



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,  
Cartográfica y Topográfica

Análisis textural de imágenes satelitales como apoyo a la  
estimación de biomasa forestal con inventarios forestales.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: Llovet Villamayor, Ricardo

Tutor/a: Coll Aliaga, Peregrina Eloína

Cotutor/a: Lerma Arce, Victoria

Director/a Experimental: VINUE VISUS, DAVID

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



## *Agradecimientos.*

Al final del trabajo, miras hacia atrás y ves el largo recorrido y el número de personas que me han ayudado a llegar hasta aquí. Para todos vosotros mi más sincera gratitud.

En primer lugar, quiero agradecer a todas las personas que me han ayudado en este largo camino a realizar este TFG. Sobre todo, a David y Helena por su guía y colaboración durante el proceso.

También agradecer a Vicky por su paciencia y dedicación a la hora de redactar mi trabajo mediante sugerencias y comentarios que me han permitido mejorarlo notablemente.

Además, querría agradecer ante todo a mi familia, que ha sido un pilar fundamental ya que me han arropado siempre en los momentos más difíciles y han sido un gran apoyo para mí.

Asimismo, no podría acabar sin mencionar a mis amigos, los cuales siempre han sabido sacarme unas sonrisas incluso en las peores situaciones y me han brindado su ayuda siempre que la he necesitado.



"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía"



## Resumen

- **Resumen en español**

Realizar una gestión sostenible de los recursos forestales requiere de la estimación de la biomasa forestal con precisión.

La estimación de la biomasa por medio de los inventarios forestales requiere de grandes cantidades de tiempo y recursos, pero este proceso se puede reducir al utilizarse técnicas de teledetección. Esto permite obtener grandes cantidades de información de una manera mucho más sencilla.

Se usarán los inventarios forestales para estimar la biomasa mediante las ecuaciones alométricas. Mediante el análisis de texturas, una técnica de teledetección, se clasifica la zona acuerdo a los valores de los inventarios.

La relación entre la variable de textura y biomasa mejorará precisión y eficacia de las estimaciones de la biomasa con mayor resolución espacial en zonas amplias junto a una reducción de los recursos empleados para este fin.

- **Resumen en inglés:**

Sustainable management of forest resources requires accurate estimation of forest biomass.

Estimating biomass through forest inventories requires substantial amounts of time and resources, but this process can be reduced by using teledetection techniques. This allows large amounts of information to be obtained in a much simpler way.

Forest inventories will be used to estimate biomass using allometric equations. Texture analysis, a teledetection technique, is used to classify the area according to the values of the inventories.

The relationship between the texture variable and biomass will improve accuracy and efficiency of biomass estimates with higher spatial resolution over large areas along with a reduction of resources used for this purpose.

- **Resumen en valenciano:**

Realitzar una gestió sostenible dels recursos forestals requereix de l'estimació de la biomassa forestal amb precisió.

L'estimació de la biomassa per mitjà dels inventaris forestals requereix de grans quantitats de temps i recursos, però aquest procés es pot reduir en utilitzar-se tècniques de teledetecció. Això permet obtindre grans quantitats d'informació d'una manera molt més senzilla.



S'usaran els inventaris forestals per a estimar la biomassa mitjançant les equacions alomètriques. Mitjançant l'anàlisi de textures, una tècnica de teledetecció, es classifica la zona acorde als valors dels inventaris.

La relació entre la variable de textura i biomassa millorarà precisió i eficàcia de les estimacions de la biomassa amb major resolució espacial en zones àmplies al costat d'una reducció dels recursos emprats per a aquest fi.



# Índice

Agradecimientos.....	1
Resumen .....	3
Índice .....	5
Índice de Ilustraciones .....	7
Índice de Tablas .....	10
Índices de Ecuaciones.....	10
1. Introducción.....	11
1.1 Antecedentes .....	11
1.2 Biomasa forestal.....	11
1.3 Sistemas de teledetección .....	12
1.4 Texturas .....	14
2. Objetivos.....	16
3. Materiales y método.....	17
3.1 Zona de Estudio.....	17
3.2 Datos .....	19
3.2.1 Inventario Forestal Nacional (IFN).....	19
3.2.2. Mapa Forestal Español (MFE).....	21
3.3.3 Landsat .....	22
3.3 Software.....	24
3.4 Metodología .....	25
3.4.1 Filtrado de Información .....	26
3.4.2 Cálculo de la Biomasa y su Relación con el Volumen .....	28
3.4.3 Análisis de textura.....	30
3.4.3 Modelo no paramétrico .....	33
4. Resultados y Discusión.....	34
4.1 Cuantificación de la biomasa forestal .....	34
4.1.1 Cálculo biomasa por árbol IFN4 .....	34
4.1.2. Obtención de VCC y transformación en biomasa en el IFN4 .....	35
4.1.3. Resultados IFN3.....	39



4.1.4. Comparación entre inventario sintético (IFN3+) e IFN4.....	41
4.2. Texturas obtenidas .....	44
4.2.1. Estrato 1 .....	47
4.2.2. Estrato 2 .....	49
4.2.3. Estrato 3 .....	51
4.2.4. Estrato 4 .....	53
4.2.5. General .....	55
4.3. Resultados del modelo no paramétrico.....	60
4.3.1. IFN3 Monte Bravo .....	60
4.3.2. IFN3 Latizal .....	62
4.3.3. IFN3 Fustal.....	64
4.3.4 Mapa de Biomasa por Estado IFN3 .....	66
4.3.5. IFN4 Monte Bravo .....	69
4.3.6. IFN4 Monte Latizal.....	71
4.3.7. IFN4 Fustal.....	73
4.3.8 Mapa de Biomasa por Estado IFN4 .....	75
5. Presupuesto .....	77
6. Conclusiones.....	78
6.1 Líneas futuras de investigación y mejoras propuestas .....	79
7. Bibliografía .....	80
8. Anejos .....	83
8.1 Objetivos de desarrollo sostenible .....	83
8.2 Ecuaciones alométricas para <i>Pinus Halepensis Mill.</i> .....	83
8.3 Código de Filtrado.....	84
9. Cartografía .....	89



## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 -Comunidad de Murcia, Comarca del río Mula. Fuente: Wikipedia .....	17
Ilustración 2- Mapa de Pinus halepensis Mill España. Fuente: Miteco .....	17
Ilustración 3- Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	18
Ilustración 4- Pinus Halepensis Mill en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia .....	18
Ilustración 5- Ciclos IFN. Fuente: Alberdi et al. 2016.....	19
Ilustración 6- Muestreo del IFN 3. Fuente: Alberdi et al. 2015 .....	20
Ilustración 7 - Malla de puntos IFN4. Fuente: Elaboración Propia .....	20
Ilustración 8- Mapa Forestal Nacional en Murcia. Fuente: Elaboración Propia .....	21
Ilustración 9- Programa Landsat. Fuente: Wikipedia.....	23
Ilustración 10- Esquema metodología. Fuente: Elaboración Propia .....	25
Ilustración 11 - Ilustración de los Puntos IFN3 junto a la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	26
Ilustración 12 - Tabla PCDatosMap IFN3.....	27
Ilustración 13 - Comparación de posición del IFN3 y IFN4. Fuente: Elaboración propia .....	27
Ilustración 14- Forcípula. Fuente GIS Ibérica .....	28
Ilustración 15- Bio-VCC. Fuente: Elaboración Propia.....	29
Ilustración 16 - Comparativa realidad Estratos.....	31
Ilustración 17 - Tabla de Crecimiento. Fuente: Elaboración Propia.....	42
Ilustración 18 – Tabla de Crecimiento Pinus Halepensis Mill. Fuente: Montero, G., Cañellas, I., & Ruiz-Peinado, R. (2008) .....	43
Ilustración 19- Falso RGB. Fuente: Elaboración Propia.....	44
Ilustración 20- Captura capa “Sin Información Arbolada”. Fuente: MFE .....	45
Ilustración 21- Imagen General 3,4,5. Fuente: Elaboración Propia .....	46
Ilustración 22- Estrato 1. Fuente: Elaboración Propia .....	47
Ilustración 23- GLCM Estrato 1. Fuente: Elaboración Propia .....	47
Ilustración 24- Contraste Estrato 1 Offset1. Fuente: Elaboración Propia.....	48
Ilustración 25- Contraste Estrato 1 Offset2. Fuente: Elaboración Propia.....	48
Ilustración 26- Correlación Estrato 1 Offset1. Fuente: Elaboración Propia.....	48
Ilustración 27- Correlación Estrato 1 Offset2. Fuente: Elaboración Propia.....	48
Ilustración 28- Energía Estrato 1 Offset1. Fuente: Elaboración Propia .....	48
Ilustración 29- Energía Estrato 1 Offset2. Fuente: Elaboración Propia .....	48
Ilustración 30- Homogeneidad Estrato 1 Offset2. Fuente: Elaboración Propia.....	49
Ilustración 31- Ilustración 30- Homogeneidad Estrato 1 Offset1. Fuente: Elaboración Propia .....	49
Ilustración 32- Estrato 2. Fuente Elaboración Propia .....	49
Ilustración 33- GLCM Estrato 2. Fuente: Elaboración Propia.....	50
Ilustración 34- Contraste Estrato 2 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia .....	50
Ilustración 35- Contraste Estrato 2 Offset 2. Fuente: Elaboración Propia .....	50





Ilustración 36- Correlación Estrato 2 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia .....	50
Ilustración 37- Correlación Estrato 2 Offset 2. Fuente: Elaboración Propia .....	50
Ilustración 38- Energía Estrato 2 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia .....	51
Ilustración 39- Energía Estrato 2 Offset 2. Fuente: Elaboración Propia .....	51
Ilustración 40- Homogeneidad Estrato 2 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia.....	51
Ilustración 41- Homogeneidad Estrato 2 Offset 2. Fuente: Elaboración Propia.....	51
Ilustración 42- Estrato 3. Fuente: Elaboración Propia .....	51
Ilustración 43- GLCM Estrato 3. Fuente: Elaboración Propia.....	52
Ilustración 44- Contraste Estrato 3 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia .....	52
Ilustración 45- Contraste Estrato 3 Offset 4. Fuente: Elaboración Propia .....	52
Ilustración 46- Homogeneidad Estrato 3 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia.....	53
Ilustración 47- Homogeneidad Estrato 3 Offset 4. Fuente: Elaboración Propia.....	53
Ilustración 48- Estrato 4. Fuente: Elaboración Propia .....	53
Ilustración 49- GLCM Estrato 4. Fuente: Elaboración Propia.....	54
Ilustración 50- Contraste Estrato 4 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia .....	54
Ilustración 51- Contraste Estrato 4 Offset 4. Fuente: Elaboración Propia .....	54
Ilustración 52- Correlación Estrato 4 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia .....	54
Ilustración 53- Correlación Estrato 4 Offset 4. Fuente: Elaboración Propia .....	54
Ilustración 54- Energía Estrato 4 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia .....	55
Ilustración 55- Energía Estrato 4 Offset 4. Fuente: Elaboración Propia .....	55
Ilustración 56- Homogeneidad Estrato 4 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia.....	55
Ilustración 57- Homogeneidad Estrato 4 Offset 4. Fuente: Elaboración Propia.....	55
Ilustración 58- Imagen General. Fuente: Elaboración Propia.....	55
Ilustración 59- GLCM General. Fuente: Elaboración Propia .....	56
Ilustración 60- Contraste General Offset 1. Fuente: Elaboración Propia.....	56
Ilustración 61- Contraste General Offset 2. Fuente: Elaboración Propia.....	56
Ilustración 62- Correlación General Offset4. Fuente: Elaboración Propia .....	56
Ilustración 63- Correlación General Offset1. Fuente: Elaboración Propia .....	56
Ilustración 64- Energía General Offset 2. Fuente: Elaboración Propia .....	57
Ilustración 65- Energía General Offset 1. Fuente: Elaboración Propia .....	57
Ilustración 66- Homogeneidad General Offset 2. Fuente: Elaboración Propia .....	57
Ilustración 67- Homogeneidad General Offset 1. Fuente: Elaboración Propia .....	57
Ilustración 68- Clasificación Obtenida por las Texturas. Elaboración propia.....	58
Ilustración 69- Comparativa Zona Clasificada. Fuente: Elaboración Propia .....	59
Ilustración 70- Caja de Bigotes IFN3 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia.....	60
Ilustración 71- GPR IFN3 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia.....	61
Ilustración 72- Mapa Biomasa IFN3 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia .....	61
Ilustración 73- Caja de Bigotes IFN3 Latizal. Fuente: Elaboración Propia .....	62
Ilustración 74- GPR IFN3 Latizal. Fuente: Elaboración Propia .....	63



Ilustración 75- Mapa Biomasa IFN3 Latizal. Fuente: Elaboración Propia .....	63
Ilustración 76- Caja de Bigotes IFN3 Fustal. Fuente: Elaboración Propia .....	64
Ilustración 77- GPR IFN3 Fustal. Fuente: Elaboración Propia .....	65
Ilustración 78- Mapa Biomasa IFN3 Fustal. Fuente: Elaboración Propia.....	65
Ilustración 79- Mapa de Biomasa por Estado IFN3. Fuente: Elaboración Propia.....	66
Ilustración 80- Mapa de Estados MFE. Fuente: Elaboración Propia.....	67
Ilustración 81- Mapa de Estados Texturas. Fuente: Elaboración Propia .....	67
Ilustración 82- Bigotes IFN4 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia .....	69
Ilustración 83- GPR IFN4 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia.....	70
Ilustración 84- Mapa Biomasa IFN4 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia .....	70
Ilustración 85- Bigotes IFN4 Latizal. Fuente: Elaboración Propia .....	71
Ilustración 86- GPR IFN4 Latizal. Fuente: Elaboración Propia .....	72
Ilustración 87- Mapa Biomasa IFN4 Latizal. Fuente: Elaboración Propia .....	72
Ilustración 88- Bigotes IFN4 Fustal. Fuente: Elaboración Propia.....	73
Ilustración 89- GPR IFN4 Fustal. Fuente: Elaboración Propia .....	74
Ilustración 90- Mapa Biomasa IFN4 Fustal. Fuente: Elaboración Propia.....	75
Ilustración 91- Mapa de Biomasa por Estado IFN3. Fuente: Elaboración Propia.....	75
Ilustración 92- Mapa de Estados MFE. Fuente: Elaboración Propia.....	76



## *Índice de Tablas*

Tabla 1- Tabla Bandas Landsat 5. Fuente: Wikipedia.....	22
Tabla 2- Estadillos y N.º Observaciones IFN4. Fuente: Elaboración Propia .....	29
Tabla 3 - Tabla Publicaciones 116 IFN4. Fuente: IFN .....	30
Tabla 4 - Tabla Biomasa. Fuente: Elaboración Propia .....	34
Tabla 5- Tabla TL. Fuente: Elaboración Propia .....	35
Tabla 6 -Tabla VCC y IAVC IFN4. Fuente: Elaboración Propia.....	36
Tabla 7 - Tabla Biomasa Estimada IFN4. Fuente: Elaboración Propia.....	37
Tabla 8- Auto Excel IFN4. Fuente: Elaboración Propia.....	38
Tabla 9 -Cálculo de la biomasa IFN3. Fuente: Elaboración Propia.....	39
Tabla 10- Auto Excel IFN3. Fuente: Elaboración Propia.....	40
Tabla 11- Comparación de Inventarios. Fuente: Elaboración Propia.....	41
Tabla 12- MapaEstadoMFE y MapaEstadoTextra. Fuente: Elaboración Propia .....	68
Tabla 13- Tabla Costes TRAGSA. Fuente: TRAGSA .....	77

## *Índices de Ecuaciones*

Ecuación 1 - Formula de Homogeneidad.....	15
Ecuación 2 - Formula de Energía .....	15
Ecuación 3 - Formula de Correlación.....	15
Ecuación 4 - Formula de Contraste.....	15



## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes

El aprovechamiento y la gestión de la biomasa son partes esenciales de la gestión sostenible de los recursos naturales y los ecosistemas, el control y la gestión de la biomasa natural son de gran importancia. La comprensión de cómo se distribuye la biomasa implica la necesidad de recopilar información precisa y confiable sobre su cuantificación y la creación de técnicas efectivas para monitorear su evolución. A lo largo de los años, se han realizado numerosos estudios científicos con el objetivo de comprender y abordar la cuantificación y distribución de la biomasa, además de una variedad de técnicas y métodos para promover una gestión forestal más efectiva.

### 1.2 Biomasa forestal

La biomasa, en su definición más básica, se refiere a la materia orgánica producida por los seres vivos, y desempeña un papel vital en el equilibrio ecológico de nuestro planeta (Balvanera et al., 2014). En el contexto del cambio climático, la biomasa forestal se ha convertido en un tema de gran relevancia debido a su capacidad para mitigar los impactos ambientales, la contabilización y el control adecuados de la biomasa forestal son aspectos cruciales para la sostenibilidad y la conservación de nuestros ecosistemas naturales.

Contrastando la información con otra fuente, la definición que nos proporciona Eurostat<sup>1</sup>(Eurostat, 2019) es que la biomasa es un material orgánico no fósil de origen biológico (plantas y animales) que se utiliza como materia prima para la producción de biocarburantes. También puede denominarse materia prima de biomasa o cultivos energéticos. Incluye una amplia gama de materiales recogidos de la naturaleza o de la parte biológica de los residuos. El ejemplo más típico es la madera (leña, residuos de madera, desechos de madera, ramas de árboles, tocones, pellets de madera, ...), que es la mayor fuente de energía de biomasa. (Kumar et al., 2013) Otros ejemplos de biomasa son la hierba, el bambú, el maíz, la caña de azúcar, los residuos animales, los lodos de depuradora y las algas.

Teniendo los conceptos anteriores, podemos concretar la biomasa del estudio. Esta es la que tiene un origen totalmente vegetal, la cual comprende la materia orgánica almacenada en los bosques, incluyendo árboles, arbustos, ramas caídas, hojas, hierbas y otros residuos vegetales (Pan et al., 2011). Esta biomasa es fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas, ya que proporciona alimento y refugio para una amplia variedad de especies, ayuda a regular los ciclos del agua y los nutrientes, y

---

<sup>1</sup> La Oficina Europea de Estadística



contribuye a la conservación de la biodiversidad. La biomasa se presenta en diferentes formas. Por un lado, está la biomasa viva, que es la que se va a estudiar estando representada por los árboles y las plantas en crecimiento y, por otro lado, encontramos la biomasa muerta, como las ramas caídas y las hojas secas, que también desempeñan un papel crucial. Aunque ya no están vivas, siguen almacenando carbono y contribuyen al ciclo de nutrientes y a la conservación de la biodiversidad (Lindenmayer et al., 2012).

La importancia de este tema se refleja en las metas y objetivos de la ONU establecidos en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (United Nations. (2015)). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible forman un marco integral que se puede utilizar para responder a los desafíos globales y promover la sostenibilidad en todas sus dimensiones: social, económica y ambiental. Varios objetivos de desarrollo sostenible están directamente relacionados con la gestión de la biomasa forestal y su contribución a la mitigación del cambio climático. El ODS 13 “Acción climática” enfatiza la necesidad de tomar acciones urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. La contabilidad y el seguimiento de la biomasa forestal son importantes para comprender el papel de los bosques como sumideros de carbono y desarrollar estrategias de mitigación eficaces. Además, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 15 “Vida en la Tierra” apunta a la gestión sostenible de los bosques y la conservación de la biodiversidad, y destaca la importancia de preservar y restaurar los ecosistemas forestales como medida clave para luchar contra el cambio climático.

Para lograr estos objetivos, las organizaciones internacionales y nacionales son responsables del manejo y control de la biomasa forestal. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) desempeña un papel clave en la promoción de la gestión forestal sostenible y la implementación de programas de evaluación y seguimiento de la biomasa. Además, organizaciones como el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) tienen como objetivo brindar orientación y acuerdos internacionales sobre la contabilidad y el monitoreo de los gases de efecto invernadero, directamente relacionado con la biomasa forestal.

### 1.3 Sistemas de teledetección

La teledetección se define como una técnica que utiliza sensores remotos para adquirir información sobre la superficie terrestre sin la necesidad de un contacto directo. Según Gao et al. (2009) en su estudio "Review article: A review of remote sensing image fusion methods". Se ha demostrado en diversas ocasiones que la teledetección es una herramienta invaluable en el estudio de la biomasa espacial como se muestra a continuación.



Se puede obtener datos a grandes escalas y con diferente temporalidad permitiendo comprender los cambios producidos a lo largo del tiempo, pudiendo cuantificar y comprender sus dinámicas en diferentes ecosistemas. Existen diferentes estudios científicos los cuales respaldan la eficacia de la teledetección en el análisis de la biomasa. Según el trabajo de Huang et al. (2018), titulado "Estimating forest aboveground biomass by integrating ALOS PALSAR and Landsat TM/ETM+ data in the Upper Guinean Forest, West Africa", combinado fuentes de información de diversos satélites como ALOS PALSAR y Landsat TM/ETM+ se puede estimar la biomasa forestal de una parte del bosque guineano en África occidental. Se observó una correlación significativa entre los datos de las mediciones en la zona de la biomasa y los datos obtenidos por teledetección. Demostrando así su viabilidad para evaluar la cantidad de biomasa forestal.

En otro estudio que se realizó en Zhang et al. (2019), titulado "Estimating aboveground biomass in a tropical forest using multi-platform SAR data". Se utilizaron datos de investigadores en el que se utilizaron datos de teledetección SAR de diferentes plataformas, así como también se utilizó Sentinel-1 y ALOS-2 para poder hacer un cálculo de la biomasa sobre el suelo en un bosque tropical. Los resultados muestran con una estimación considerable en la biomasa, donde resalta la capacidad de teledetección utilizando datos SAR para proporcionar informaciones valiosas sobre la estructura y la densidad de la vegetación. Otro ejemplo similar es el trabajo de Lu et al. (2020), titulado "Assessment of aboveground biomass in a temperate forest using multi-platform SAR data" donde el proyecto se enfocó en el uso de la teledetección para poder estudiar el estado de la biomasa sobre el suelo en un bosque templado. Se resaltó una alta correlación entre las mediciones de campo y los valores obtenidos por teledetección, resaltando nuevamente su utilidad.

Explorando casos más cercanos a el estudio realizado, se ha estudiado en otros proyectos el análisis de texturas y su relación con la biomasa. Uno de estos estudios es el realizado por Zhu et al. (2020), titulado "Estimation of Forest Biomass in Beijing (China) Using Multisource Remote Sensing and Forest Inventory Data" donde los investigadores utilizando información de imágenes satelitales y de inventarios forestales, estiman la biomasa forestal en la ciudad de Beijing, China. Se utiliza el análisis de texturas para caracterizar y heterogeneizar la estructura de los bosques, indagando un poco en el potencial que tiene el análisis de textura en estos casos.

Otro estudio relevante en este campo es el realizado por Kelsey y Neff (2014), titulado "Estimates of Aboveground Biomass from Texture Analysis of Landsat Imagery". Se explora la relación entre la textura obtenido por la imagen y la biomasa sobre el suelo en diferentes tipos de ecosistemas pudiendose estimar la biomasa forestal de una forma más precisa y eficiente, destacando nuevamente la relación entre ambas variables para proporcionar estimaciones de biomasa.



