+09	4,635E+09	6,862E+09	9,331E+09	1,18E+10	1,398E+10	1,491E+10	1,577E+10	1,751E+10	1,881E+10	2,055E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_644-4812_ORT-CLA-CC	1,324E+09	1,625E+09	2,287E+09	2,648E+09	3,13E+09	4,274E+09	5,959E+09	8,367E+09	1,144E+10	1,24E+10	1,306E+10	1,534E+10	1,599E+10	1,699E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_644-4816_ORT-CLA-CC	1,505E+09	1,986E+09	3,19E+09	3,973E+09	4,996E+09	7,464E+09	1,078E+10	1,294E+10	1,491E+10	1,534E+10	1,577E+10	1,664E+10	1,749E+10	1,85E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_646-4654_ORT-CLA-CC	4,214E+09	6,14E+09	8,488E+09	9,21E+09	9,752E+09	1,066E+10	1,132E+10	1,192E+10	1,246E+10	1,276E+10	1,3E+10	1,447E+10	1,534E+10	1,649E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_648-4786_ORT-CLA-CC	1,866E+09	2,648E+09	5,237E+09	6,802E+09	8,488E+09	1,222E+10	1,491E+10	1,664E+10	1,794E+10	1,838E+10	1,881E+10	2,011E+10	2,1E+10	2,251E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_648-4824_ORT-CLA-CC	1,565E+09	2,167E+09	3,732E+09	4,695E+09	5,839E+09	8,729E+09	1,096E+10	1,228E+10	1,312E+10	1,491E+10	1,534E+10	1,599E+10	1,664E+10	1,751E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_650-4764_ORT-CLA-CC	1,685E+09	2,227E+09	4,153E+09	5,418E+09	6,622E+09	8,849E+09	1,108E+10	1,276E+10	1,449E+10	1,549E+10	1,599E+10	1,749E+10	1,8E+10	1,968E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_650-4822_ORT-CLA-CC	1,444E+09	1,866E+09	2,889E+09	3,551E+09	4,334E+09	6,26E+09	8,909E+09	1,148E+10	1,3E+10	1,447E+10	1,491E+10	1,599E+10	1,664E+10	1,838E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_656-4700_ORT-CLA-CC	1,745E+09	2,468E+09	4,454E+09	5,478E+09	6,441E+09	8,307E+09	9,993E+09	1,144E+10	1,252E+10	1,3E+10	1,404E+10	1,534E+10	1,649E+10	1,8E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_664-4770_ORT-CLA-CC	1,444E+09	1,806E+09	2,769E+09	3,311E+09	3,852E+09	4,996E+09	6,2E+09	7,344E+09	8,608E+09	9,27E+09	9,993E+09	1,186E+10	1,312E+10	1,577E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_666-4778_ORT-CLA-CC	1,926E+09	2,889E+09	5,478E+09	6,862E+09	7,826E+09	1,005E+10	1,222E+10	1,404E+10	1,549E+10	1,649E+10	1,708E+10	1,881E+10	2E+10	2,151E+10
D:\FUSION\ar\PNOA_2016_GAL_E_670-4774_ORT-CLA-CC	1,444E+09	1,866E+09	2,889E+09	3,431E+09	3,973E+09	5,117E+09	6,26E+09	7,464E+09	8,729E+09	9,391E+09	9,993E+09	1,156E+10	1,258E+10	1,499E+10

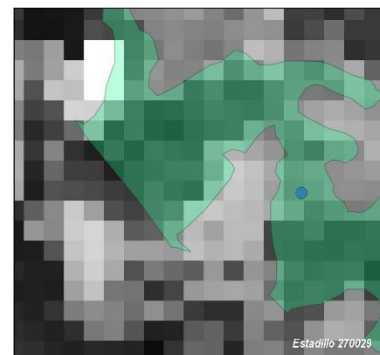
## **6.4. ANEXO IV. PLANOS CORRESPONDIENTES A LAS VARIACIONES EN LA PREDICCIÓN DEL P95 PARA CADA UNO DE LOS ALGORITMOS**