Estos estudios sobre el análisis de texturas complementan los casos previamente mencionados, ampliando el enfoque de la teledetección en el estudio de la biomasa. La incorporación de información textural en el análisis permite capturar características detalladas de los bosques, como la estructura y la heterogeneidad, que están directamente relacionadas con la biomasa forestal. Al combinar la información espectral con el análisis de texturas, se puede obtener una imagen más completa y precisa de la distribución y la cantidad de biomasa en un área determinada.

## 1.4 Texturas

Para describir y comprender las características espaciales y estructurales de una escena, el análisis de texturas es una técnica fundamental del procesamiento de imágenes (Smith, 2010). Esta técnica es ampliamente utilizada en el campo de la teledetección para recopilar información detallada sobre la superficie terrestre y identificar patrones importantes (Yu et al., 2018).

Las texturas se refieren a la distribución de píxeles, la variabilidad y los patrones repetitivos de una imagen, que no están directamente relacionados con su contenido espectral (Gonzalez & Woods, 2008). En otras palabras, el análisis de texturas se enfoca en las propiedades espaciales y la distribución de patrones, mientras que la información espectral se centra en las diferencias en la energía reflejada o emitida por los objetos en diferentes longitudes de onda (Pratt, 2007).

Una de las técnicas más comunes utilizadas en el análisis de texturas es la matriz de coocurrencia de niveles de gris (GLCM, por sus siglas en inglés) (Haralick et al., 1973). La GLCM es una representación estadística que describe las relaciones espaciales de los niveles de gris de los píxeles en una imagen. Se utiliza para calcular diversas medidas de textura que reflejan diferentes aspectos de la distribución espacial de los niveles de gris (Li et al., 2019).

Además, existen estadísticos que pueden medir varios aspectos de la textura de una imagen, como la homogeneidad, la rugosidad y la variabilidad, entre otros (Amadasun & King, 1989). Cada estadístico proporciona información específica sobre la estructura y distribución espacial de los objetos y las superficies en la imagen (Singh et al., 2016). En el estudio se han utilizado los siguientes estadísticos para analizar la textura de las imágenes: homogeneidad, rugosidad y variabilidad (Li et al., 2019).



- **Homogeneidad:** Es un estadístico que cuantifica la uniformidad o regularidad de las texturas en una imagen. Mientras mayor sea el valor de homogeneidad, mayor será la uniformidad de las texturas.

$$C_4 = \sum_{i,j} \frac{C_{i,j}}{1+(i-j)^2}$$

*Ecuación 1 - Formula de Homogeneidad*

- **Energía:** También conocida como suma de los cuadrados de la matriz de coocurrencia, es un estadístico que mide la distribución de la energía de las texturas en una imagen. Cuanto mayor sea el valor de energía, mayor será la concentración de la energía en las texturas.

$$C_2 = \sum_{i,j} C_{i,j}^2$$

*Ecuación 2 - Formula de Energía*

- **Correlación:** Este estadístico evalúa la relación lineal entre los píxeles adyacentes en una imagen de textura. Un valor alto de correlación indica una fuerte relación lineal entre los píxeles adyacentes, mientras que un valor bajo indica una falta de correlación o una relación no lineal.

$$C_8 = \frac{C_3 - H_{xy}}{\max(H_x, H_y)}$$

*Ecuación 3 - Formula de Correlación*

- **Contraste:** Es un estadístico que mide la diferencia de intensidad entre los píxeles adyacentes en una imagen de textura. Un valor alto de contraste indica una mayor variación de intensidad entre los píxeles adyacentes, lo que implica una mayor diferencia perceptual entre las texturas.

$$C_1 = \sum_{i,j} (i-j)^2 \cdot C_{i,j}$$

*Ecuación 4 - Formula de Contraste*





## 2. Objetivos

El objetivo del trabajo es cuantificar la biomasa forestal y establecer su relación con el análisis de textura del *Pinus Halepensis Mill.* proporcionado por imágenes satelitales, logrando así un mejor nivel de información sobre la distribución de la biomasa sobre la zona de estudio, permitiendo visualizar y predecir cuál será su comportamiento y evolución a lo largo de los años.

Para lograr la consecución de estos objetivos se establecen como objetivos específicos:

- Procesar y corregir las imágenes de satélite obtenidas para su aplicación en el cálculo de las texturas y clasificación del terreno
- Utilizar y filtrar la información proporcionada por el IFN (Inventario Forestal Nacional) 3 y 4 para obtener la información dendrometría de la vegetación (sus características como puede ser por ejemplo su tamaño)
- Aplicar ecuaciones alométricas para el cálculo de la biomasa a partir de la información obtenida de los inventarios
- Estudiar los modelos de crecimiento ofrecidos por el IFN
- Crear estratos representando diversas zonas en función de la fracción de cabida cubierta para la obtención de las texturas
- Analizar las texturas obtenidas de los diferentes estratos y poder clasificar el terreno de forma más extensa con un mejor nivel de detalle respecto a la fracción de cabida cubierta.
- Obtener un proceso no paramétrico para el cálculo de los mapas de la biomasa, juntando la información de la biomasa obtenida por las ecuaciones alométricas junto al terreno clasificado que se ha obtenido a través de las texturas.

### 3. Materiales y método

#### 3.1 Zona de Estudio

La zona de estudio es La comarca del río Mula, situada justo en el centro de la comunidad de Murcia

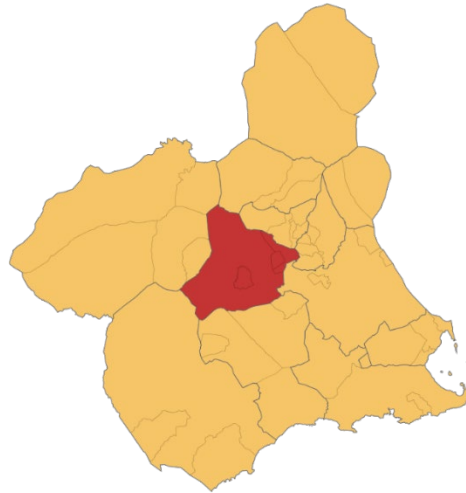


Ilustración 1 -Comunidad de Murcia, Comarca del río Mula. Fuente: Wikipedia

Se ha seleccionado esta ubicación, por su alta concentración de *Pinus Halepensis Mil* como se puede apreciar en la ilustración 2, ya que es la especie estudiada en este proyecto y dispone tanto del inventario forestal nacional 3 y 4



Ilustración 2- Mapa de *Pinus halepensis Mill* España. Fuente: Miteco

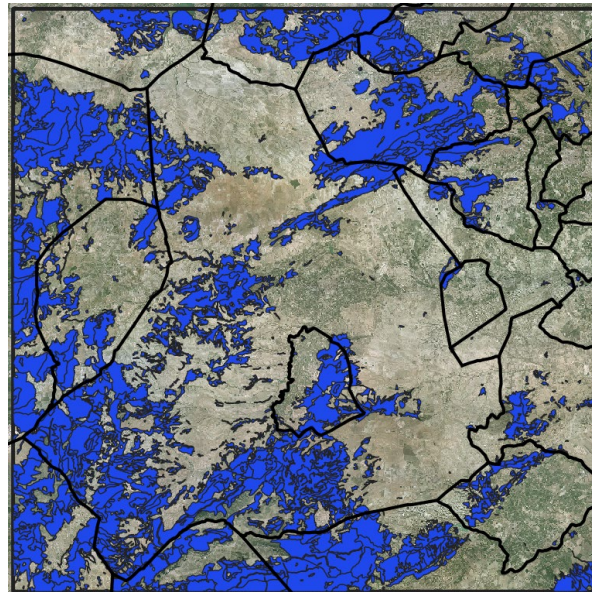


Como se desea estudiar el resultado para dicha comarca, se ha establecido un área de estudio alrededor, que cubra la zona, como resultado se ha obtenido una zona de 40x40 Km alrededor, cubriendo así toda la comarca como se puede observar en la ilustración 3.



*Ilustración 3- Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia*

La mayor parte de los bosques de esta zona está formada mayoritariamente por *Pinus Halepensis Mill* como se ve en la ilustración 4.



*Ilustración 4- Pinus Halepensis Mill en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia*



## 3.2 Datos

### 3.2.1 Inventario Forestal Nacional (IFN)

El objetivo del inventario forestal nacional de España es recopilar información detallada y actualizada sobre los recursos forestales del país mediante un proceso sistemático y exhaustivo. El inventario recoge datos sobre las distintas especies arbóreas que pueblan los bosques de cada provincia y contiene información sobre los valores dendrométricos y el crecimiento de cada árbol, las características de cada parcela inventariada y otros muchos aspectos relacionados con la gestión forestal.

Existen varias versiones del inventario, que se van renovando a lo largo de los años para actualizar la información como se puede observar en la ilustración 5.

Inventario	Ciclo	Estratificación	Parcelas de muestreo	Nº de parcelas
IFN-1	1965-1974	Malla variable en cada provincia, sobre fotografías aéreas	Afijación óptima. Parcelas temporales	65 000
IFN-2	1986-1996	Malla sobre el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, Escala 1:50.000	Malla UTM 1-km x 1-km. Parcelas permanentes	84 203
IFN-3	1997-2007	Malla sobre el Mapa Forestal de España, escala 1:50.000 (MFE 50)	Malla UTM 1-km x 1-km. Parcelas permanentes. Repetición de parcelas. Parcelas remedidas aprox. 85%.	95 327
IFN-4	2008-	Malla sobre el Mapa Forestal de España, escala 1:25.000 (MFE 25)	Malla UTM 1-km x 1-km. Parcelas permanentes. Repetición de parcelas.	98 000 aprox.

*Ilustración 5- Ciclos IFN. Fuente: Alberdi et al. 2016*

Las fechas de realización varían dependiendo en cada comunidad autónoma, como ejemplo en Murcia el IFN4 se publicó en el 2010 mientras que en la comunidad de Valencia se sigue esperando su publicación. En el caso de este proyecto que se utilizará en Murcia, la fecha del inventario forestal nacional 3 es del 1999.

La información se recopila a través de diversos puntos repartidos por todo el territorio, recogiendo información como se ha mencionado anteriormente. Dichos puntos forman una gran malla de puntos kilométricas, al menos en los dos inventarios con los que se va a trabajar, para poder obtener una muestra representativa de parcelas en todo el territorio. Esto nos permite tener una representación relativa de toda la vegetación en el territorio, permitiendo obtener información suficiente para una gestión. Cada punto recopila información de todos aquellos árboles que están dentro de la parcela como se puede ver en la ilustración 6. Registrando sus propiedades a excepción de aquellos que tienen un diámetro inferior a 7.5 cm, los cuales no se registran en el inventario, pudiendo conllevar problemas a la hora de estimar el crecimiento posteriormente.

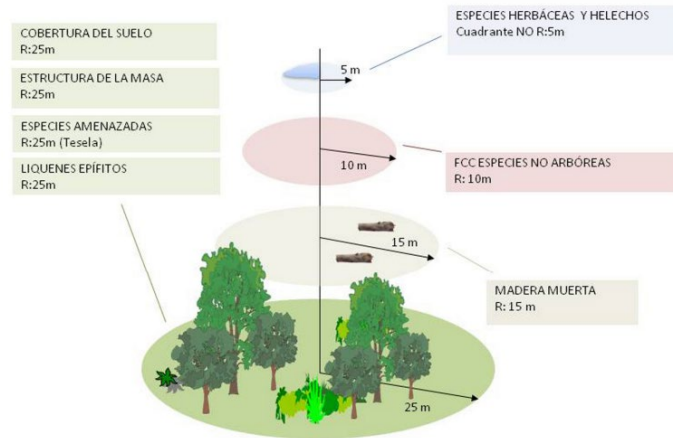


Ilustración 6- Muestreo del IFN 3. Fuente: Alberdi et al. 2015

Como resultado el inventario nos ofrece dos productos, la mencionada malla de puntos kilométricos con todos los árboles registrados por estadillo, se puede ver un ejemplo en la ilustración 7, y por otro lado tenemos el mismo producto enfocado con las teselas del MFE, que permite referenciar la información a las teselas, pudiendo obtener un formato con información referida a polígonos, no solamente a los puntos.

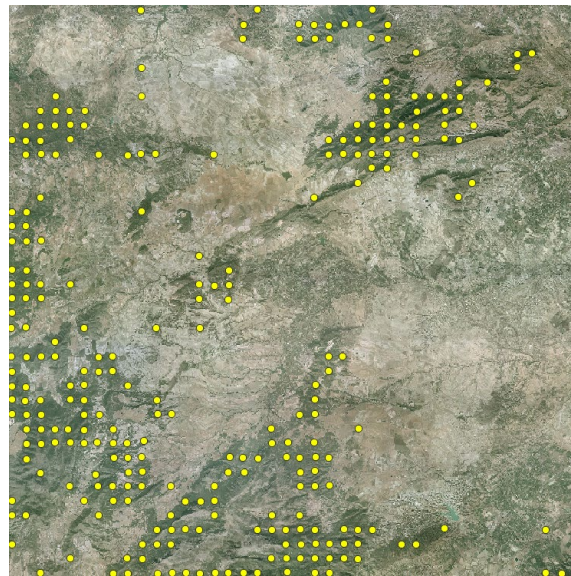


Ilustración 7 - Malla de puntos IFN4. Fuente: Elaboración Propia

Estos resultados se muestran como dos bases de datos, una para datos de campo y otra para datos SIG las cuales están codificadas como un fichero tipo MDB. La base de datos de campo recopila información sobre todas las parcelas, mientras que la base de datos SIG recopila información sobre cada uno de los pies inventariados en la parcela, todo en forma de tablas.



### 3.2.2. Mapa Forestal Español (MFE)

Siguiendo la definición proporcionada por el propio ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, es una herramienta geoespacial que muestra y clasifica la cobertura forestal y otros tipos de vegetación en España. Este mapa es el resultado de un proceso de análisis de imágenes satelitales, teledetección y muestreo en campo que recopiló información detallada sobre la distribución de bosques, matorrales y otros tipos de vegetación en el país.

En esta podemos encontrar que se han formado teselas, las unidades espaciales en las que se divide el territorio, estas unidades representan zonas donde se clasifica y representa la cobertura vegetal, representando las áreas homogéneas con respecto a sus características forestales y su vegetación.

La base de datos contiene una variedad de campos que describen la estructura y la ecología de las masas. El uso de árboles forestales tiene en cuenta hasta tres especies distintas, cada una con su estado de desarrollo (replantado, monte bravo, latizal y fustal), ocupación (porcentaje de la especie en el total de los árboles) y fracción de cubierta (porcentaje del suelo cubierto por las copas de los árboles).

Nos ofrece mapas más generales como el que se ha mostrado en el apartado de zona de estudio, mostrando la distribución de *Pinus Halepensis Mill* por toda la Península. Por otro lado, tenemos productos más específicos como el de la división por teselas.

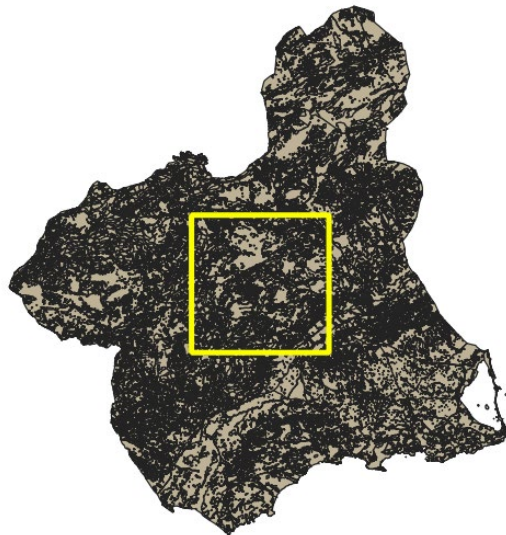


Ilustración 8- Mapa Forestal Nacional en Murcia. Fuente: Elaboración Propia



Hay varias versiones, principalmente cambiando la escala de la cartografía, la versión MFE50 que utiliza la escala 1:50000 se basa en el IFN 3, y la MFE25, una versión mejorada, utiliza la escala 1:25000 para aquellas comunidades que ya disponen del IFN4, en caso contrario utiliza la cartografía existente del MFE50. En este caso, éstas son las que no disponen aun de MFE25 son Castilla-La Mancha, Comunitat Valenciana, Andalucía y Aragón.

### 3.3.3 Landsat

Landsat 5 es un satélite de la serie Landsat gestionado por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Fue lanzado en 1984 y ha sido uno de los satélites de observación de la Tierra más longevos, operando hasta 2013. Durante su vida útil, Landsat 5 ha proporcionado datos ópticos de alta calidad que han sido ampliamente utilizados para el monitoreo ambiental, la gestión de recursos naturales y otras aplicaciones.

Landsat 5 tenía un total de siete bandas espectrales que abarcaban diferentes regiones del espectro electromagnético. Estas bandas incluían tres bandas en el espectro visible y cercano al infrarrojo, una banda en el infrarrojo de onda corta, una banda en el infrarrojo de onda media y dos bandas en el infrarrojo térmico. Cada banda capturaba información única sobre la reflectancia, la temperatura y otras características de la superficie terrestre.

<b>Landsat 4-5</b>	<b>Rango (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Espectral</b>	<b>Resolución (metros)</b>
Band 1	0.45-0.52		30
Band 2	0.52-0.60		30
Band 3	0.63-0.69		30
Band 4	0.76-0.90		30
Band 5	1.55-1.75		30
Band 6	10.40-12.50		120 (30)
Band 7	2.08-2.35		30

Tabla 1- Tabla Bandas Landsat 5. Fuente: Wikipedia



Se ha decidido utilizar Landsat 5 y no Landsat 7 para evitar el conocido problema del bandeado, ya que podemos extraer igualmente la información necesaria. También favorece en las fechas ya que el inventario 3 de Murcia se lanzó en el 1999 y el 4 en el 2010. Se puede representar tanto el antes como el después sin problema y sin tener que buscar correcciones de bandeado.

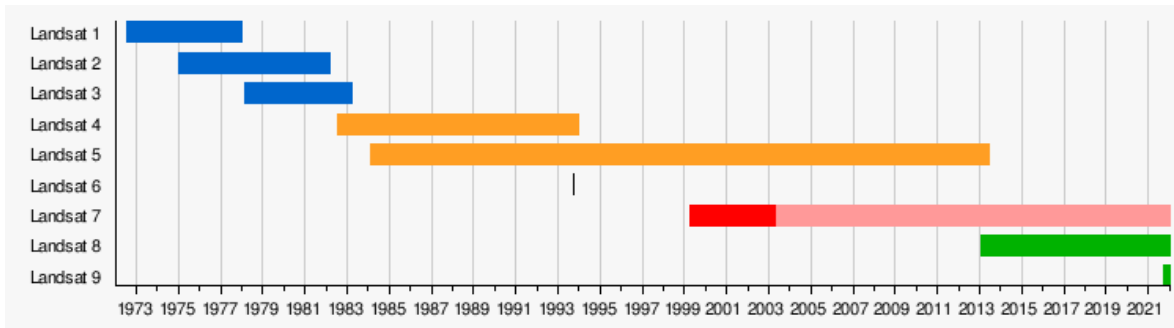


Ilustración 9- Programa Landsat. Fuente: Wikipedia





### 3.3 Software

A continuación, se exponen los distintos softwares que se han utilizado para el desarrollo del trabajo:

- QGis

QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto y gratuito para visualizar, analizar y gestionar datos geoespaciales. Es ampliamente utilizado en cartografía, gestión del territorio y análisis espacial debido a su interfaz intuitiva y funcionalidades versátiles.

- Matlab

MATLAB es un entorno de programación y software especializado utilizado en diversas disciplinas científicas y de ingeniería. Permite el análisis numérico, la visualización de datos, la implementación de algoritmos y el desarrollo de modelos matemáticos. Con MATLAB, los usuarios pueden manipular matrices y realizar cálculos complejos de manera eficiente.

- Envi

ENVI es un software de procesamiento de imágenes y análisis geoespacial ampliamente utilizado en aplicaciones de teledetección y análisis de imágenes. Proporciona un conjunto de herramientas avanzadas para manipular y analizar datos de imágenes, permitiendo la extracción de información significativa de imágenes satelitales, aéreas y terrestres

- Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel y de propósito general que se caracteriza por su simplicidad y legibilidad. Es ampliamente utilizado en diversos campos, como ciencia de datos, inteligencia artificial, desarrollo web y automatización de tareas. Python ofrece una amplia gama de bibliotecas y frameworks que facilitan el desarrollo de aplicaciones y la manipulación de datos.

- SNAP

SNAP (Sentinel Application Platform) es un software de procesamiento y análisis de imágenes de teledetección desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA). SNAP se utiliza principalmente para trabajar con datos de los satélites Sentinel, aunque también admite otros formatos de imágenes de teledetección. Proporciona una amplia gama de herramientas y algoritmos para el preprocesamiento, la visualización, la manipulación y el análisis de imágenes satelitales.

### 3.4 Metodología

A continuación, la ilustración 10 presenta un esquema metodológico de los pasos que se han seguido para realizar los análisis pertinentes en el trabajo. En los apartados siguientes, partiendo de las bases de datos ya comentadas, se procede a ampliar la información sobre cada uno de los pasos seguidos.

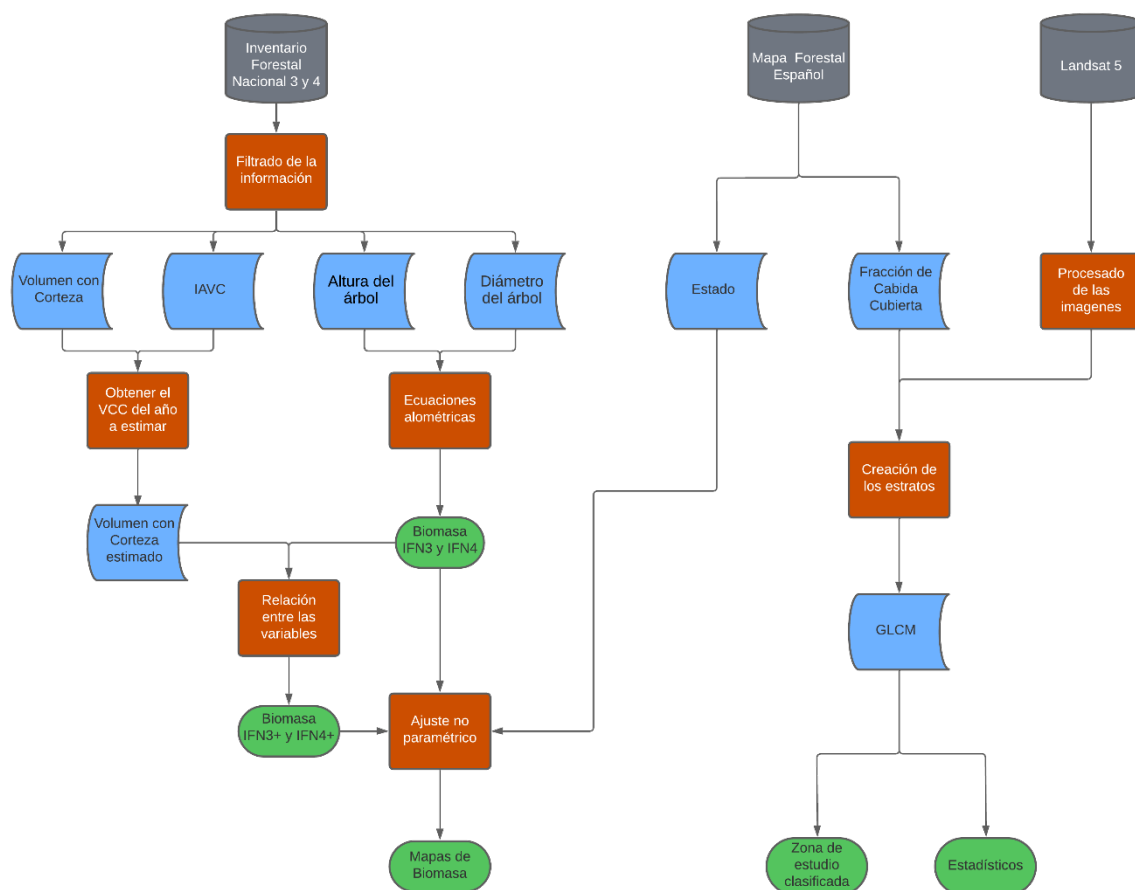
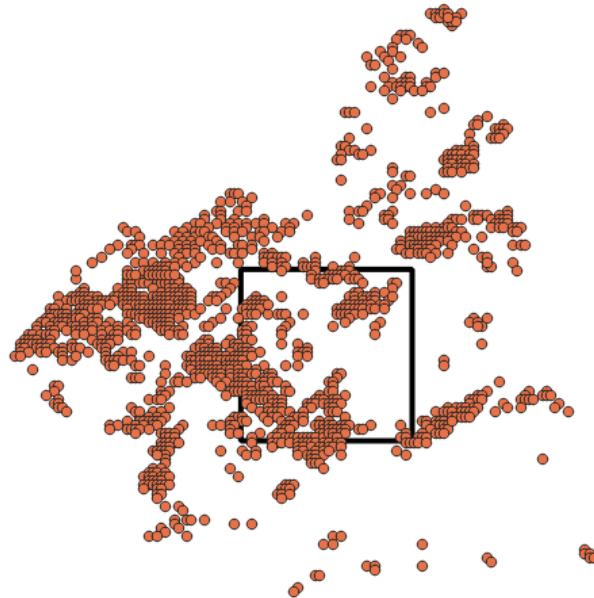


Ilustración 10- Esquema metodología. Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.1 Filtrado de Información

Para poder cuantificar la información del inventario forestal vamos primero a extraer cual es la información que necesitamos, para poder hacer eso, primero tenemos que definir qué puntos del inventario son los que vamos a utilizar. En el caso de la región de Murcia la malla de puntos abarca más tamaño del que necesitamos por lo que primero se representará toda la malla de puntos en QGIS y se utilizará la herramienta de intersección, permitiendo así obtener cuales son las parcelas de estudio que se necesita calcular (en este caso está cuantificado como estadillos).



*Ilustración 11 - Ilustración de los Puntos IFN3 junto a la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia*

Con esto se puede obtener todos aquellos puntos del IFN de nuestra zona de estudio. Esto se traduce en un largo listado de estadillos por el cual luego seremos capaces de filtrar el resto de datos. Esta información se ha obtenido de la tabla “PCDatosMap” dentro de la base de datos de campo del inventario. En esta se han utilizado principalmente la tabla de estadillo, usándose como identificador, la tabla de “CoorX” y “CoorY”.

PCDatosMap— Objetos Totales: 1428, Filtrados: 1428, Seleccionados: 0

	Provincia	Estadillo	Clase	Subclase	Hoja50	CoorX	CoorY
1	30	0313	A		0889	572000	4228000
2	30	0314	A		0889	584000	4228000
3	30	0316	A		0889	586000	4228000

Ilustración 12 - Tabla PCDatosMap IFN3

La especie objetivo del proyecto es el *Pinus Halepensis Mill* (también conocido como Pino Carrasco), por lo que se identifica cual es la codificación de la especie en la documentación de los IFN. Identificando así que estás es la especie 24. Con esto se obtiene los datos exclusivamente de dentro de la zona con la particularidad de que sea de la especie de interés elegida.

Cabe mencionar que al comparar los puntos del IFN3 y el IFN4, podemos ver como estos no cuadran perfectamente los unos con los otros como se puede ver en la ilustración 13

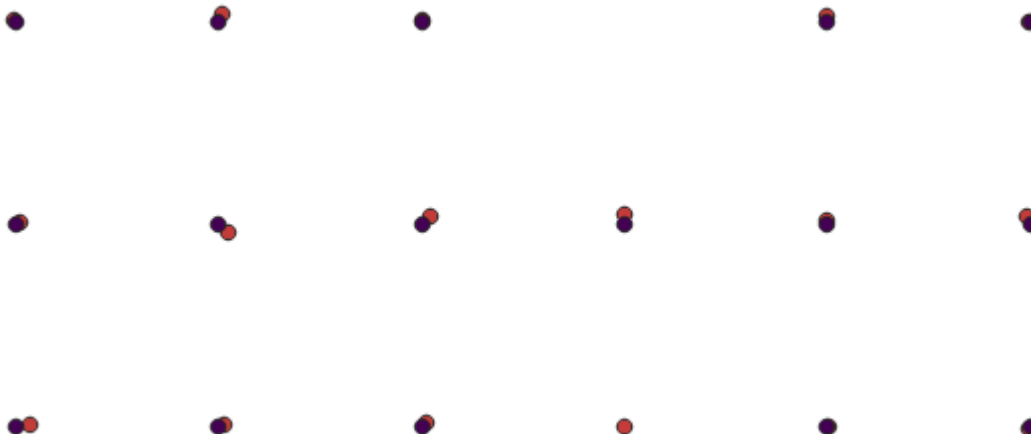


Ilustración 13 - Comparación de posición del IFN3 y IFN4. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar como las diferentes versiones no calzan adecuadamente, siendo las moradas los puntos del IFN3 y las rojas las del IFN4. No se observa un error sistemático ya que la dirección y la distancia con cada punto del IFN3 es prácticamente irregular. Por lo que la explicación más sencilla es que las coordenadas del propio IFN3 estén aproximadas, si revisamos la tabla que se ha utilizado antes para representar los puntos, se puede observar que en caso del IFN3 que todos los puntos de coordenadas X e Y acaban siempre en 000, es siempre el punto ideal para la mencionada malla de puntos kilométrica que recorre todo el territorio.



Por muy ideal que suene esto, no es coherente que siempre puedas hacer una lectura en el punto exacto, sin que tengas ninguna clase de problemas con la pendiente, señal del GPS ...Por lo que simplemente se ha llegado a la conclusión de que se ha aproximado los valores del IFN3 a la zona ideal de la malla

Todo este proceso de filtrado junto al cálculo de la biomasa se realiza de forma automática a partir de un programa de Python. Esto se explicará brevemente más adelante

### 3.4.2 Cálculo de la Biomasa y su Relación con el Volumen

Ahora que se han obtenido los puntos de interés dentro de nuestra zona de estudio, se procede al cálculo de la biomasa. Pero para eso primero se debe mencionar cómo funcionan las parcelas.

Estás son listados de un gran número de observaciones de árboles dentro de un radio determinado donde para poder obtener la biomasa tenemos que transformar las variables dasométricas de los árboles que nos ofrece las dichas observaciones a biomasa cuantificable, por lo que utilizaremos las ecuaciones alométricas de Ruiz Peinado para coníferas (2011). Las ecuaciones se encontrarán más adelante en los anexos.

Dichas ecuaciones utilizan el diámetro de tronco y la altura. Primero se debe tratar con los diámetros que ofrece el propio inventario, estos vienen en milímetros y hay dos de ellos, uno se toma con la forcípula, como se puede ver en la ilustración 14, apuntando al centro de la parcela y la otra es el radio perpendicular al primero.



*Ilustración 14- Forcípula. Fuente GIS Ibérica*

Por lo que se hace una media de ambos y se pasan a centímetros, unidades requeridas por las fórmulas alométricas. La altura no necesita ningún tratamiento por lo que simplemente se tomará directamente. Luego de aplicar las fórmulas obtenemos la biomasa de cada árbol en Kilogramos, por lo que para obtener la biomasa de la parcela tenemos que sumar todos los árboles que representen la parcela de estudio o dicho de una forma más simple, todos aquellos en los que estén catalogados dentro del mismo estadillo.



Estadillo	Nº Observaciones IFN4
509	5
516	5
518	3
624	11
627	5
628	8
629	22
630	21

Tabla 2- Estadillos y N.º Observaciones IFN4. Fuente: Elaboración Propia

Hay un total de más de 3200 observaciones en el IFN4 para 267 estadillos, por otra parte, se tiene alrededor de 2600 observaciones para 262 estadillos. Luego de aplicar el cálculo se obtiene la biomasa tanto del año 1999 haciendo referencia al IFN3 como a la biomasa del 2010 haciendo referencia al IFN4. Con esto podríamos ver la variación de la biomasa real, pero ahora se va a pasar a estudiar la biomasa teórica, utilizando los incrementos de volumen con corteza (IAVC).

Ahora que tenemos la biomasa, tenemos que relacionarlo de alguna forma con el volumen, ya que es la única herramienta que ofrece el propio inventario para poder hacer estimaciones de crecimiento a futuro.

Si tomamos la definición directa que nos ofrece el Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente del gobierno vasco, obtenemos que el Volumen con corteza (VCC, m<sup>3</sup>) es el volumen maderable del fuste principal, desde la base hasta el diámetro mínimo de 7,5 cm. Por lo que, para poder cuantificarlo, relacionaremos el valor de la biomasa del tronco y de las ramas gruesas. Lo primero que se ha intentado es ver si se obtiene una relación lineal entre ambos parámetros, obteniéndose lo siguiente:

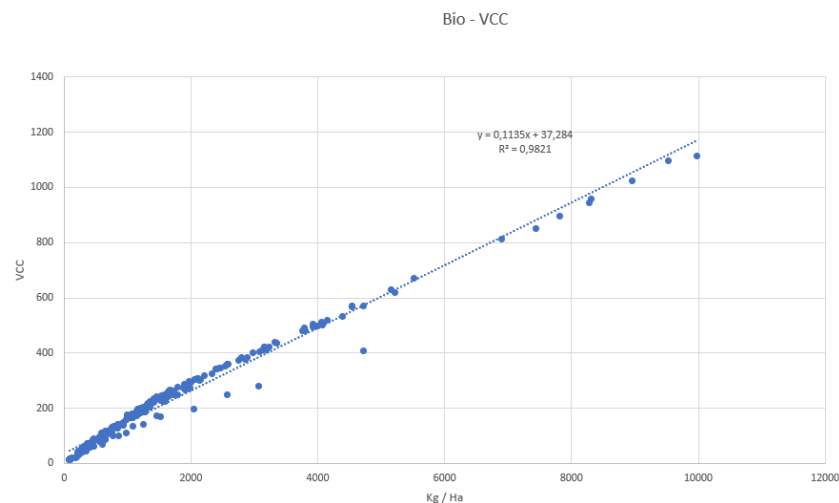


Ilustración 15- Bio-VCC. Fuente: Elaboración Propia



Se puede observar en la ilustración 15 que a través de la ecuación presentada entre ambas variables podemos convertir dichos crecimientos anuales en biomasa del tronco y de las ramas gruesas, se obtiene el porcentaje de biomasa total con respecto al árbol, para poder luego estimar la biomasa de los siguientes años. Esto se repite en cada observación ya que cada árbol tiene su propio valor de incremento anual.

Pero este sistema está lejos de ser perfecto, porque lo que se obtiene principalmente es un valor X que se multiplica por los años que se desee estimar, haciendo que el crecimiento sea totalmente lineal, el cual no se asemeja con el crecimiento de la vegetación, pero esto discutirá en el siguiente apartado. Esto permite que de forma aproximada a pesar de los desperfectos podemos crear un inventario forestal sintético, esto nos permite poder comparar el crecimiento de la biomasa con inventarios futuros o por el contrario nos permite tener una estimación a futuro de cuál será la biomasa.

### 3.4.3 Análisis de textura

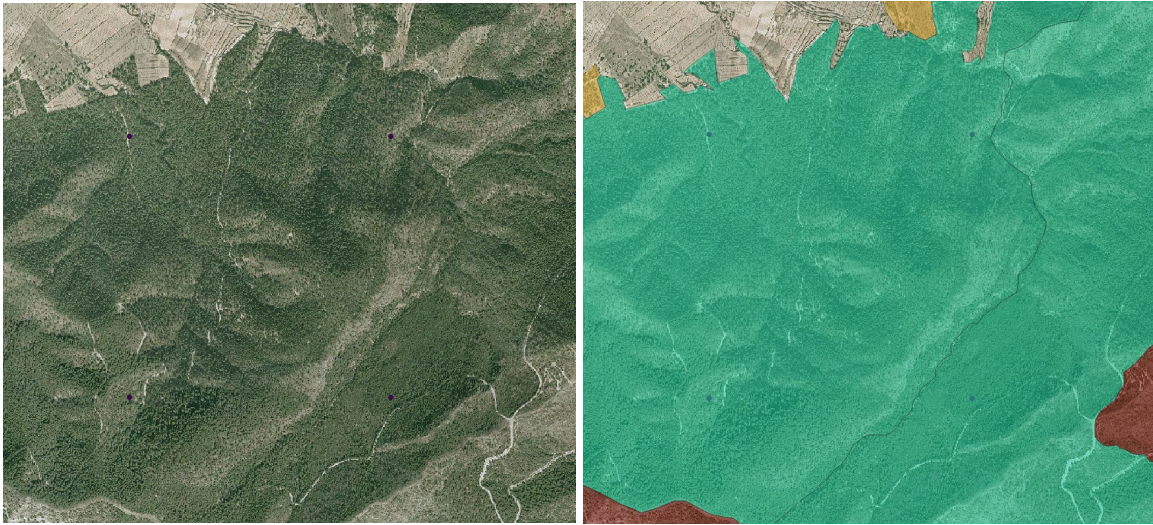
Lo que se busca realizar es una clasificación de la vegetación de la zona de estudio en función de la cabida cubierta. Esto en parte se puede obtener del propio inventario forestal nacional, en el apartado de estrato.

PROVINCIA	ESTRATO	CÓD FAN	FORMACIÓN ARBOLADA PROVINCIAL	FCC (%)
30	01	24	Pinares de pino carrasco ( <i>Pinus Halepensis Mill</i> )	70-100
30	02	24		40-69
30	03	24		10-39
30	04	24		40-100
30	05	24		10-39

Tabla 3 - Tabla Publicaciones 116 IFN4. Fuente: IFN

Lo que se puede ver en la tabla es un extracto de la publicación de datos del inventario forestal nacional 4, donde se define cual es porcentaje de fracción de cabida cubierta (FCC) que posee la zona, pero no siempre se dispone de un detallado inventario o lo suficientemente actualizado para poder aplicarlo siempre, por lo que se opta por la realización de una clasificación propia como se va a explicar a continuación.

Tomando de ejemplo una muestra de nuestra zona de estudio



*Ilustración 16 - Comparativa realidad Estratos*

En la ilustración 16 se puede observar que a pesar de que toda la zona este aglomerada como el mismo tipo de estrato, haciendo referencia a la fracción de cabida cubierta, se puede ver a simple vista que no toda la zona comparte las mismas propiedades de cabida cubierta. Por lo que el análisis proporcionará información más detallada de la zona de la que se tiene actualmente.

Primero se seleccionará cuáles son las bandas que vamos a necesitar de las que nos ofrece Landsat 5

- Banda 2 y 3

La elección de las bandas 2 (verde) y 3 (rojo) se basa en su capacidad para capturar la reflectancia de la vegetación y su relación con la estructura y el contenido de clorofila de las plantas. Estas bandas permiten estimar la biomasa verde y proporcionar datos sobre la densidad y salud de la vegetación. Tian, Xin & Li, Zeng-Yuan & Su, Bob & Erxue, Chen & Tol, C. & Guo, Yun & Li, L. & Ling, F.. (2014).

- Banda 4

La banda 4 (infrarrojo cercano) es una banda útil para estimar la biomasa vegetal porque es sensible a la cantidad de clorofila y la estructura foliar. La reflectancia en esta banda está relacionada con la cantidad de biomasa y se puede usar para calcular índices de vegetación como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que se ha utilizado ampliamente para estimar la biomasa. GeoJournal 59, 177–187 (2004)





- Banda 5

La banda 5 (infrarrojo medio) es sensible tanto a la estructura como al contenido de agua de las plantas. La reflectancia en esta banda puede proporcionar información importante sobre la biomasa y la humedad de la vegetación, lo que ayuda a una mejor estimación de la biomasa total.

Para el análisis se utilizarán una combinación de dichas bandas para poder representar la zona de los diferentes estratos que se han obtenido, pudiéndose así visualizar de forma más simple. Para el cálculo del GCML se utilizará la banda 5, como se ha mencionado anteriormente es bastante sensible a la estructura de las plantas por lo que para el propósito de clasificar en función de la función de la cabida cubierta será bastante útil.

Para el cálculo del GCML la distancia y la dirección son dos componentes clave en el análisis de textura y el cálculo de la GLCM. Estos parámetros permiten capturar la relación espacial entre los píxeles de una imagen y revelan cómo se distribuyen los patrones de textura en la imagen. La siguiente es una explicación de la importancia de la dirección y la distancia en este contexto:

**Dirección:** La orientación en la que se calculan las coocurrencias entre los píxeles vecinos se conoce como dirección. Se pueden capturar varios tipos de patrones de textura especificando varias direcciones. Por ejemplo, tomar solo la dirección horizontal puede ser útil para analizar la textura en estructuras lineales, mientras que tomar la dirección diagonal puede revelar patrones diagonales o en forma de rombos. Al usar múltiples direcciones, se puede obtener una representación más completa de la textura y se pueden identificar patrones texturales en diferentes orientaciones.

**Distancia:** La distancia es la distancia entre los píxeles cercanos que se toman en cuenta en el cálculo del GLCM. Al ajustar la distancia, se puede determinar la escala de los patrones de textura en la imagen. Se pueden detectar patrones texturales finos y detallados a una distancia más pequeña, mientras que se pueden detectar patrones texturales más grandes y generalizados a una distancia más grande.

En nuestro caso se tomará una distancia de 10 y a partir de bucles se hará los cálculos para las 8 direcciones, para posteriormente contrastar las soluciones entre si mientras se compararán también los estadísticos introducidos anteriormente para poder comparar también las diferentes texturas



### 3.4.3 Modelo no paramétrico

Siguiendo la línea de trabajo paralela a las texturas, utilizándose la biomasa calculada anteriormente se procedido a hacer un proceso no paramétrico para poder calcular los valores de la biomasa más allá de los puntos del propio inventario forestal. Para esto se ha utilizado la metodología que Vinué-Visús et al. (2022), haciendo uso de Procesos de Regresión Gaussiana, valores de la biomasa calculada y los valores de la reflectividad. A partir de los valores de la biomasa se forman 6 subconjuntos aleatoriamente, siendo 5 de estos para entrenar el modelo y el sexto como validación

Se calculan tres mapas de biomasa para toda la zona del estudio que tenga vegetación (seis en total ya que son tres por IFN), pero su valor solo es acertado cuando se sitúa sobre su estado adecuado. Los diferentes estados se obtienen del Mapa Forestal Español y son Monte Bravo, Latizal y Fustal. Se ha separado la biomasa en estos tres grupos para que se pueda acoplar mejor el modelo. Más adelante se comparará la clasificación de estos tres estados con los que se obtiene con las texturas.



## 4. Resultados y Discusión

### 4.1 Cuantificación de la biomasa forestal

#### 4.1.1 Cálculo biomasa por árbol IFN4

Como se ha mencionado anteriormente, a partir de las ecuaciones alométricas se ha calculado la base de datos que se muestra en la tabla 4. Estas formulas toman la información dasométricas para cuantificarla en biomasa. A continuación, se muestra un fragmento de la base de datos.

Estadillo	T L	Dn1_m	Dn2_m	Ht_m	Tronco Kg	V Z	RamaGru esa Kg	RamaMed Kg	RamaFin Kg	Raiz Kg
509	7	284	270	13,399	142,91	1	0,785	29,483	75,223	60,232
509	4	171	174	9,5	39,293	0	0	6,729	20,711	23,358
509	7	332	279	10,30	133,620	1	11,974	30,180	73,071	73,264
509	6	267	281	7	73,048	0	0	17,000	41,328	58,934
509	10	475	521	14	482,615	1	87,549	129,605	279,454	194,683
514	3	120	121	6,099	12,311	0	0	3,431	9,144	11,398
514	3	88	78	5,3000	5,075	0	0	2,928	6,423	5,407
514	3	111	113	5,199	9,066	0	0	3,352	8,071	9,847
514	4	139	143	8,5	23,489	0	0	4,154	13,293	15,606
514	4	141	139	8,699	23,702	0	0	4,091	13,295	15,386
514	4	128	140	6,800	16,972	0	0	3,856	10,997	14,095
514	3	98	102	5,300	7,3670	0	0	3,112	7,3100	7,85
516	4	126	124	5	10,859	0	0	3,697	8,965	12,265
516	4	146	157	5,199	16,589	0	0	4,608	11,632	18,017
516	3	92	87	4,90	5,455	0	0	3,076	6,68878998	6,28804625

Tabla 4 - Tabla Biomasa. Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4 se puede observar la biomasa calculada para cada parte del árbol utilizando las ecuaciones de Ruiz Peinado para coníferas (2011). Esto ha permitido transformar la



información dasométrica en biomasa cuantificable en Kg utilizando únicamente los diámetros y las alturas que nos proporciona el propio inventario forestal nacional. Otra parte destacada es que como se puede observar hay diferentes entradas referenciando al mismo estadillo. Esto es lo que se explica anteriormente en la metodológica de que hay que combinar las distintas entradas de cada estadillo para saber la biomasa de la parcela.

También se puede observar la columna TL, haciendo referencia a “Truck length” esta ha sido creada para poder clasificar cada planta en función de su tamaño de tronco para poder estimar más tarde cual es la edad estimada. La tabla 5 describe el significado de los diferentes TL

TL	Diámetro Cm
1	$X < 3.25$
2	$3.25 < X < 7.5$
3	$7.5 < X < 12.5$
4	$12.5 < X < 17.5$
5	$17.5 < X < 22.5$
6	$22.5 < X < 27.5$
7	$27.5 < X < 32.5$
8	$32.5 < X < 37.5$
9	$37.5 < X < 42.5$
10	$X > 42.5$

Tabla 5- Tabla TL. Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2. Obtención de VCC y transformación en biomasa en el IFN4

Ahora que tenemos la biomasa lo primero es obtener el VCC y el IAVC de cada uno de dichas plantas para poder estimar la biomasa. El único método de crecimiento que presenta el inventario es a partir del incremento con corteza que ofrece. Como se menciona anteriormente este VCC solo hace referencia al volumen contenido en el tronco y en las ramas gruesas, por lo que necesitamos saber cuál es el porcentaje de biomasa que estas partes ocupan en el árbol, por lo que se extrae al dividir la biomasa del tronco y de las ramas gruesas respecto al total de la biomasa. Como dice la palabra el IAVC es el incremento anual, por lo multiplicamos los 10 años de diferencia entre los dos inventarios y los sumamos al VCC que obtenemos por el inventario para obtener VTT.