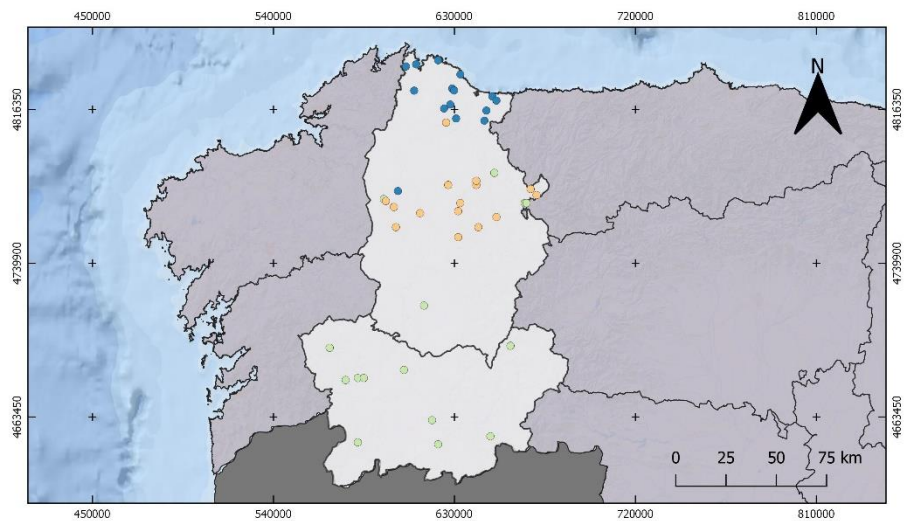
P. radiata  
 Hdóm. LIDAR = 29,94 m  
 Hdóm. IFN4.5 = 31,48 m  
 Hlineal IFN4.5 = 24,89 m  
 P95 predicho = 26,79 m



P. pinaster  
 Hdóm. LIDAR = 18,08 m  
 Hdóm. IFN4.5 = 19,84 m  
 Hlineal IFN4.5 = 17,37 m  
 P95 predicho = 16,91 m



E. globulus  
 Hdóm. LIDAR = 23,72 m  
 Hdóm. IFN4.5 = 25,12 m  
 Hlineal IFN4.5 = 23,00 m  
 P95 predicho = 21,46 m



**LEYENDA**

- ÁREA DE ESTUDIO
- PORTUGAL
- PROVINCIAS LÍMITROFES

**PARCELAS IFN-4.5**

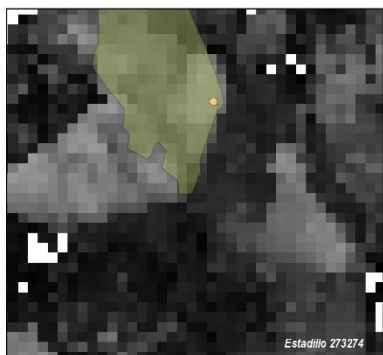
- Eucalyptus globulus
- Pinus pinaster
- Pinus radiata

**P95 - ALGORITMO 1**

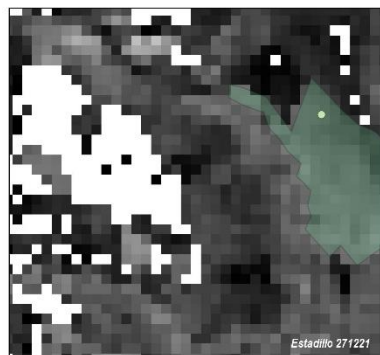
- 2.0762
- 45.6774

**MAPA FORESTAL DE ESPAÑA (MFE25)**

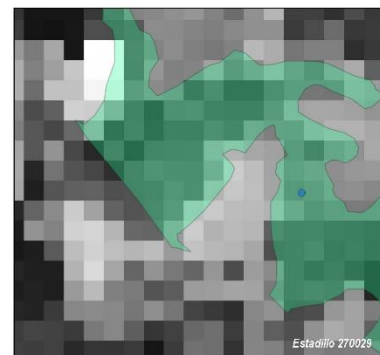
- Pinus pinaster
- Pinus radiata
- Eucalyptus globulus



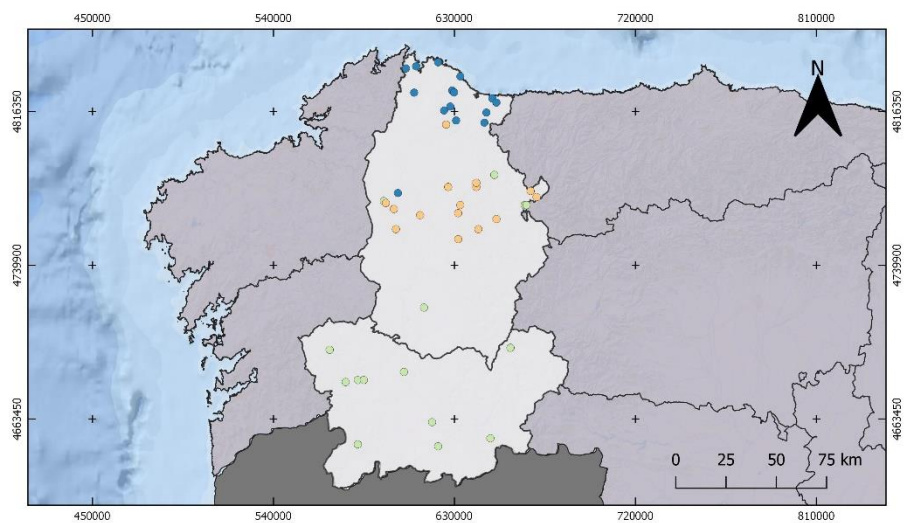
**P. radiata**  
 Hdom. LIDAR = 29,94 m  
 Hdom. IFN4.5 = 31,48 m  
 Hmean. IFN4.5 = 24,69 m  
 P95 predicho = 26,29 m