Estadillo	%TR	VCC M <sup>3</sup>	IAVC m <sup>3</sup>	VTT m <sup>2</sup>
509	0,465	309,186	6,399	373,178
509	0,436	114,764	2,482	139,581
509	0,452	291,747	7,784	369,585
509	0,384	140,341	6,261	202,954
509	0,486	946,552	20,684	1153,388
514	0,339	32,492	1,211	44,602
514	0,256	17,056	0,575	22,801
514	0,299	25,570	1,046	36,032
514	0,415	85,112	1,658	101,693
514	0,420	85,512	1,635	101,858
514	0,370	72,884	1,498	87,859
514	0,287	50,938	0,834	59,278
516	0,303	29,394	1,303	42,425
516	0,326	41,618	1,914	60,760
516	0,254	48,336	0,668	55,017
516	0,217	46,359	0,534	51,697
516	0,341	60,805	1,486	75,668

Tabla 6 -Tabla VCC y IAVC IFN4. Fuente: Elaboración Propia

Ahora que se ha obtenido el volumen que tendrá la vegetación en un futuro, siendo este el VTT que se muestra en la tabla 6, se debe hacer el proceso de volver a transformarse en biomasa, aplicando la función lineal mostrada anteriormente, se calcula la biomasa a partir del volumen.



Estadillo	Biomasa Pie Kg	BioTR	%TR	VTT	BPNY	Biomasa Pie Nuevo Año Kg
509,000	308,639	143,701	0,466	373,178	204,984	440,264
509,000	90,092	39,293	0,436	139,581	58,929	135,114
509,000	322,111	145,595	0,452	369,585	202,738	448,531
509,000	190,313	73,049	0,384	202,954	98,553	256,758
509,000	1173,909	570,166	0,486	1153,388	692,805	1426,409
514,000	36,287	12,312	0,339	44,602	45,559	13,428
514,000	19,835	5,075	0,256	22,801	14,086	35,054
514,000	30,338	9,067	0,299	36,032	15,814	39,453
514,000	56,544	23,489	0,415	101,693	35,240	84,831
514,000	56,475	23,702	0,420	101,858	35,343	84,212
514,000	45,922	16,972	0,370	87,859	26,591	71,947
514,000	25,639	7,367	0,287	59,278	8,720	30,349
516,000	35,788	10,859	0,303	42,425	13,817	45,987
516,000	50,848	16,590	0,326	60,760	9,647	29,569
516,000	21,509	5,456	0,254	55,017	6,056	23,876
516,000	18,424	4,003	0,217	51,697	3,980	18,319
516,000	42,808	14,616	0,341	75,668	18,968	55,555

Tabla 7 - Tabla Biomasa Estimada IFN4. Fuente: Elaboración Propia

Haciendo referencia a la tabla 7 la columna de Biomasa Pie hace referencia a la suma de la biomasa de las diferentes partes de la planta obteniendo así cuantos Kg de biomasa esta posee. BioTR hace referencia a que parte de la anterior biomasa hace referencia exclusivamente a el tronco y a las ramas gruesas, la que está relacionada con el VCC. Una vez hecho eso más adelante se puede observar BPNY esta es la biomasa que se obtiene al pasar el VTT (el VCC actualizado) a biomasa nuevamente, pero haciendo referencia únicamente a la biomasa del tronco y ramas gruesas por lo que, al pasar el porcentaje para obtener la biomasa del árbol completo, se obtiene Biomasa Pie Año Nuevo.

Una vez obtenida la biomasa estimada al año que se necesite, pasamos agrupar los diferentes estadillos obteniendo el siguiente resultado obteniéndose así la tabla 8



Estadillo	Nº Observaciones	TL	SBTR	SBP Kg	Biomasa 2010 T/HA	SBPTRN A	BioHaTRN A T/Ha	SBPACN A Kg	Biomasa 2020 T/Ha
509	5	7	971,804	2085,064	29,498	1258,009	17,797	2707,077	38,297
514	7	3	97,984	271,040	3,834	85,539	1,210	195,489	2,766
516	5	4	51,524	169,378	2,396	36,835	0,521	121,332	1,716
518	3	3	17,388	69,655	0,985	20,683	0,293	81,239	1,149
624	11	4	193,731	583,250	8,251	238,299	3,371	713,390	10,092
627	5	3	193,659	458,967	6,493	271,871	3,846	634,007	8,969
628	8	4	443,005	1089,934	15,419	605,673	8,569	1486,316	21,027
629	22	4	1039,814	2397,614	33,919	1511,236	21,380	3475,828	49,173
631	10	4	255,385	715,700	10,125	295,928	4,187	769,393	10,885
633	13	6	1020,950	2301,686	32,562	1448,037	20,486	3262,684	46,158
635	1	5	23,337	73,147	1,035	35,723	0,505	111,973	1,584
636	5	3	39,873	144,546	2,045	51,813	0,733	185,699	2,627
637	10	4	197,083	582,473	8,240	248,150	3,511	732,081	10,357
640	6	4	130,630	362,360	5,126	195,219	2,762	538,140	7,613
641	6	4	172,779	480,116	6,792	232,952	3,296	645,762	9,136
647	12	5	432,301	1035,595	14,651	634,127	8,971	1510,524	21,370

Tabla 8- Auto Excel IFN4. Fuente: Elaboración Propia

Con esto se obtiene la biomasa con la unidad con la que se trabaja mayoritariamente T/Ha, para empezar, se puede observar el número de observaciones haciendo referencia al número de pies o árboles que están observados para dicha parcela, por supuesto el número no es constante y este variará dependiendo de la cantidad de vegetación en la zona de estudio. TL pierde importancia porque ahora ya no es la clasificación singular de cada árbol en un grupo si no que es la moda dentro de las diferentes observaciones, por lo que este pasa a ser simplemente un indicador sobre de que tipo es la mayoría de tamaño de la zona.



El resto de las columnas de la tabla 8 hacen referencia al resto de resultados simplemente agrupados. También cabe recalcar que todos estos resultados son del IFN 4, a continuación, se mostrarán los resultados del IFN3, aunque la metodología es exactamente la misma ya que todo se realiza automáticamente con el programa de Python, principalmente cambian los datos de entrada ya que la estructura de la base de datos entre ambos inventarios es prácticamente la misma.

Para el caso de resultados de biomasa (Tabla Auto Excel IFN4), se han mostrado 17 de 270 elementos.

#### 4.1.3. Resultados IFN3

A continuación, se van a mostrar los resultados del IFN3, como la metodología es la misma solamente se mostrará la tabla del cálculo de la biomasa por partes de los diferentes árboles y la tabla de resultado de biomasa (Auto Excel IFN3).

Estadillo	TL	Dn1_mm	Dn2_mm	Ht_m	Tronco Kg	VZ	Rama Gruesa Kg	Rama Med Kg	RamaFin Kg	Raiz Kg
509	6	268,000	212,000	8,500	68,054	0,000	0,000	14,302	37,099	45,216
509	6	242,000	245,000	6,500	53,571	0,000	0,000	12,331	30,689	46,544
516	3	96,000	105,000	3,500	4,914	0,000	0,000	3,506	6,952	7,929
518	3	90,000	87,000	4,000	4,355	0,000	0,000	3,286	6,561	6,148
622	4	151,000	154,000	5,000	16,163	0,000	0,000	4,636	11,529	18,256
622	6	286,000	260,000	8,000	82,876	0,000	0,000	18,658	45,997	58,505
622	5	180,000	182,000	8,000	36,430	0,000	0,000	7,064	20,169	25,717
622	5	208,000	190,000	7,500	41,284	0,000	0,000	8,510	23,102	31,087
622	6	400,000	387,000	10,000	215,231	1,000	46,523	54,196	122,099	121,551
622	5	216,000	212,000	8,500	54,108	0,000	0,000	10,821	29,343	35,950
622	6	234,000	221,000	8,500	61,150	0,000	0,000	12,556	33,237	40,629
622	6	314,000	295,000	9,000	115,993	1,000	11,582	26,695	64,184	72,785
622	4	142,000	139,000	6,000	16,463	0,000	0,000	4,164	11,149	15,496
624	4	128,000	151,000	5,000	13,525	0,000	0,000	4,144	10,230	15,276
624	4	134,000	127,000	5,000	11,836	0,000	0,000	3,855	9,422	13,369
624	4	134,000	136,000	6,000	15,200	0,000	0,000	3,942	10,540	14,307
624	3	98,000	106,000	5,000	7,231	0,000	0,000	3,207	7,363	8,167
624	4	175,000	171,000	5,500	22,881	0,000	0,000	5,716	14,669	23,494
624	4	131,000	124,000	6,000	13,558	0,000	0,000	3,669	9,764	12,761
624	4	154,000	153,000	6,500	21,288	0,000	0,000	4,803	13,267	18,496
624	4	126,000	148,000	5,000	13,044	0,000	0,000	4,060	9,998	14,734

Tabla 9 -Cálculo de la biomasa IFN3. Fuente: Elaboración Propia





Estadillo	TL	SBTR Kg	Nº Obs	Biomasa 1999 kg	Biomasa T/Ha 1999	SBPTRNY Kg	BioHa TRNY_T/Ha	SBPACNY Kg	Biomasa T/Ha 2010
509,000	6	121,625	2	307,806	4,355	261,908	3,705	665,436	9,414
516,000	3	4,914	1	23,301	0,330	8,188	0,116	38,828	0,549
518,000	3	4,355	1	20,350	0,288	3,643	0,052	17,024	0,241
622,000	6	697,804	9	1625,890	23,002	1318,569	18,654	3124,313	44,200
624,000	4	118,563	8	357,816	5,062	347,628	4,918	1045,221	14,787
627,000	4	19,127	1	52,331	0,740	61,248	0,866	167,571	2,371
628,000	6	356,401	6	868,654	12,289	697,107	9,862	1726,262	24,422
629,000	4	705,512	20	1680,002	23,767	1680,278	23,771	4008,708	56,712
631,000	4	39,406	4	139,407	1,972	108,217	1,531	376,233	5,323
633,000	5	542,872	11	1287,731	18,218	1282,755	18,147	3051,295	43,167
635,000	4	16,214	1	53,327	0,754	58,630	0,829	192,838	2,728
636,000	3	31,500	5	123,489	1,747	121,678	1,721	492,426	6,966
637,000	3	59,492	5	205,296	2,904	194,737	2,755	675,469	9,556
640,	4	122,227	7	348,489	4,930	329,887	4,667	933,732	13,210
641	4	122,728	4	338,206	4,785	338,276	4,786	950,557	13,448
647	5	237,559	8	580,892	8,218	586,735	8,301	1424,212	20,148
648	4	278,760	12	639,543	9,048	636,796	9,009	1445,590	20,451

Tabla 10- Auto Excel IFN3. Fuente: Elaboración Propia



#### 4.1.4. Comparación entre inventario sintético (IFN3+) e IFN4

Estadillo	INF3 T/Ha	IFN3+ T/Ha	IFN4 T/Ha
1508	24,428	57,351	53,717
1509	1,802	4,614	2,937
1510	24,041	53,547	33,111
1511	20,113	43,480	29,749
1512	7,707	10,580	58,933
1513	10,319	24,489	22,499
1514	19,007	46,566	32,558
1516	31,238	66,990	42,928
1517	59,451	100,267	76,523
1519	8,226	21,823	12,540
1520	43,289	101,024	59,656
1521	15,479	43,103	36,313
1522	32,390	75,442	43,917
1523	19,034	45,626	20,512
1524	19,862	43,180	40,191
1526	19,628	39,087	52,305
1527	26,505	64,885	47,457
1528	2,127	5,376	5,952
1531	6,636	20,033	9,033
1532	8,906	22,817	11,631
1533	32,538	65,074	22,811
1534	10,223	18,199	17,335
1535	4,512	11,186	13,782
1536	21,170	37,164	40,334
1537	32,880	77,945	69,430
1539	5,593	16,428	11,974
1541	15,967	32,432	55,730

Tabla 11- Comparación de Inventarios. Fuente: Elaboración Propia

Podemos observar en la tabla 11 que tenemos principalmente tres casos uno en el que la biomasa es relativamente similar el cual se sitúa en la minoría de los casos, donde se



puede decir que el modelo de crecimientos funciona correctamente más o menos o por lo que sea no ha habido un crecimiento por una falta de gestión o problemas como puede ser un incendio.

Por otro lado, encontramos donde la biomasa del IFN4 es mayor a la del sintético, esto se puede deber a una razón muy simple, no se cuantifican todos aquellos árboles que sean menor a 7,5 cm de diámetro de tronco, por lo que cuando pasa el tiempo, si por alguna razón había muchos brotes, estos crecen, materializándose como repentina biomasa que no se puede clasificar en los inventarios sintéticos ya que estos no las cuantifican. Podría solucionarse si todos los árboles fueran cuantificados, pero no es realmente una tarea real, ya que si ese fuera el caso incluso de deberían añadir los mismos arbustos.

El caso más común es aquel en el que la biomasa estimada es mucho mayor que la del IFN, esto se debe a que como se ha mencionado anteriormente, el crecimiento estimado es simplemente un valor lineal que crece infinitamente como se puede apreciar en la ilustración 17.

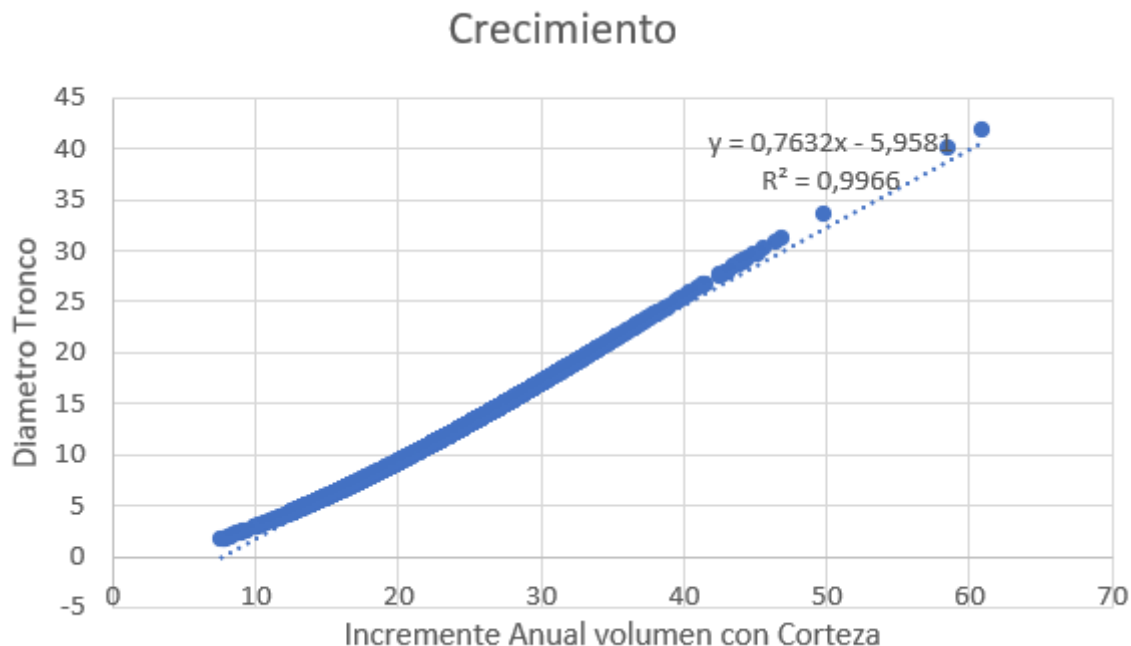


Ilustración 17 - Tabla de Crecimiento. Fuente: Elaboración Propia

No obstante, si lo comparamos con el crecimiento real de la especie de *Pinus Halepensis Mill.*, al principio crece en una tendencia similar pero cuando llega a cierta edad se estabiliza y tiende a mantenerse con el tiempo. Relacionado con nuestro caso, cuando se llegará a cierto punto el crecimiento de volumen con corteza debería reducirse lentamente hasta crecer de forma mínima. Esto no se refleja con el crecimiento que nos ofrece el

propio inventario, el cual crece de forma totalmente ilimitada y de forma ideal, cosa que se refleja en estos casos ya que el modelo lineal no puede capturar todas las variables de su crecimiento por lo que no es el modelo más adecuado (Vanclay, 1994)

Para solucionar puede haber un par de opciones, pero primero se debe saber cuál es el crecimiento real de dicha especie como se puede apreciar en la ilustración 18.

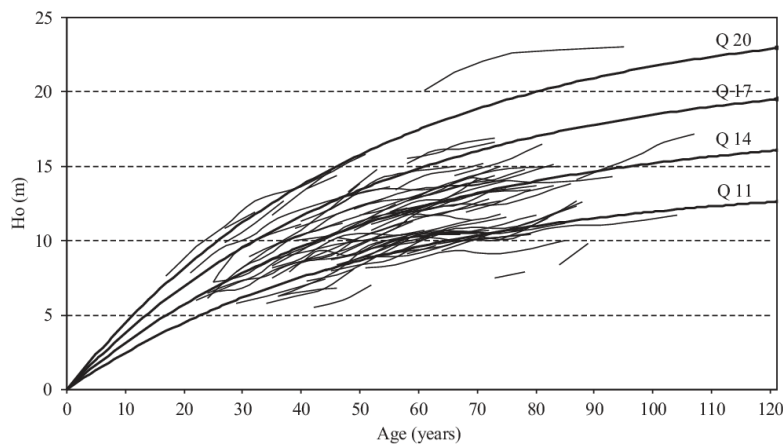


Ilustración 18 – Tabla de Crecimiento Pinus Halepensis Mill. Fuente: Montero, G., Cañellas, I., & Ruiz-Peinado, R. (2008)

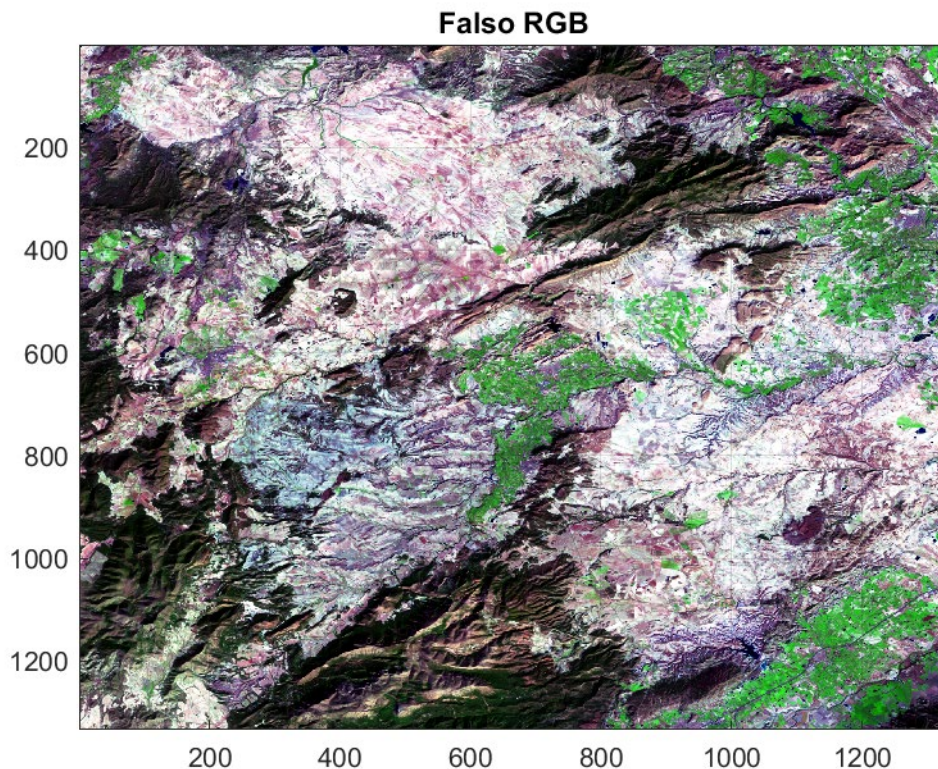
Para poder obtener un crecimiento más preciso, podemos hacer una de las siguientes soluciones que permiten tener un crecimiento más adecuado que el que se presenta:

- Se puede multiplicar los diferentes tramos de TL por un valor rectificador, para poder así compensar de alguna manera estimando la edad del árbol a partir de su diámetro. Pero eso también supone que se tiene que hacer un programa más riguroso donde cada año se actualiza y recalcula la biomasa para así poder corregir este defecto, ya que una planta TL 6 eventualmente crecerá hasta TL10, por lo que no se puede aplicar siempre el mismo factor corrector.
- Adaptar una función que se ajuste a los valores medios del crecimiento, para poder así “emular” cuál es el crecimiento real de a la planta. Pero se necesitarían más datos para poder moldearlo adecuadamente y un control más riguroso sobre la vegetación, el cual actualmente no se posee.

## 4.2. Texturas obtenidas

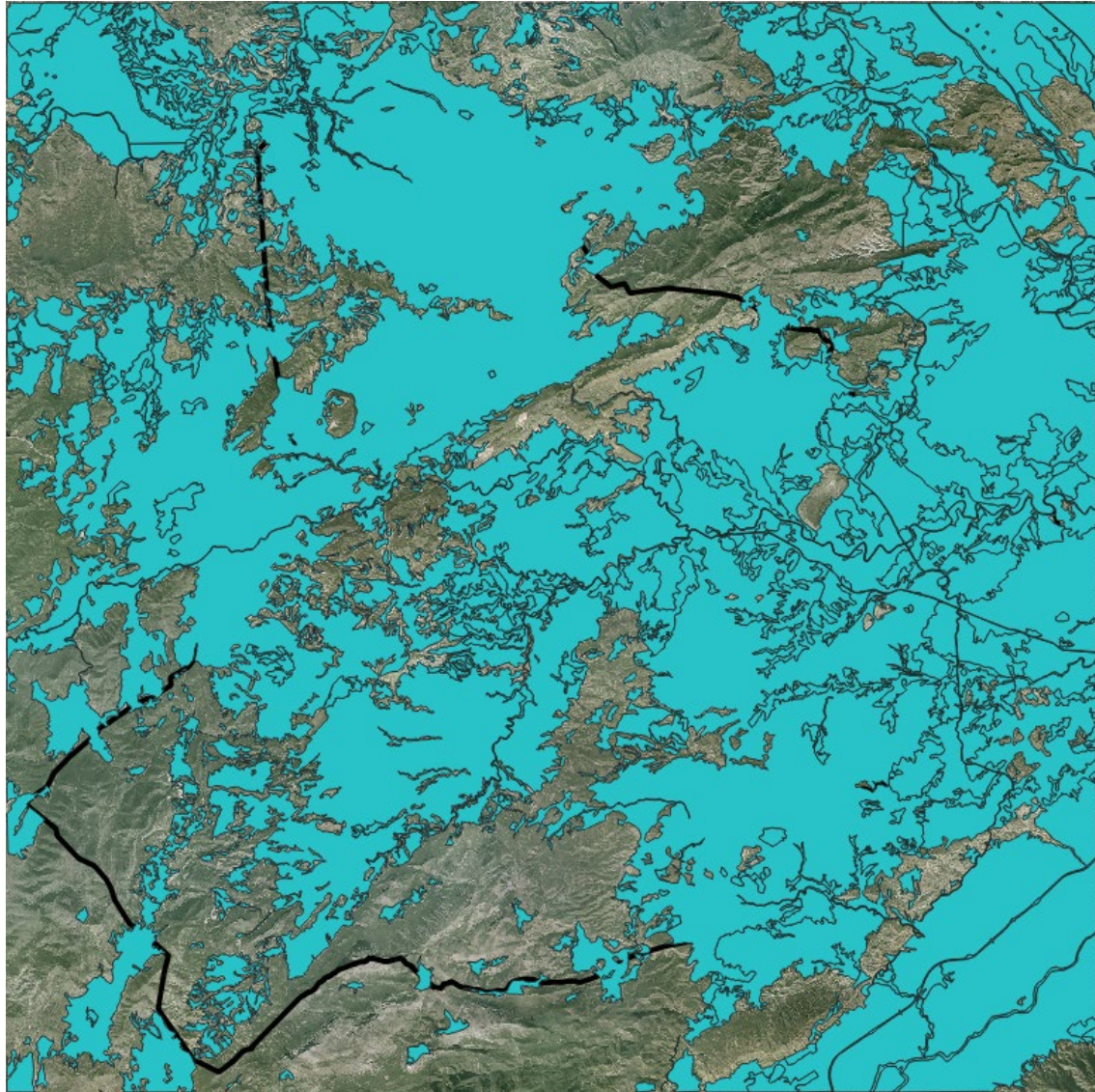
Siguiendo con las texturas primero se han definido en cuatro zonas, representándose así los diferentes estratos, pudiendo así estudiar cual es la respuesta de las diferentes zonas y posteriormente se ha hecho el cálculo para toda la zona de estudio, obteniéndose así la zona clasificada.