**P. pinaster**  
 Hdom. LIDAR = 18,08 m  
 Hdom. IFN4.5 = 18,64 m  
 Hmean. IFN4.5 = 17,37 m  
 P95 predicho = 16,83 m

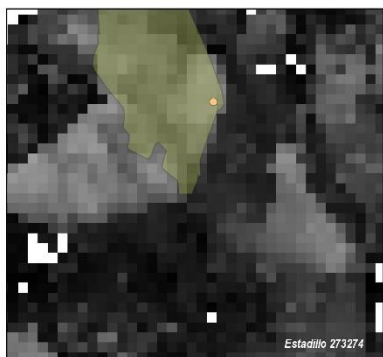


**E. globulus**  
 Hdom. LIDAR = 33,72 m  
 Hdom. IFN4.5 = 25,12 m  
 Hmean. IFN4.5 = 23,00 m  
 P95 predicho = 22,08 m

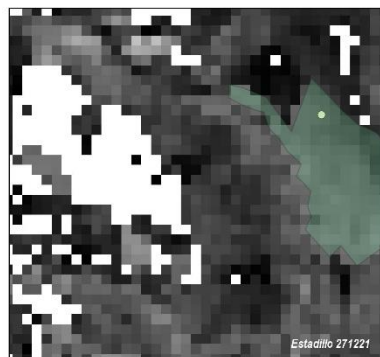


**LEYENDA**

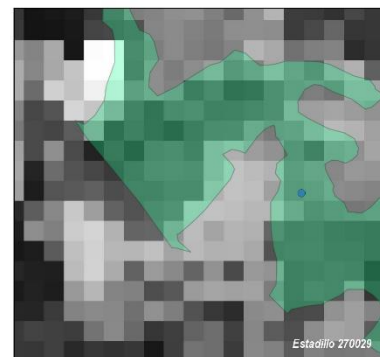
- ÁREA DE ESTUDIO
- PORTUGAL
- PROVINCIAS LÍMITROFES
- PARCELAS IFN-4.5**
- Eucalyptus globulus
- Pinus pinaster
- Pinus radiata
- P95 - ALGORITMO 2**
- 2.1783
- 47.0079
- MAPA FORESTAL DE ESPAÑA (MFE25)**
- Pinus pinaster
- Pinus radiata
- Eucalyptus globulus



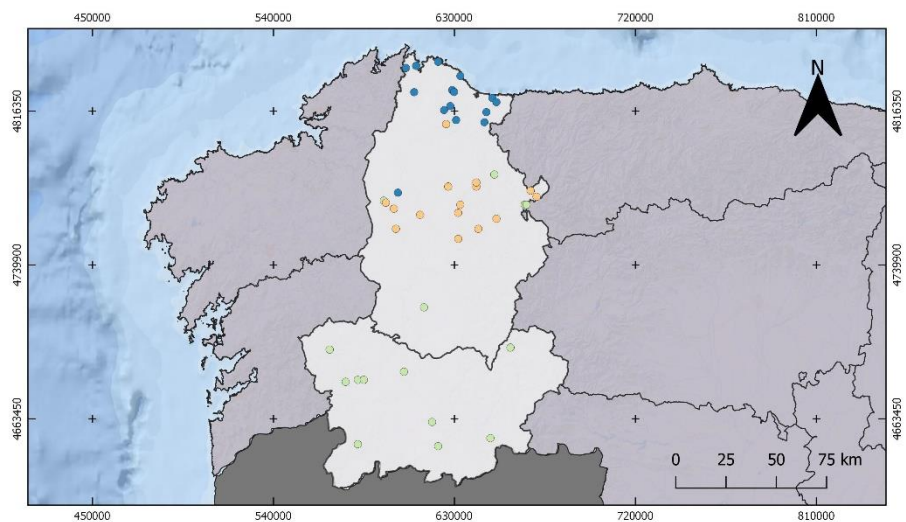
**P. radiata**  
 Hdom. LIDAR = 29,94 m  
 Hdom. IFN4.5 = 31,48 m  
 Hmean IFN4.5 = 24,69 m  
 P95 predicho = 25,93 m