Para empezar, se usa la siguiente imagen de falso color para poder visualizar mejor la zona de estudio. Y obtener así los diferentes estratos. Como se ha mencionado anteriormente este se ha obtenido al juntar las bandas 2,3,4 de landsat 5.



*Ilustración 19- Falso RGB. Fuente: Elaboración Propia*

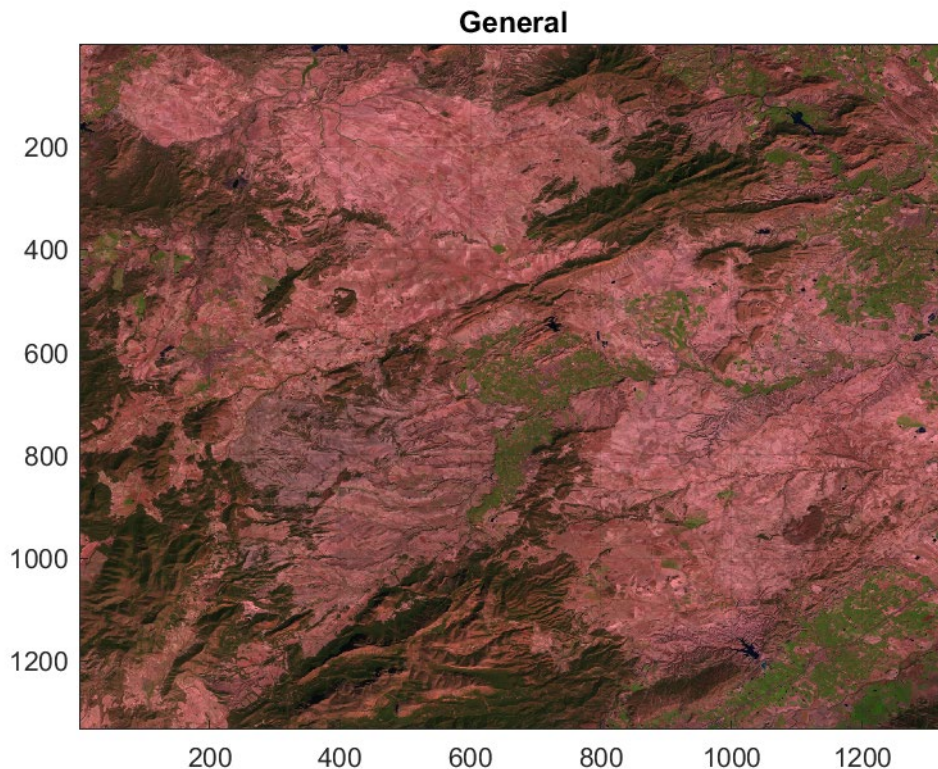
Se puede apreciar en la ilustración 19 que la zona con vegetación se muestra con colores verde claro las zonas que tienen una fracción de cabida cubierta bastante baja, coincidiendo con zonas extendidas de cultivo o parcelas agrícolas de la zona. A diferencia del verde más oscuro que se puede observar de una zona relativamente cercana. Esta corresponde a los diferentes bosques de la zona.



*Ilustración 20- Captura capa "Sin Información Arbolada". Fuente: MFE*

Como se puede observar, la ilustración 20 muestra las zonas "Sin Formación Arbolada" que nos ofrece el propio Mapa forestal español, se puede ver que las zonas verdes mostradas anteriormente coinciden con zonas incluidas en dicha capa, confirmándose así de que dichas zonas forman parte de la vegetación agrícola, irrelevante para el estudio. Por otro lado, también se puede contemplar que las zonas con verde más oscuro calza junto a las zonas que no se incluyen en la captura, siendo está zona en la que efectivamente la que se incluye información de los distintos bosques.

Una vez se ha diferenciado mejor las zonas de interés con las que no, se obtiene una imagen similar a la anterior la cual se puede observar en la ilustración 34, pero en este caso eliminando la capa 2 e introduciendo la 5 en esta combinación de capas.

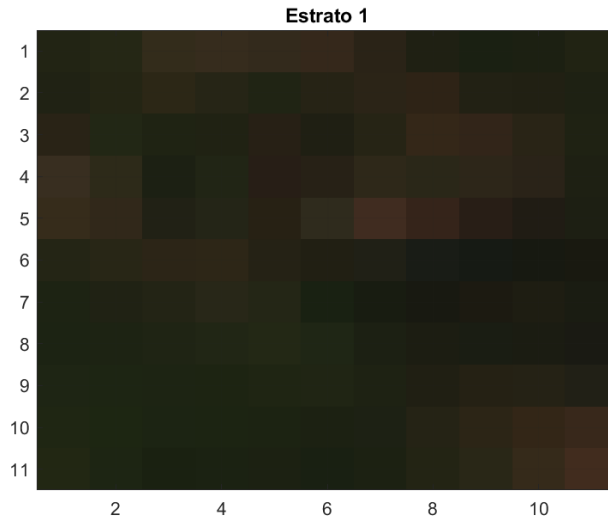


*Ilustración 21- Imagen General 3,4,5. Fuente: Elaboración Propia*

Es muy similar a la ilustración 21, no teniendo tanto contraste entre lo que se podría llamar como vegetación y lo que no. Pero como ventaja se puede decir que se aprecian mejor los cambios en la vegetación, a pesar de estar visualizando la inmensa zona de estudio, se puede observar mejor la distribución y tendencia de la vegetación.

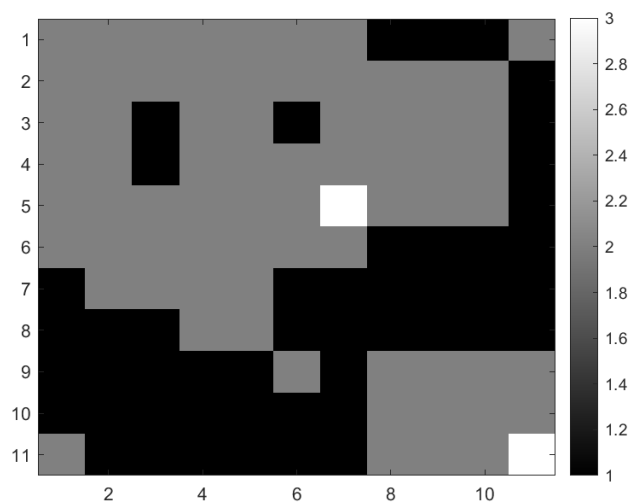
Siguiendo con el proceso, ahora se muestra el estrato 1, haciendo referencia a una zona con una alta concentración de vegetación, traduciéndose en un gran porcentaje de cabida cubierta. Las ventanas se han realizad de 11x11 pixeles al igual que otros trabajos mencionados en la introducción. También se va a introducir los estadísticos calculados para cada estrato usando las diferentes direcciones.

#### 4.2.1. Estrato 1



*Ilustración 22- Estrato 1. Fuente: Elaboración Propia*

En la ilustración 22 se puede ver una zona prácticamente en su mayoría de tonos verdes oscuros, con algunos píxeles mostrándose algunas zonas de claridad en la zona, siendo éstas una minoría, aunque totalmente necesarias para que la luz tenga una mayor penetración en el suelo. A continuación, la ilustración 23 muestra el GLCM calculado



*Ilustración 23- GLCM Estrato 1. Fuente: Elaboración Propia*





Se observa que la zona con mayor con mayor fracción de cabida cubierta está clasificada como 1, mientras que la que menor como tres. Como se puede ver no todo el estrato es de fracción cubierto ya que eso no es realmente demasiado real. A continuación, las ilustraciones entre la número 24 y la número 30 muestran los estadísticos, representando en el eje inferior la longitud a medida que se aleja del punto origen en las diferentes direcciones.

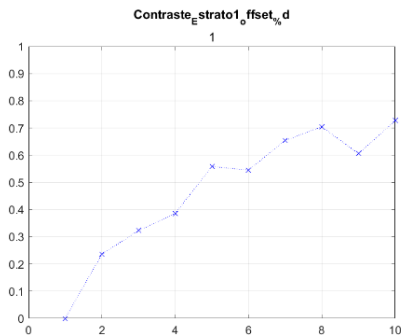


Ilustración 24- Contraste Estrato 1 Offset1.  
Fuente: Elaboración Propia

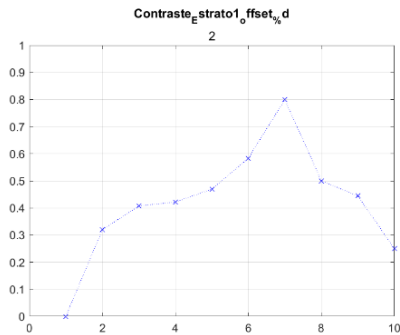


Ilustración 25- Contraste Estrato 1 Offset2.  
Fuente: Elaboración Propia

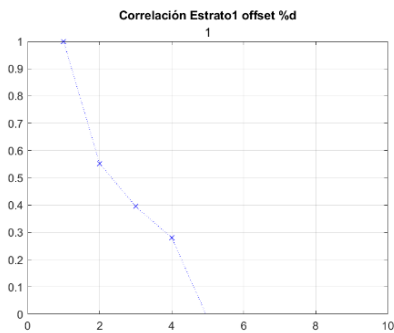


Ilustración 26- Correlación Estrato 1 Offset1.  
Fuente: Elaboración Propia

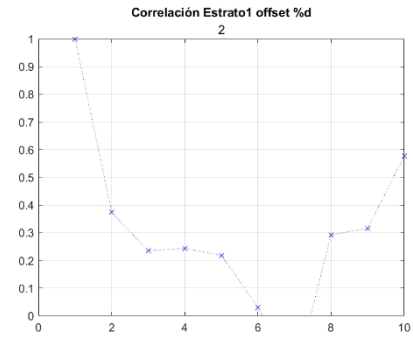


Ilustración 27- Correlación Estrato 1 Offset2.  
Fuente: Elaboración Propia

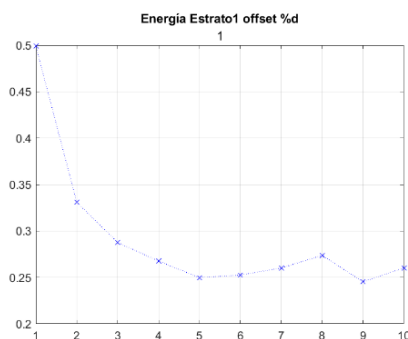


Ilustración 28- Energía Estrato 1 Offset1. Fuente:  
Elaboración Propia

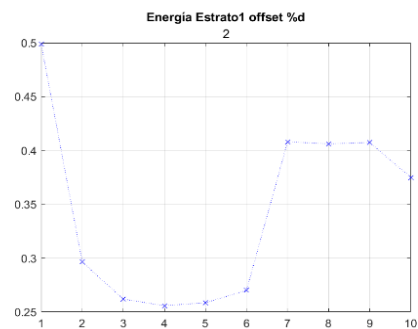


Ilustración 29- Energía Estrato 1 Offset2. Fuente:  
Elaboración Propia

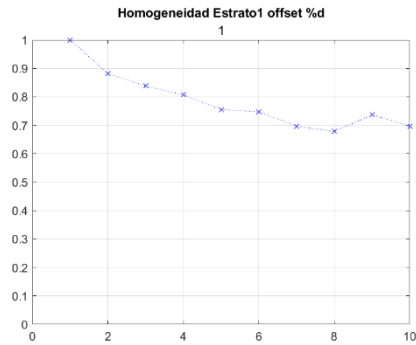


Ilustración 31- Homogeneidad Estrato 1 Offset1. Fuente: Elaboración Propia

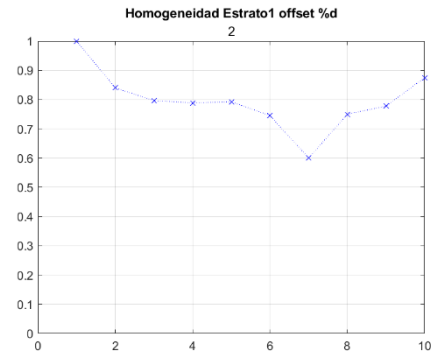


Ilustración 30- Homogeneidad Estrato 1 Offset2. Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.2. Estrato 2

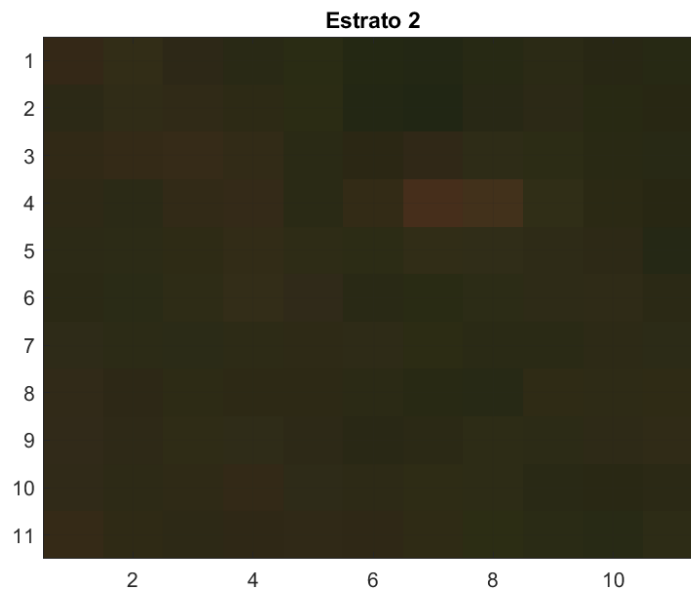


Ilustración 32- Estrato 2. Fuente Elaboración Propia

En la ilustración 32 se puede ver una zona que, a pesar de tener zonas verdes menos intensas, se comienza a apreciar más el propio suelo con algunos pixeles mostrándose algunas zonas de claridad en la zona, siendo éstas una minoría. A continuación, la ilustración 33 muestra el GLCM calculado

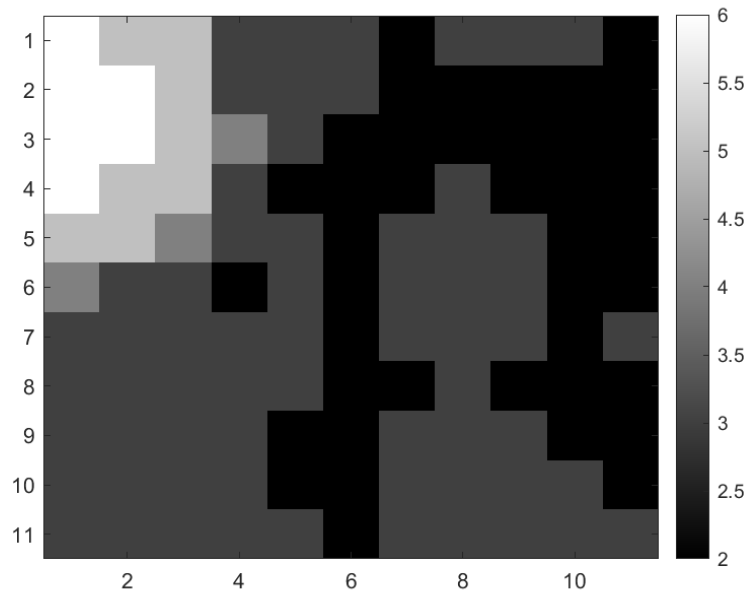


Ilustración 33- GLCM Estrato 2. Fuente: Elaboración Propia

A pesar de que tenga la misma tonalidad que la ilustración 33, se puede observar que es un valor inferior. Indicando que a pesar de tener el mismo tono esas zonas en la ilustración 23 tiene menor fracción de cabida cubierta que la anterior.

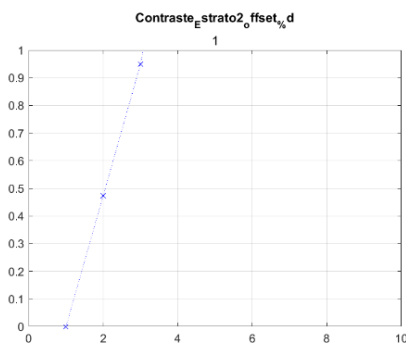


Ilustración 34- Contraste Estrato 2 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia

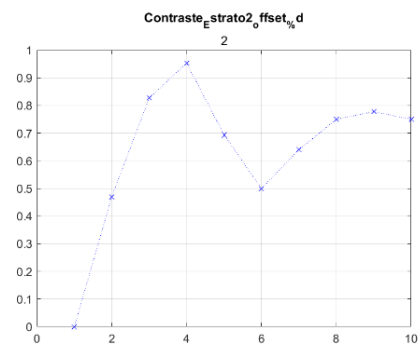


Ilustración 35- Contraste Estrato 2 Offset 2. Fuente: Elaboración Propia

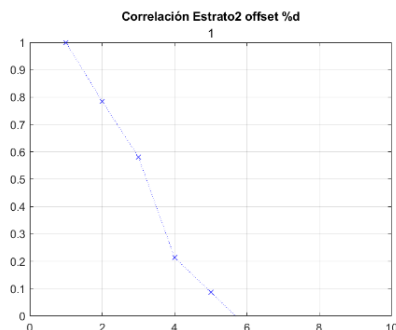


Ilustración 36- Correlación Estrato 2 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia

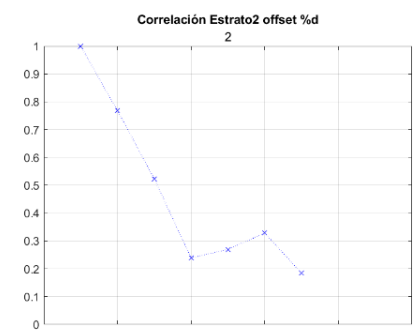


Ilustración 37- Correlación Estrato 2 Offset 2. Fuente: Elaboración Propia

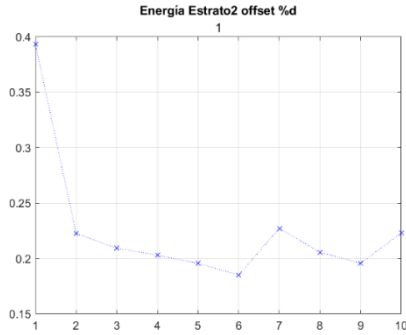


Ilustración 38- Energía Estrato 2 Offset 1.  
Fuente: Elaboración Propia

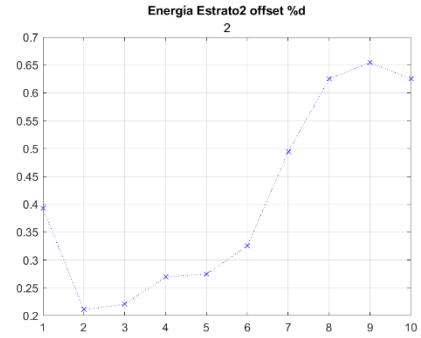


Ilustración 39- Energía Estrato 2 Offset 2.  
Fuente: Elaboración Propia

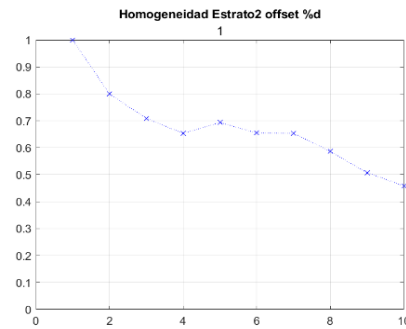


Ilustración 40- Homogeneidad Estrato 2 Offset 1.  
Fuente: Elaboración Propia

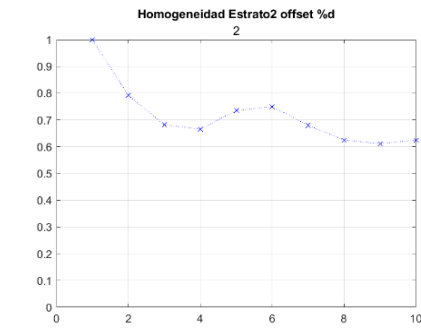


Ilustración 41- Homogeneidad Estrato 2 Offset 2.  
Fuente: Elaboración Propia

### 4.2.3. Estrato 3

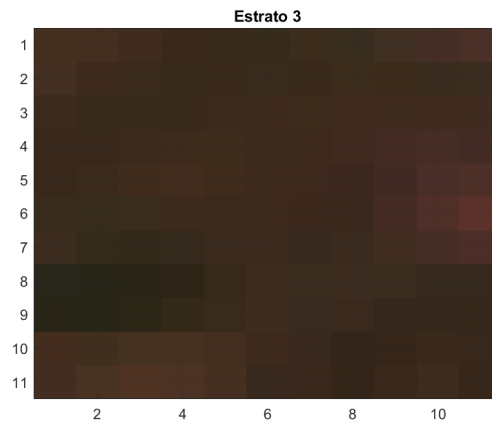


Ilustración 42- Estrato 3. Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 42 se puede ver una zona que la vegetación comienza a escasear notoriamente, viéndose mayoritariamente suelo. A continuación, la ilustración 43 muestra su GLCM calculado y sus diferentes estadísticos