**P. pinaster**  
 Hdom. LIDAR = 18,08 m  
 Hdom. IFN4.5 = 18,64 m  
 Hmean IFN4.5 = 17,37 m  
 P95 predicho = 16,86 m



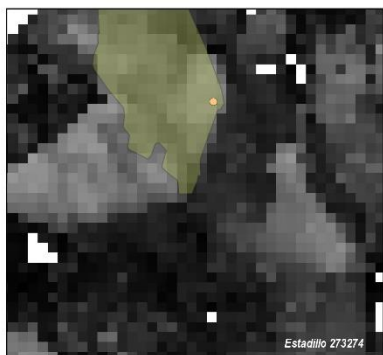
**E. globulus**  
 Hdom. LIDAR = 23,72 m  
 Hdom. IFN4.5 = 25,12 m  
 Hmean IFN4.5 = 23,00 m  
 P95 predicho = 22,42 m



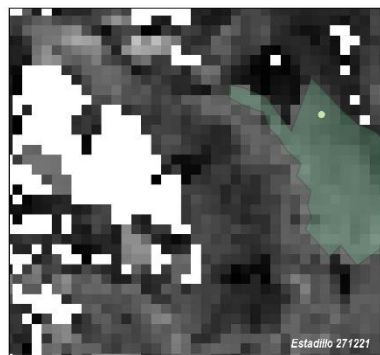
**LEYENDA**

- ÁREA DE ESTUDIO
- PORTUGAL
- PROVINCIAS LIMÍTROFES
- PARCELAS IFN-4.5**
- Eucalyptus globulus
- Pinus pinaster
- Pinus radiata
- P95 - ALGORITMO 3**
- 2.11
- 47.7221
- MAPA FORESTAL DE ESPAÑA (MFE25)**
- Pinus pinaster
- Pinus radiata
- Eucalyptus globulus

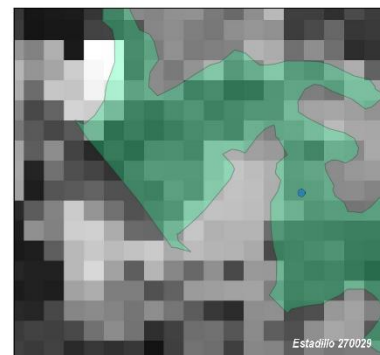




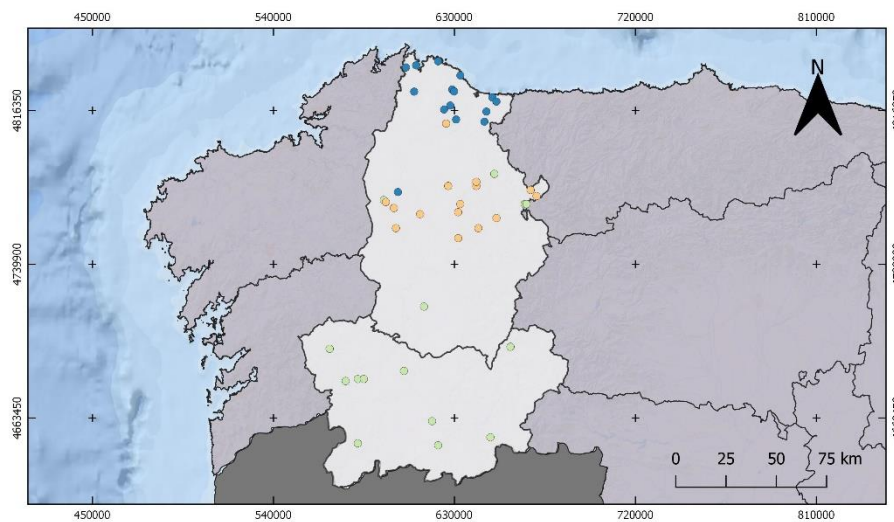
**P. radiata**  
 Hdom. LIDAR = 29,94 m  
 Hdom. IFN4.5 = 31,48 m  
 Hmean. IFN4.5 = 24,69 m  
 P95 predicho = 25,99 m



**P. pinaster**  
 Hdom. LIDAR = 18,08 m  
 Hdom. IFN4.5 = 18,64 m  
 Hmean. IFN4.5 = 17,37 m  
 P95 predicho = 16,97 m



**E. globulus**  
 Hdom. LIDAR = 33,72 m  
 Hdom. IFN4.5 = 25,12 m  
 Hmean. IFN4.5 = 23,00 m  
 P95 predicho = 22,88 m



### LEYENDA

- ÁREA DE ESTUDIO
- PORTUGAL
- PROVINCIAS LÍMITROFES

#### PARCELAS IFN-4.5

- Eucalyptus globulus
- Pinus pinaster
- Pinus radiata

#### P95 - ALGORITMO 4

- 2.0955
- 47.9091

#### MAPA FORESTAL DE ESPAÑA (MFE25)

- Pinus pinaster
- Pinus radiata
- Eucalyptus globulus