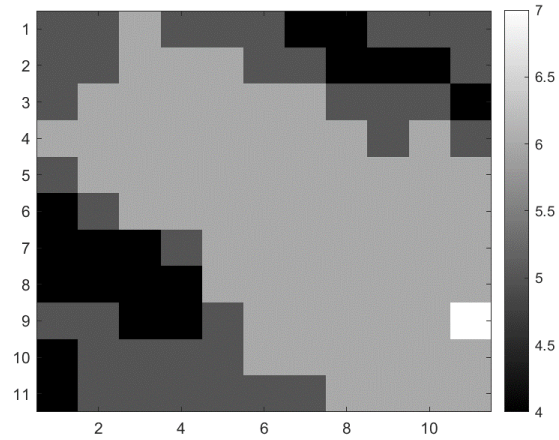


Ilustración 43- GLCM Estrato 3. Fuente: Elaboración Propia

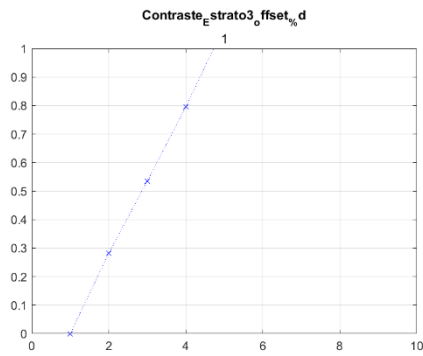


Ilustración 44- Contraste Estrato 3 Offset 1.  
Fuente: Elaboración Propia

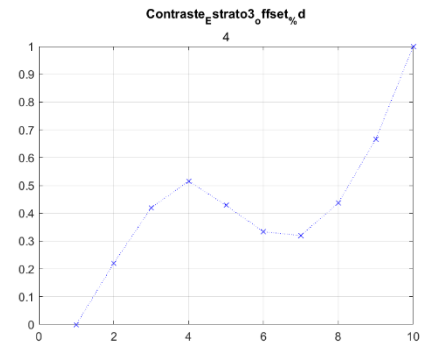


Ilustración 45- Contraste Estrato 3 Offset 4.  
Fuente: Elaboración Propia

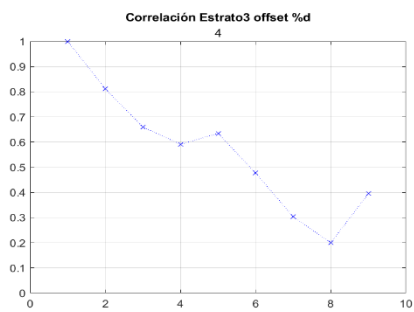


Ilustración 49- Correlación Estrato 3 Offset 1:  
Fuente: Elaboración Propia

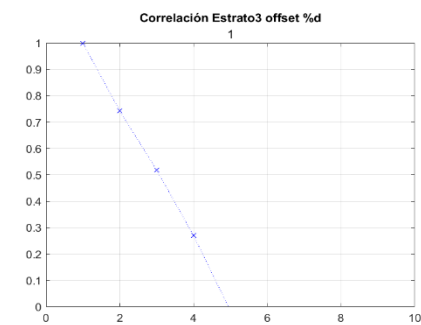


Ilustración 50- Correlación Estrato 3 Offset 4.  
Fuente: Elaboración Propia

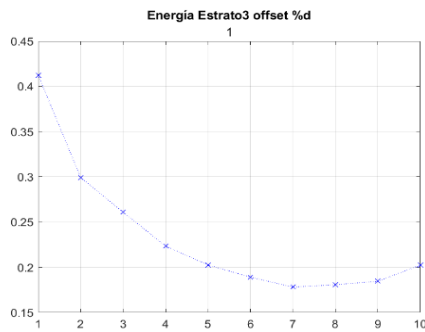


Ilustración 51- Energía Estrato 3 Offset 1.  
Fuente: Elaboración Propia

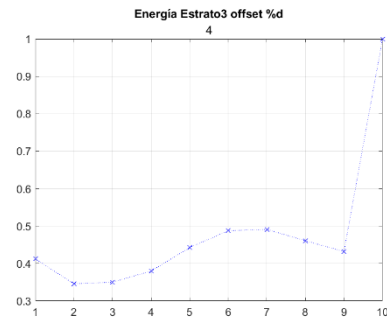


Ilustración 52- Energía Estrato 3 Offset 4.  
Fuente: Elaboración Propia

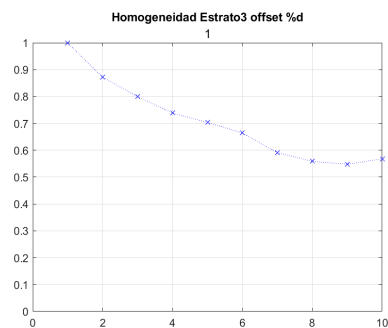


Ilustración 46- Homogeneidad Estrato 3 Offset 1.  
Fuente: Elaboración Propia

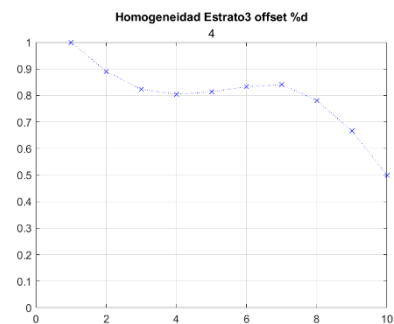


Ilustración 47- Homogeneidad Estrato 3 Offset 4.  
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.4. Estrato 4

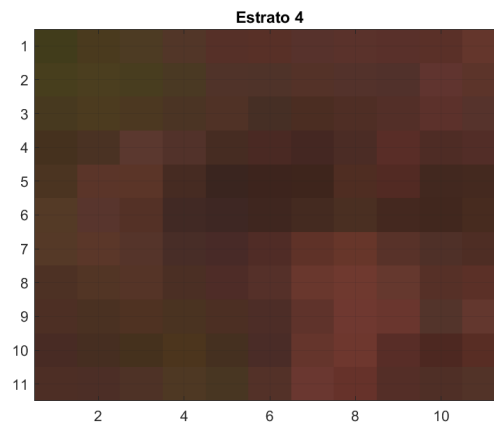


Ilustración 48- Estrato 4. Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 48 se puede ver un mínimo vegetación en un tono bastante claro asemejándose al suelo, lo cual es con su totalidad el resto del estrato. A continuación, la ilustración 49 muestra su GLCM calculado y sus diferentes estadísticos

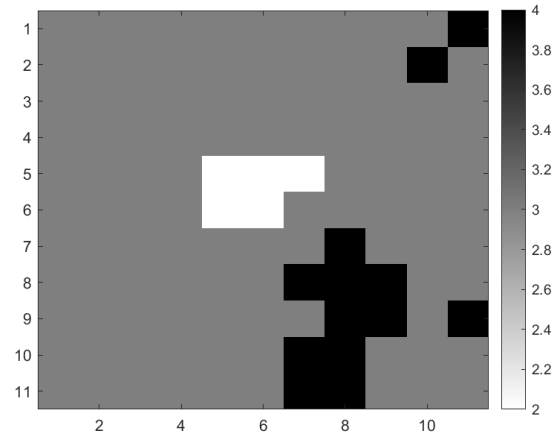


Ilustración 49- GLCM Estrato 4. Fuente: Elaboración Propia

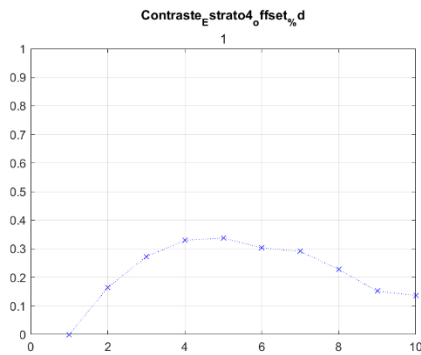


Ilustración 50- Contraste Estrato 4 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia

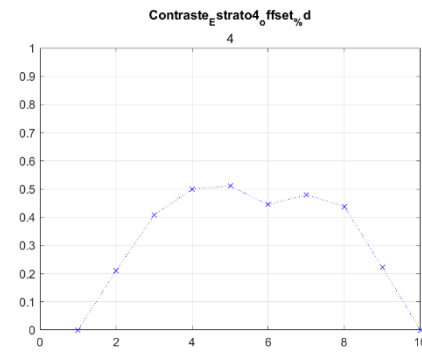


Ilustración 51- Contraste Estrato 4 Offset 4. Fuente: Elaboración Propia

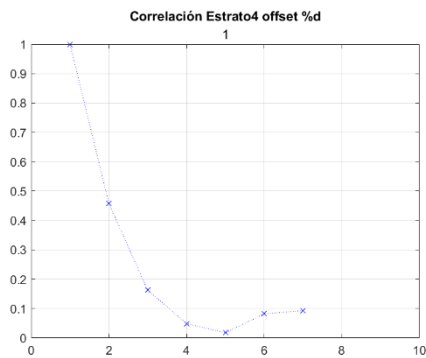


Ilustración 52- Correlación Estrato 4 Offset 1. Fuente: Elaboración Propia

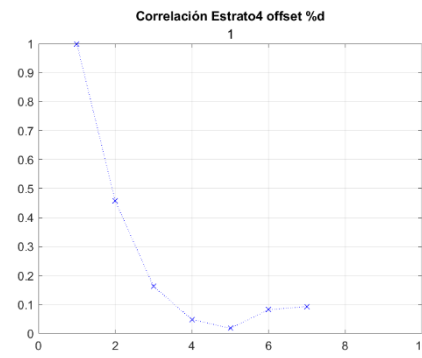


Ilustración 53- Correlación Estrato 4 Offset 4. Fuente: Elaboración Propia

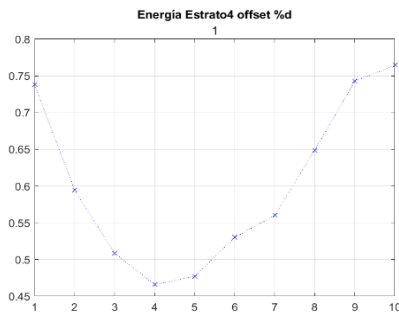


Ilustración 54- Energía Estrato 4 Offset 1.  
Fuente: Elaboración Propia

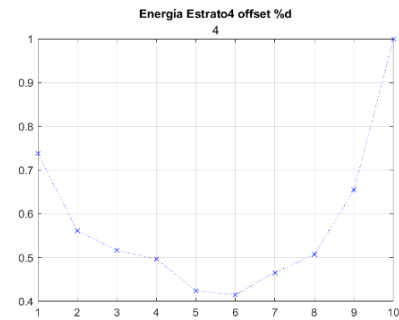


Ilustración 55- Energía Estrato 4 Offset 4.  
Fuente: Elaboración Propia

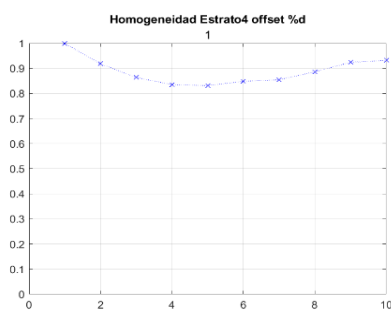


Ilustración 56- Homogeneidad Estrato 4 Offset 1.  
Fuente: Elaboración Propia

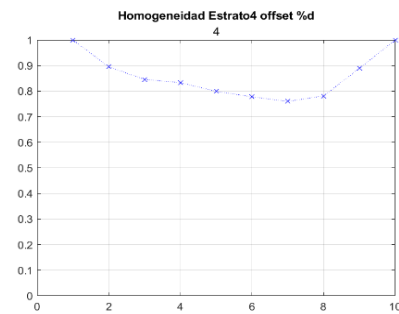


Ilustración 57- Homogeneidad Estrato 4 Offset 4.  
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.5. General

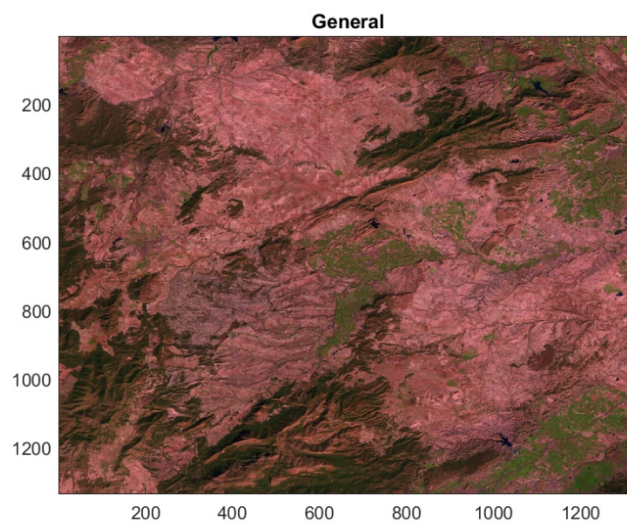
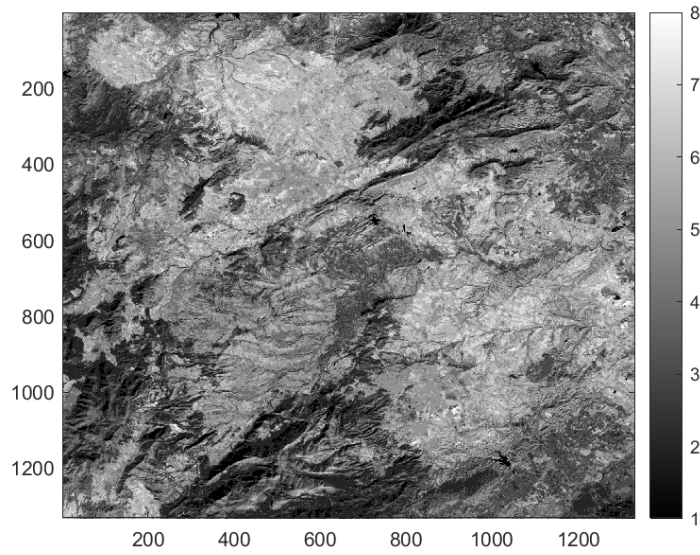


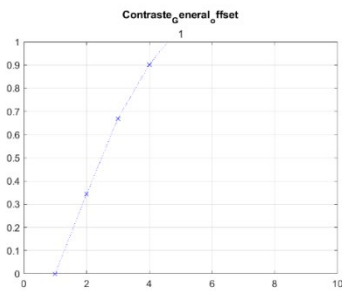
Ilustración 58- Imagen General. Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 58 finalmente se ha aplicado a la zona de estudio al completo, siendo fácil diferenciar en esta la vegetación de los bosques a zonas desnudas o de regadío.

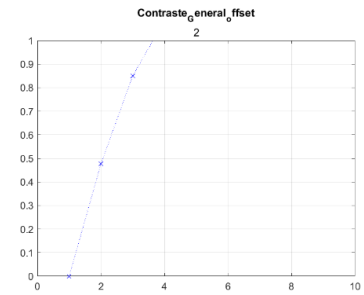




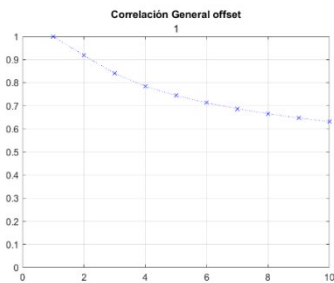
*Ilustración 59- GLCM General. Fuente: Elaboración Propia*



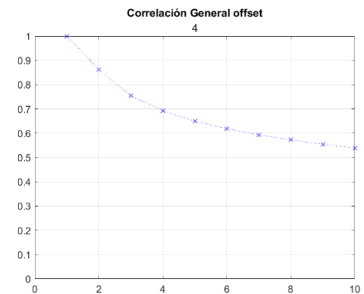
*Ilustración 60- Contraste General Offset 1. Fuente: Elaboración Propia*



*Ilustración 61- Contraste General Offset 2. Fuente: Elaboración Propia*



*Ilustración 62- Correlación General Offset4. Fuente: Elaboración Propia*



*Ilustración 63- Correlación General Offset1. Fuente: Elaboración Propia*

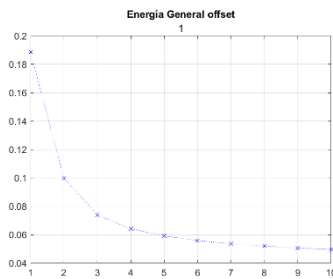


Ilustración 65- Energía General Offset  
1. Fuente: Elaboración Propia

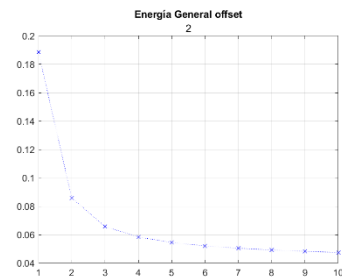


Ilustración 64- Energía General Offset  
2. Fuente: Elaboración Propia

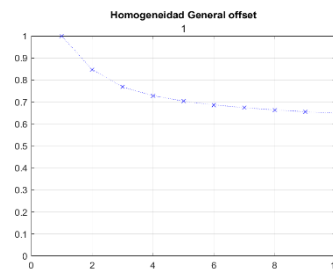


Ilustración 67- Homogeneidad General Offset 1. Fuente: Elaboración Propia

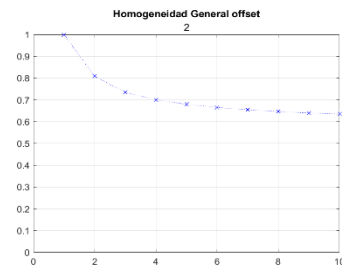


Ilustración 66- Homogeneidad General Offset 2. Fuente: Elaboración Propia

Se ha mostrado únicamente dos de las 8 gráficas en cada estadístico, el conjunto de ocho gráficas de cada estrato hace referencia a las ocho direcciones cardinales, siendo la número 1 la que corresponde al 0º, representada en la horizontal derecha. Se han mostrado dos, principalmente la 1 que suele tender una tendencia y valores similares junto al valor más disonante.

Una vez calculado el GLCM de los diferentes estratos, viendo como estas se clasifican los diferentes tipos de zonas, podemos sacar los diferentes estadísticos a partir de la matriz de coocurrencia, permitiendo observar cómo se comportan dichas texturas a la vez que finalmente obtenemos la zona clasificada.

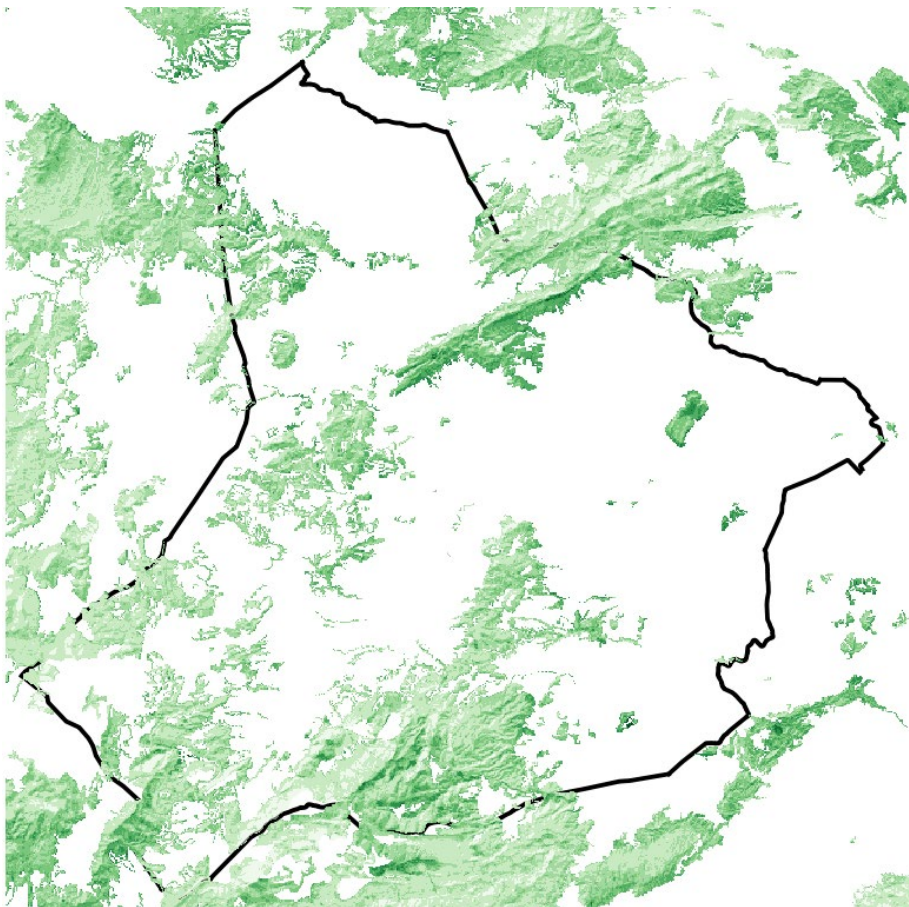
Se ha accedido a los metadatos de la imagen se puede observar que el ángulo solar en la imagen es de 43º.76480726, siendo muy cercano a las direcciones 2 y 6. En los casos con mayor vegetación (estratos 1 y 2 ) si observamos como ejemplo las ilustraciones 47 y 48, podemos ver que en el resto de direcciones la correlación se dispara, haciendo que sea más fácil diferenciar entre los pixeles, pero en la dirección del sol, es mucho más sencillo, indicando una variación en la dirección 2-6 (equivalente a 45º/225º)

Observándose la reacción de los diferentes estadísticos creados a partir de la matriz de covarianza. Se puede ver que en las zonas en que la mayoría de la zona está cubierta de

vegetación la mayor diferencia se detecta un mayor cambio en la dirección 2, siendo la que coincide con el ángulo solar en la imagen. No se puede deber únicamente a eso, pero por supuesto de alguna forma u otra influirá. Si observamos los estratos, se puede notar que pasa lo mismo, pero en la dirección 4, curiosamente la perpendicular al ángulo solar.

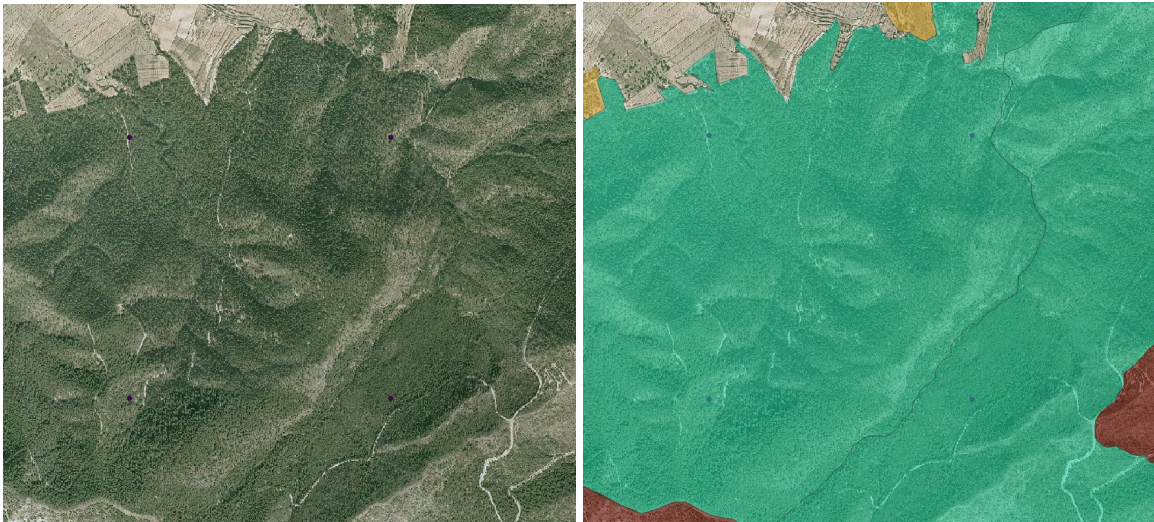
Por lo que se puede decir que cuando esta sobre zona cubierta mayormente se puede observar más diferencias en la dirección en la que incide el sol, pero por el contrario en las zonas más descubiertas este efecto se ve en la dirección perpendicular, haciendo por ejemplo que haya un mayor contraste. Esto seguramente se pueda corregir con una corrección de iluminación, pero por cuestiones de tiempo no se puede rehacer el análisis.

Si observamos las clases resultantes en la ilustración 68, se ha clasificado la imagen en 8 clases, las que se pueden llamar las que se desea obtener en este estudio de la 1 a la 4 y el resto del 5 al 8, los cuales abarcan principalmente el suelo desnudo y la zona que no son bosques. Al intersecarse con las zonas de interés, se observa que dichos intervalos quedan fuera, quedando únicamente la clasificación del 1 al 4, dividiendo la zona en 4 partes, haciendo referencia a los cuatro estratos.

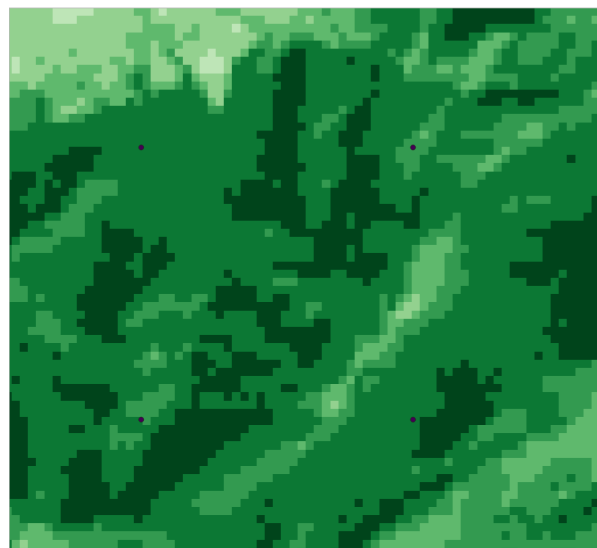


*Ilustración 68- Clasificación Obtenida por las Texturas. Elaboración propia*

Con esto tenemos la zona de la vegetación clasificada en los cuatro grupos planteados. Lista para poder utilizar los valores en el modelo no paramétrico. A pesar de que se vea muy general, esto aporta un nuevo nivel de detalle, utilizando las imágenes de la ilustración 21, zona que se mostró unos apartados antes, se puede observar como la clasificación aporta un mayor nivel de información que el propio mapa forestal español. En la ilustración 69 se aprecia más nivel de detalle en la propia zona, siendo lo suficientemente sensible para detectar las zonas con mayor biomasa al igual que las zonas en las que menos.



*Ilustración 21 – Comparativa realidad Estratos*



*Ilustración 69- Comparativa Zona Clasificada. Fuente: Elaboración Propia*

### 4.3. Resultados del modelo no paramétrico.

Luego de aplicar el modelo se obtienen tres mapas de biomasa para cada inventario forestal nacional. Recorren toda la zona de estudio, pero solo son adecuados cuando se utilizan en sus estados objetivo.

#### 4.3.1. IFN3 Monte Bravo

Dentro de esta categoría obtendremos las zonas en las que la biomasa esta alrededor de entre 0-20 toneladas por hectárea, si vemos los estadísticos proporcionados en la ilustración 70

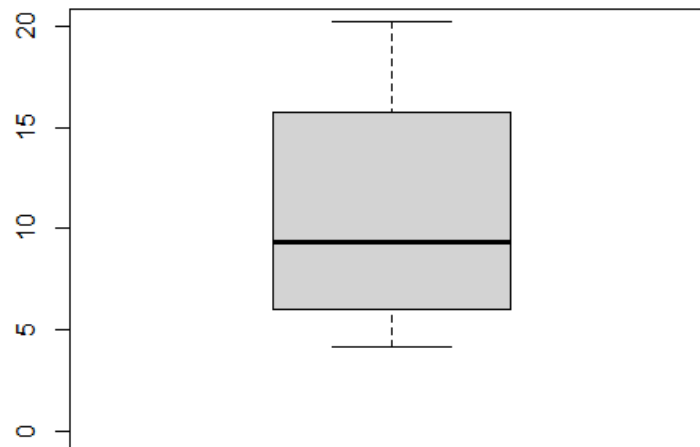


Ilustración 70- Caja de Bigotes IFN3 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia

Estadísticos:

Min.: 4.145

Median: 9.333

3rd Qu.:15.698

1st Qu.: 6.050

Mean :10.925

Max. :20.189

La campana de Gauss descrita en los estadísticos anteriores muestra una distribución de los datos sesgada hacia la derecha. Esto se evidencia por la media (10.925) que es mayor que la mediana (9.333). Además, se observa que el tercer cuartil (15.698) está más cerca del valor máximo (20.189) en comparación con el primer cuartil (6.050) y la mediana.

Estos patrones sugieren que la mayoría de los datos se concentran en los valores más bajos de la distribución, mientras que hay una cola larga de valores más altos. En general, la distribución parece estar sesgada hacia los valores superiores, lo que indica la presencia de valores atípicos o extremos en la parte derecha de la campana de Gauss.

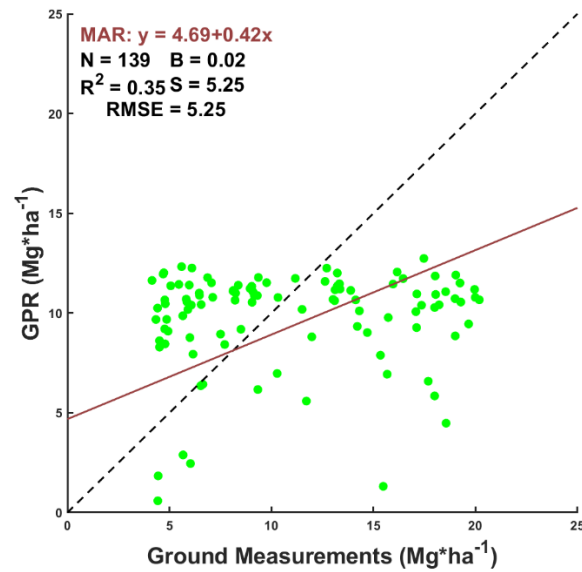


Ilustración 71- GPR IFN3 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia

Podemos observar que hay un elevado el cual no acaba de ajustarse del todo como se puede ver con la  $R^2$  una de las causas se debe a que los valores de biomasa muy bajos se pueden confundir con suelo, ya que por ejemplo una zona de 500 kg en una hectárea es muy baja, por lo que puede tener valores muy similares a la reflectividad de suelo. Con este proceso se obtiene el siguiente mapa de biomasa. Siendo su objetivo las zonas que el MFE denomina Monte Bravo

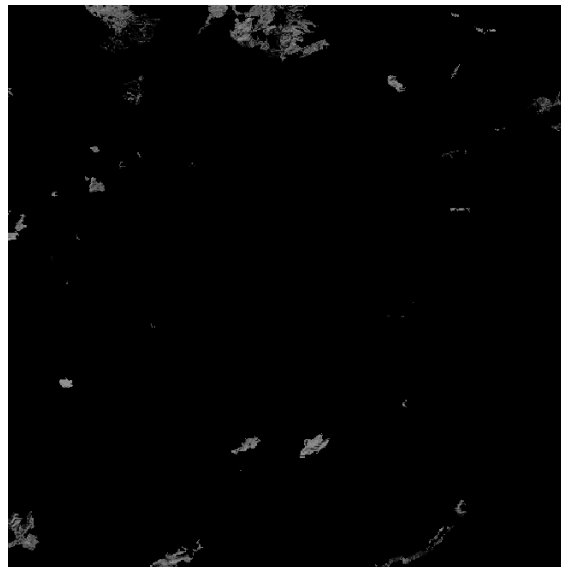


Ilustración 72- Mapa Biomasa IFN3 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia



#### 4.3.2. IFN3 Latizal

Dentro de esta categoría obtendremos las zonas en las que la biomasa esta alrededor de entre 20-40 toneladas por hectárea, si vemos los estadísticos proporcionados en la ilustración 73

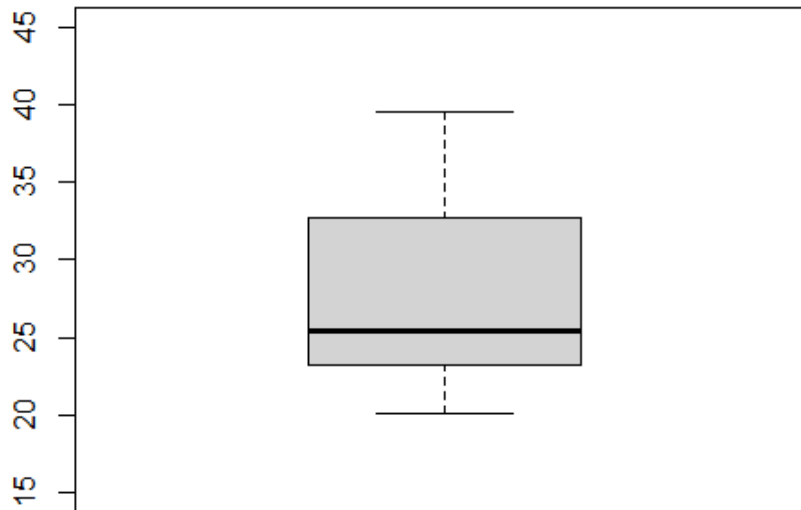


Ilustración 73- Caja de Bigotes IFN3 Latizal. Fuente: Elaboración Propia

Estadísticos:

Min. :20.11

Median :25.46

3rd Qu.:32.71

1st Qu.:23.21

Mean :27.85

Max. :39.56

La campana de Gauss descrita muestra una distribución de los datos que está más centrada y simétrica. Esto se evidencia por la media (27.85) que está cerca de la mediana (25.46) y los valores del primer cuartil (23.21) y el tercer cuartil (32.71) que están equidistantes de la mediana.

Estos patrones sugieren que la mayoría de los datos se encuentran en el centro de la distribución, con una distribución relativamente uniforme hacia ambos lados. Además, no se observan valores atípicos o extremos significativos en los extremos de la campana de Gauss.

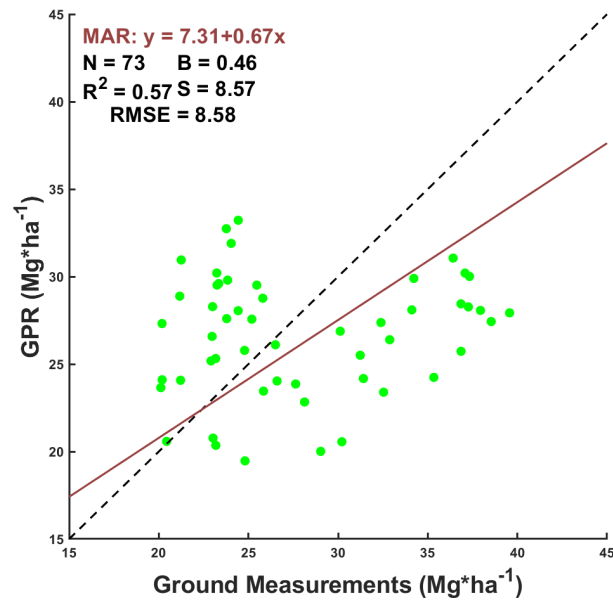


Ilustración 74- GPR IFN3 Latizal. Fuente: Elaboración Propia

Podemos ver que a mayores niveles de biomasa mayor ajuste se consigue, siguiendo la documentación de la metodología Vinué-Visús et al. (2022) se alcanza un nivel similar de determinación. Una vez obtenido estos estadísticos se obtiene el siguiente mapa de biomasa, que hace referencia a las zonas de Latizal que se describen en el MFE.

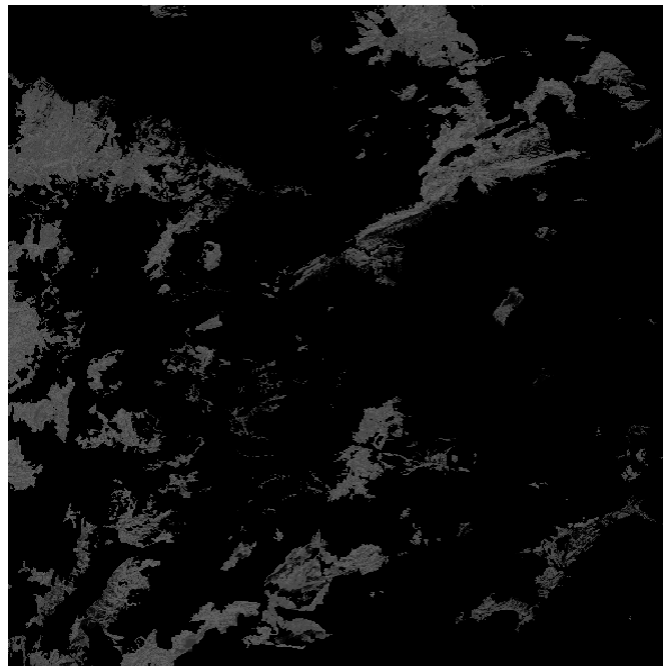


Ilustración 75- Mapa Biomasa IFN3 Latizal. Fuente: Elaboración Propia



### 4.3.3. IFN3 Fustal

Dentro de esta categoría obtendremos las zonas en las que la biomasa está alrededor de entre 40-80 toneladas por hectárea, si vemos los estadísticos proporcionados en la ilustración 76

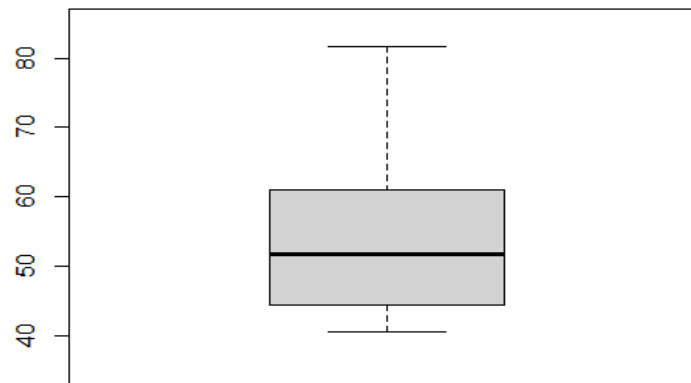


Ilustración 76- Caja de Bigotes IFN3 Fustal. Fuente: Elaboración Propia

Estadísticos:

Min. :40.66	Median :51.84	3rd Qu.:61.10
1st Qu.:44.57	Mean :54.39	Max. :81.71

La campana de Gauss descrita muestra una distribución de los datos sesgada hacia la izquierda. Esto se evidencia por la media (54.39) que es mayor que la mediana (51.84). Además, se observa que el tercer cuartil (61.10) está más cerca del valor máximo (81.71) en comparación con el primer cuartil (44.57) y la mediana.

Estos patrones sugieren que la mayoría de los datos se concentran en los valores más altos de la distribución, mientras que hay una cola larga de valores más bajos. En general, la distribución parece estar sesgada hacia los valores inferiores, lo que indica la presencia de valores atípicos o extremos en la parte izquierda de la campana de Gauss.

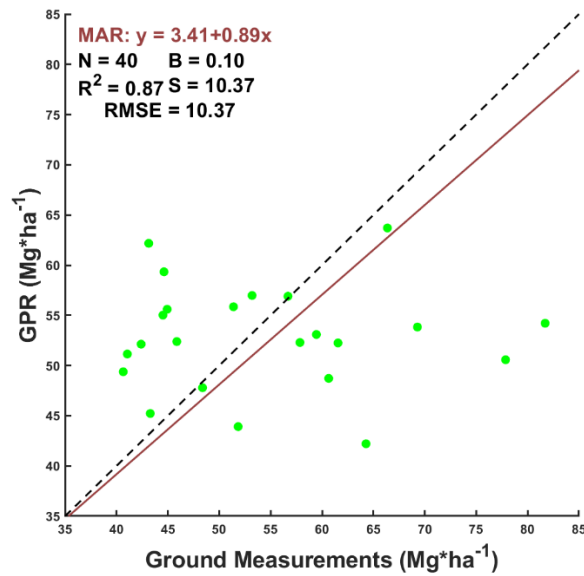


Ilustración 77- GPR IFN3 Fustal. Fuente: Elaboración Propia

A pesar de que aumente un poco el error, la determinación de la función es bastante alta como se puede ver en la ilustración 77, por lo general, a mayor biomasa mejor ajuste, pero se puede ver que hay valores que empeoran un poco la predicción. Una vez se han obtenido los estadísticos se genera un mapa de biomasa para toda aquella que el MFE clasifique como latizal como se puede ver en la ilustración 78.

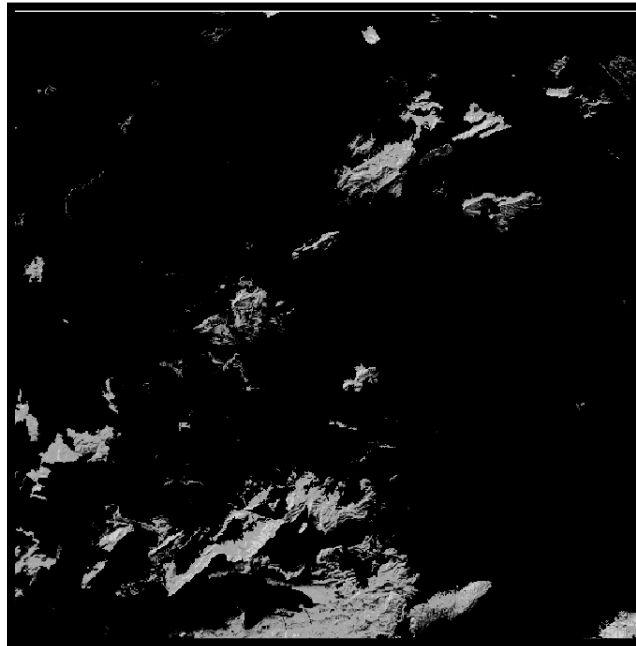
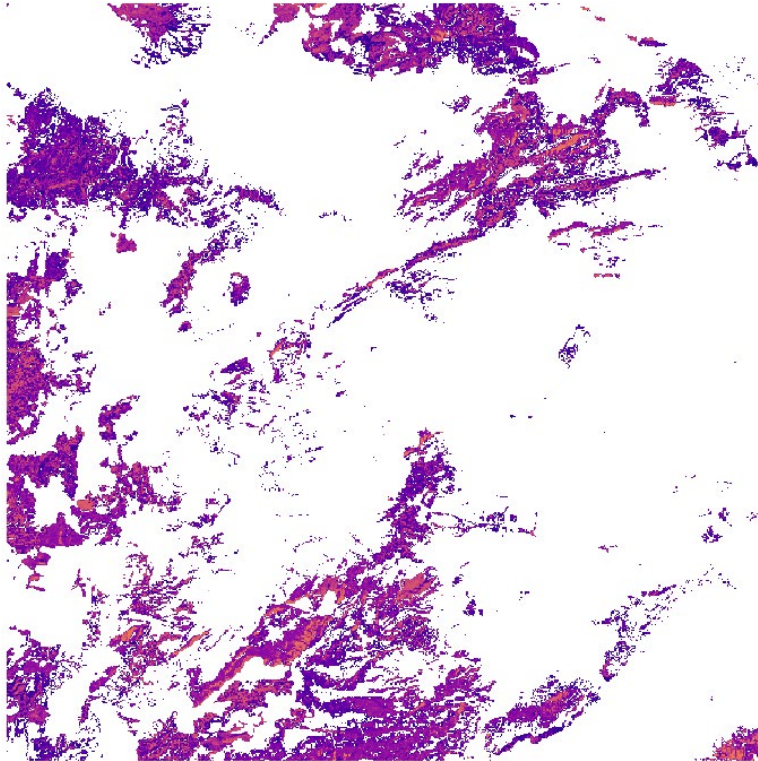


Ilustración 78- Mapa Biomasa IFN3 Fustal. Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.4 Mapa de Biomasa por Estado IFN3

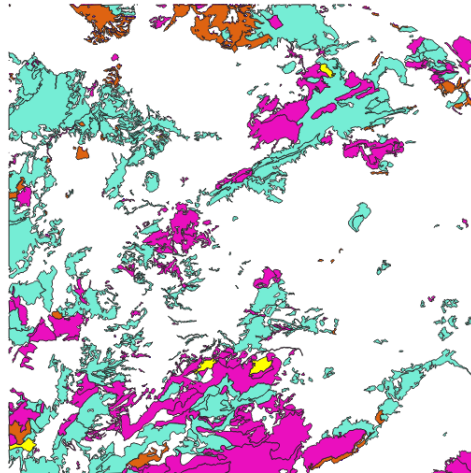
Si se juntan los tres anteriores mapas de biomasa como si de piezas de un puzle se tratara, obtenemos el siguiente mapa.



*Ilustración 79- Mapa de Biomasa por Estado IFN3. Fuente: Elaboración Propia*

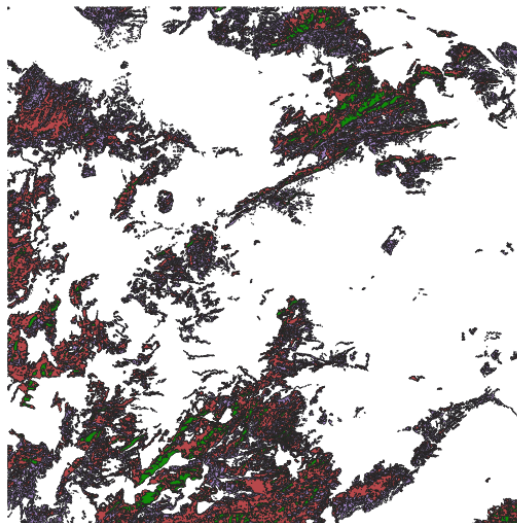
La ilustración 79 muestra el mapa con valores de biomasa del IFN3, pero esta a su vez tiene un problema, quitando el posible error que pueda tener una medición como se ha mostrado en las gráficas anteriores, el Estado que se ha utilizado para recortar cada mapa de biomasa (Monte Bravo, Latizal o Fustal) no es el adecuado. Luego de asignar a cada grupo de fracciones de cabida cubierta cuál es su estado, por ejemplo, el estrato 3 (25-50% de FCC) corresponde a monte bravo. Al comparar los errores, se puede observar que en varios puntos se reduce significativamente el error al aplicar la clasificación que se obtiene a partir de las texturas.

En la ilustración 80 se muestra el mapa de estados que nos ofrece el MFE, siendo el rosa la zona de fustal, la Azul de latizal y la naranja y amarilla de monte bravo



*Ilustración 80- Mapa de Estados MFE. Fuente: Elaboración Propia*

Y la ilustración 81 muestra el mapa de estados que nos ofrece el análisis de textura, siendo el verde el fustal, el naranja el latizal y el morado el monte bravo



*Ilustración 81- Mapa de Estados Texturas. Fuente: Elaboración Propia*



Estadillo	Biomasa T/Ha Real	MapaEstadoMFE T/Ha	Dif	MapaEstadoTextura T/Ha	Dif2
1217	4,817	22,822	-18,005	7,220	-2,402
1597	53,192	55,560	-2,368	55,560	-2,368
1098	5,900	23,437	-17,537	8,130	-2,231
1673	6,068	23,126	-17,058	8,228	-2,160
1684	6,000	27,308	-21,307	8,133	-2,132
1735	7,121	21,628	-14,507	8,574	-1,453
1732	22,914	54,610	-31,696	24,343	-1,429
1693	6,458	0,213	6,245	7,378	-0,920
1114	9,766	24,011	-14,245	10,513	-0,747
1747	23,343	53,371	-30,028	23,388	-0,046
1477	23,176	52,321	-29,145	23,148	0,028
1103	5,969	21,167	-15,198	5,928	0,041
1174	23,251	23,097	0,154	23,097	0,154
1092	24,785	24,616	0,168	24,616	0,168
1100	8,504	8,259	0,245	8,259	0,245
1764	8,241	18,545	-10,304	7,730	0,511
1479	13,098	24,224	-11,127	12,034	1,063
1522	32,390	27,416	4,975	31,313	1,077
648	9,048	22,305	-13,257	7,767	1,281
1228	9,686	19,739	-10,053	7,848	1,838
1670	11,977	29,907	-17,931	9,365	2,611
1553	13,227	50,953	-37,725	9,707	3,521
1257	11,711	8,291	3,421	7,730	3,982
1265	15,342	23,831	-8,490	11,240	4,102
1784	14,207	53,596	-39,389	10,050	4,157
1549	15,724	10,773	4,952	11,452	4,272

Tabla 12- MapaEstadoMFE y MapaEstadoTextra. Fuente: Elaboración Propia

La biomasa estimada es la misma para ambos mapas, pero lo que las diferencia es que el estado usa en cada zona, por supuesto hay puntos que no quedan tan exactos y precisos como la tabla en esta tabla 12 o haya alguno que no se adecue al modelo. Pero por lo general es una mejora importante respecto al que usa los estados del MFE, pudiendo pasar de errores groseros en el modelo de biomasa a otros mucho más reducidos.



#### 4.3.5. IFN4 Monte Bravo

Dentro de esta categoría obtendremos las zonas en las que la biomasa está alrededor de entre 0-20 toneladas por hectárea, si vemos los estadísticos proporcionados en la ilustración

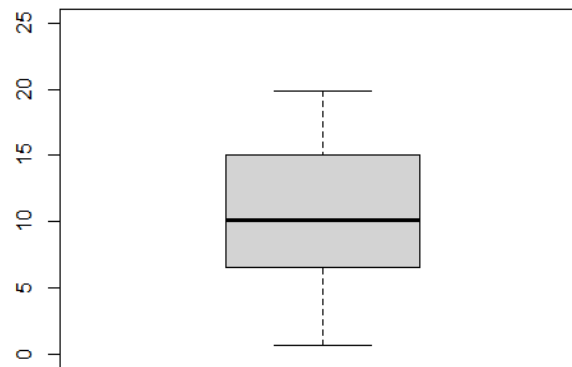


Ilustración 82- Bigotes IFN4 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia

Estadísticos:

Min.: 0.691

Median :10.140

3rd Qu.:15.008

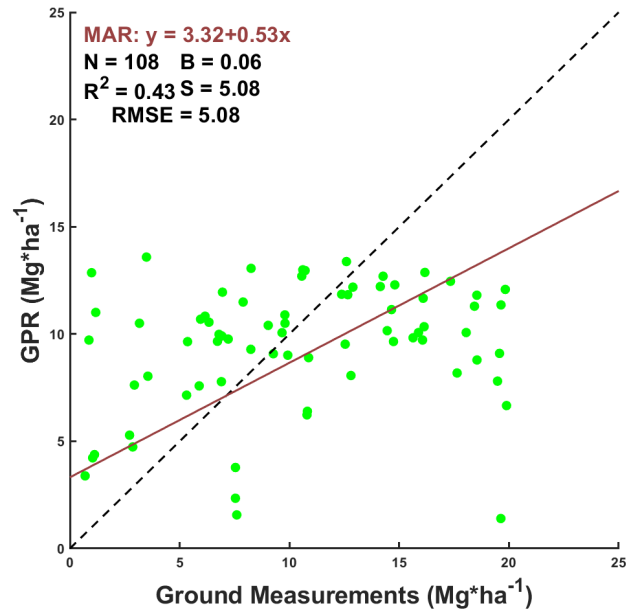
1<sup>st</sup> Qu.: 6.617

Mean :10.477

Max. :19.888

La campana de Gauss descrita muestra una distribución de los datos sesgada hacia la derecha. Esto se evidencia por la media (10.477) que es mayor que la mediana (10.140). Además, se observa que el tercer cuartil (15.008) está más cerca del valor máximo (19.888) en comparación con el primer cuartil (6.617) y la mediana.

Estos patrones sugieren que la mayoría de los datos se concentran en los valores más bajos de la distribución, mientras que hay una cola larga de valores más altos. En general, la distribución parece estar sesgada hacia los valores superiores, lo que indica la presencia de valores atípicos o extremos en la parte derecha de la campana de Gauss.



Il·lustració 83- GPR IFN4 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia



Il·lustració 84- Mapa Biomasa IFN4 Monte Bravo. Fuente: Elaboración Propia



#### 4.3.6. IFN4 Monte Latizal

Dentro de esta categoría obtendremos las zonas en las que la biomasa está alrededor de entre 20-40 toneladas por hectárea, si vemos los estadísticos proporcionados en la ilustración 85

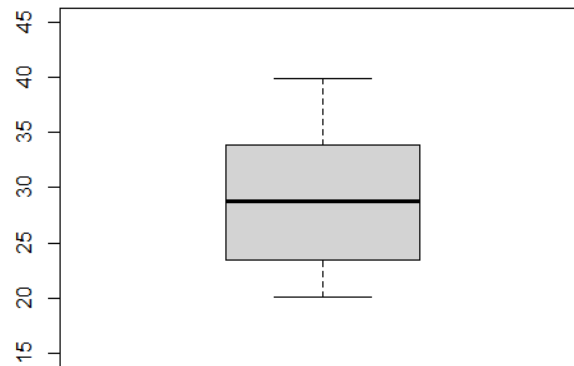


Ilustración 85- Bigotes IFN4 Latizal. Fuente: Elaboración Propia

Min. :20.09

Median :28.80

3<sup>rd</sup> Qu.:33.91

1<sup>st</sup> Qu.:23.48

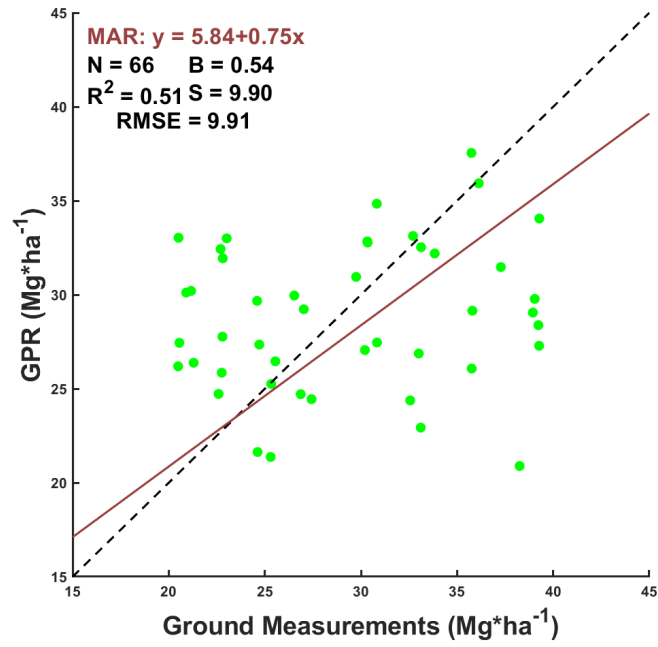
Mean :29.00

Max. :39.90

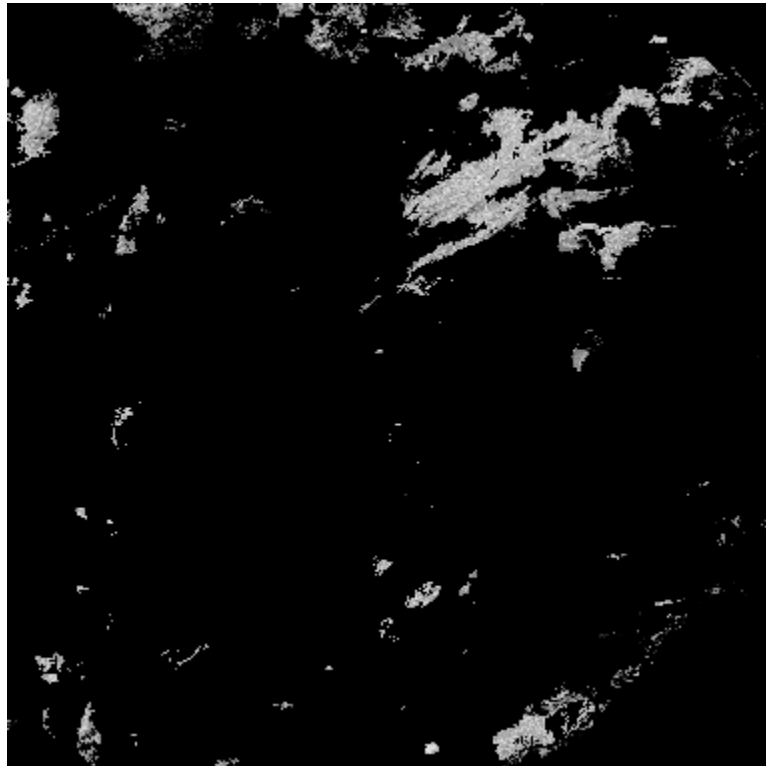
La campana de Gauss describe una distribución de los datos que está centrada y simétrica. Esto se evidencia por la media (29.00) que está cerca de la mediana (28.80) y los valores del primer cuartil (23.48) y el tercer cuartil (33.91) que están equidistantes de la mediana.

Estos patrones sugieren que la mayoría de los datos se encuentran en el centro de la distribución, con una distribución relativamente uniforme hacia ambos lados. Además, no se observan valores atípicos o extremos significativos en los extremos de la campana de Gauss.





Il·lustració 86- GPR IFN4 Latizal. Fuente: Elaboración Propia



Il·lustració 87- Mapa Biomasa IFN4 Latizal. Fuente: Elaboración Propia



#### 4.3.7. IFN4 Fustal

Dentro de esta categoría obtendremos las zonas en las que la biomasa esta alrededor de entre 40-80 toneladas por hectárea, si vemos los estadísticos proporcionados en la ilustración 88

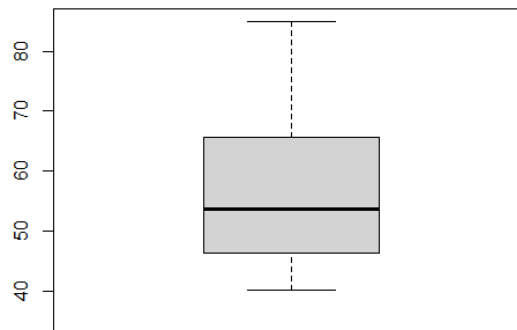


Ilustración 88- Bigotes IFN4 Fustal. Fuente: Elaboración Propia

Min. :40.19

1<sup>st</sup> Qu.:46.32

Median :53.72

Mean :56.84

3<sup>rd</sup> Qu.:65.58

Max. :84.87



La campana de Gauss muestra una distribución de los datos sesgada hacia la izquierda. Esto se evidencia por la media (56.84) que es mayor que la mediana (53.72). Además, se observa que el tercer cuartil (65.58) está más cerca del valor máximo (84.87) en comparación con el primer cuartil (46.32) y la mediana.

Estos patrones sugieren que la mayoría de los datos se concentran en los valores más altos de la distribución, mientras que hay una cola larga de valores más bajos. En general, la distribución parece estar sesgada hacia los valores inferiores, lo que indica la presencia de valores atípicos o extremos en la parte izquierda de la campana de Gauss.

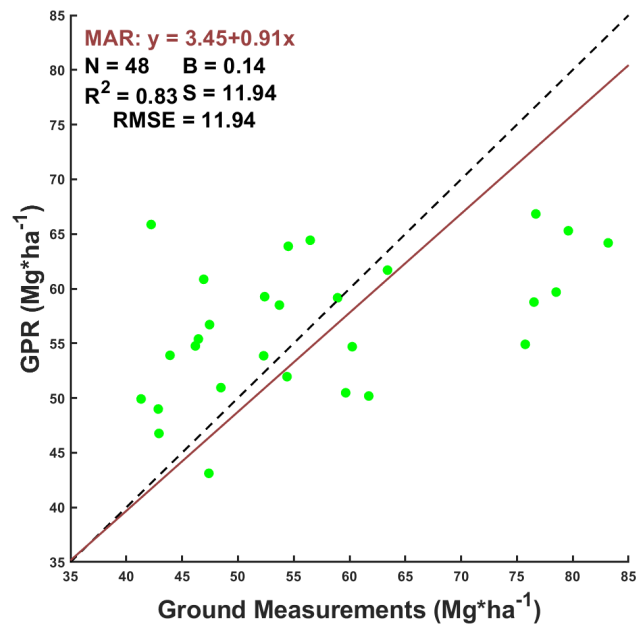
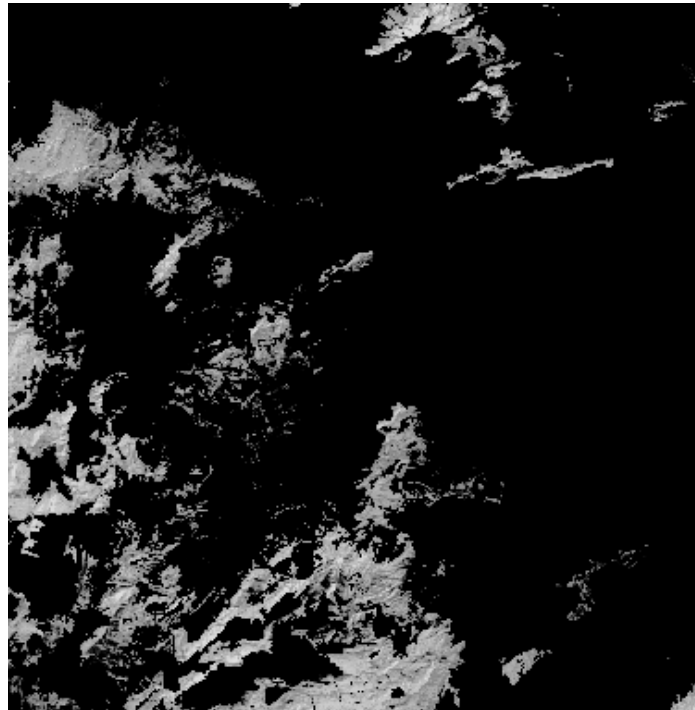


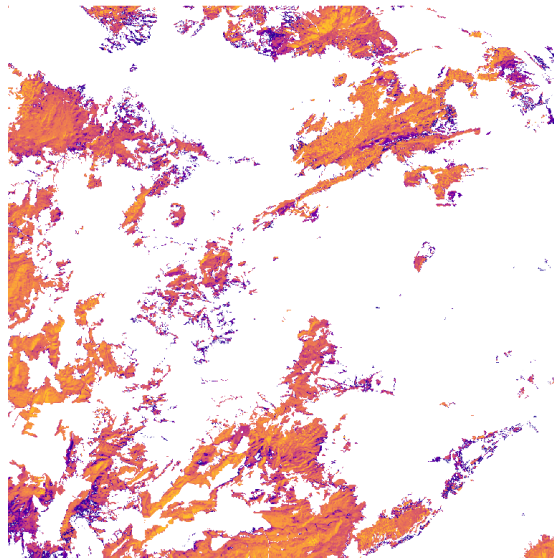
Ilustración 89- GPR IFN4 Fustal. Fuente: Elaboración Propia



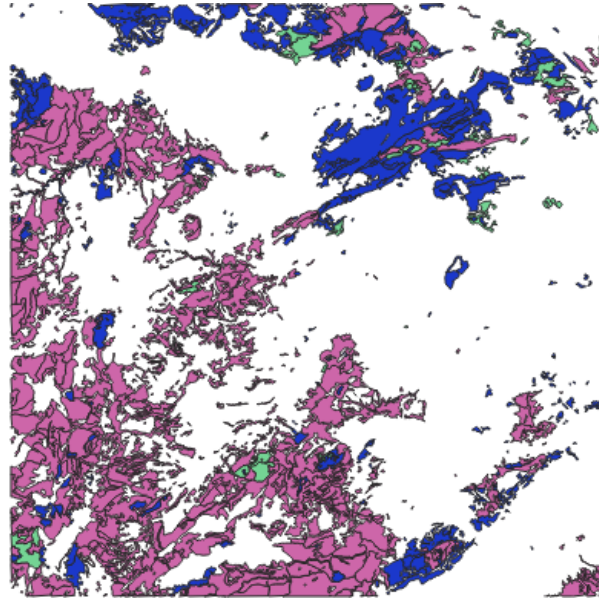
*Ilustración 90- Mapa Biomasa IFN4 Fustal. Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.3.8 Mapa de Biomasa por Estado IFN4

Se juntan los tres anteriores mapas de biomasa como si de piezas de un puzle se tratara, formando un único resultado. Al ser exactamente el mismo proceso en el IFN3 que en el IFN4 simplemente se mostrará el mapa y los estados como se puede ver en la ilustración 91 y 92.



*Ilustración 91- Mapa de Biomasa por Estado IFN3. Fuente: Elaboración Propia*



*Ilustración 92- Mapa de Estados MFE. Fuente: Elaboración Propia*

Las texturas estudiadas representan intervalos de fracción de cabida cubierta, al compararse con la obtenidas entre la del IFN3 y IFN4, la textura no es lo suficiente sensible para apreciar un cambio, ya que, al restarse ambas texturas, se obtiene 0. Por lo que se utilizará las mismas texturas, pero con el modelo de biomasa estimada del IFN4



## 5. Presupuesto

Se han obtenido siguiente presupuesto a partir de las tablas TRAGSA 2023

<b>TRABAJO DESARROLLO SIG/TELEDETECCIÓN PC</b>			
Concepto		Unidades (h)	Precio (€)
3016	Analista de SIG y/o teledetección	1	39,84
M08005	Ordenador Gráfico	1	0,2
Precio total (€)			40,04

<b>DIRECCIÓN DEL TRABAJO</b>			
Concepto		Unidades (h)	Precio (€)
O03034	Consultor senior especialista	1	49,05
M08005	Ordenador Gráfico	1	0,12
Precio total (€)			49,17

<b>IMPUTACIÓN DE HORAS DE ESTUDIO</b>	
Concepto	DEDICACIÓN (h)
Dirección del proyecto	40
Ejecución del proyecto	260

<b>LICENCIAS SOFTWARE</b>	
Concepto	Precio (€) / Año (Estudiantes)
ENVI	290
Matlab	262

<b>COSTE SUBTOTAL</b>		
Concepto	Precio/Hora €	Precio Total €
Dirección del proyecto	49,17	1966,8
Ejecución del proyecto	40,04	10410,4
Subtotal		12929,2
IVA 21 %		2715,132
Presupuesto		15644,332

Tabla 13- Tabla Costes TRAGSA. Fuente: TRAGSA



## 6. Conclusiones

En este proyecto se ha evaluado la capacidad de las herramientas de teledetección y SIG para crear un modelo de estimación de biomasa, el cual con un proceso de inventariado de los bosques de la región y utilizando datos de libre acceso, se ha conseguido obtener un modelo de información continua que nos permite tener un conocimiento más exhaustivo sobre la biomasa y su comportamiento que permita la capacidad de los bosques de secuestro de carbono o el grado de impacto en caso de un incendio forestal.

Se ha creado una base de datos utilizando los valores dendrométricos del IFN3 y el IFN4 para aplicarlos en las ecuaciones alométricas para calcular los valores de biomasa por árbol. Los valores de biomasa obtenidos a partir del IAVC indican una aproximación de la biomasa futura, pero debido a que no tienen en cuenta los cambios en las tasas de crecimiento que ocurren a lo largo del tiempo, el modelo de crecimiento se considera limitado para describir el crecimiento forestal. Estos modelos simplificados asumen un crecimiento lineal constante, lo que no refleja adecuadamente las variaciones estacionales, las respuestas a perturbaciones y la complejidad de los procesos de crecimiento de los bosques.

Se ha creado texturas en función de la fracción cabida cubierta de la vegetación, permitiendo clasificar nuestra zona de trabajo por píxel, ofreciendo un mayor nivel de detalle que lo que nos ofrecen los propios servicios nacionales como puede ser el mapa forestal español. Esto permite estimar que estado se desempeñara de forma más precisa. Pero al tratarse de intervalos de fracción de cabida cubierta, utilizando las imágenes de landsat5 no es lo suficientemente sensible para registrar un cambio.

Finalmente, la combinación de ambas fuentes de información, la biomasa y el terreno clasificado, ha permitido crear mapas de biomasa más precisos que los que usaban información del propio Mapa Forestal Nacional, pudiendo visualizar dentro de un mismo bosque donde hay mayor o menor densidad de vegetación, lo que conllevará realizar una planificación de la gestión más precisa.

El modelo no paramétrico que se ha realizado al combinar las fuentes dos fuentes de información es un proceso que utiliza datos abiertos como pueden ser las imágenes satelitales y un inventario de la vegetación, que se puede realizar de forma relativamente sencilla. Esto permite una gestión más eficiente en los órganos más pequeños del territorio como pueden ser ayuntamientos, para que puedan realizar este tipo de estudios sin tener que recurrir a órganos nacionales, que necesitan mucho más tiempo y recursos.



## 6.1 Líneas futuras de investigación y mejoras propuestas

Una de las posibles mejoras que podría incluirse en el trabajo como futura línea de investigación sería la modelización de los modelos de crecimiento para aplicarse en largas escalas de tiempo, pero esto requeriría un proceso largo en el que se necesita una ingente cantidad de información para poder acoplar las curvas de crecimiento al cálculo, necesitando un programa informático más avanzado para poder anualmente, calcular, reclasificar y asignar un nuevo valor para el crecimiento.

Otra mejora sería la introducción de más tipos de vegetación al proyecto, pero esto puede suponer una gran carga de trabajo porque debería hacerse el estudio de texturas para cada especie diferente. A nivel de cálculo de biomasa no es un proceso tan laborioso, pero se necesitaría hacer algunos ajustes al programa de filtrado y cálculo.

Mejoraría también el nivel de precisión la utilización de imágenes con mayor resolución espacial como pueden ser las de Sentinel 2, permitiendo obtener un mayor nivel de información al disponer información cada 10 m y no cada 30 m. Pero no todas las zonas de España disponen del IFN4, esto puede suponer un problema ya que la información de la zona estará notablemente desactualizada. Por otro lado, hay otras comunidades en la que ambos inventarios están disponibles desde hace bastante tiempo, haciendo imposible el uso de imágenes con mayor resolución.





## 7. Bibliografía

- Amadasun, M., & King, R. (1989). Textural features corresponding to textural properties. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 19(5), 1264-1274.
- Análisis de textura en imágenes de satélite en el ámbito de la biodiversidad y la estructura en un bosque de los Andes Colombianos Jesús Adolfo Anaya Acevedo, Rosa Alexandra Duque Londoño, Germán Mauricio Valencia Hernández. *Gestión y Ambiente* 2008.
- Balvanera, P., Siddique, I., Dee, L., Paquette, A., Isbell, F., Gonzalez, A., ... & Diaz, S. (2014). Linking biodiversity and ecosystem services: current uncertainties and the necessary next steps. *BioScience*, 64(1), 49-57.
- Biomass estimation using satellite remote sensing data—An investigation on possible approaches for natural forest. *J. Biosci.* 1996, 21, 535–561.
- Empresa de Transformación Agraria, S.A., S.M.E., M.P. (en acrónimo, Tragsa). C.I.F.: A-28-476208
- Galidaki, G., Zianis, D., Gitas, I., Radoglou K., Karathanassi, V., Tsakiri–Strati, M., Woodhouse, I. y Mallinis, G. (2017). Vegetation biomass estimation with remote sensing: focus on forest and other wooded land over the Mediterranean ecosystem, *International Journal of Remote Sensing* 38:7, 1940-1966. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1266113>.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). *Digital Image Processing* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Hans Fuchs, Paul Magdon, Christoph Kleinn, Heiner Flessa, Estimating aboveground carbon in a catchment of the Siberian forest tundra: Combining satellite imagery and field inventory, *Remote Sensing of Environment*, Volume 113, Issue 3, 2009, ISSN 0034-4257.
- Haralick, R. M., Shanmugam, K., & Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(6), 610-621.
- Kelsey, K.C.; Neff, J.C. Estimates of Aboveground Biomass from Texture Analysis of Landsat Imagery. *Remote Sens.* 2014, 6, 6407-6422. <https://doi.org/10.3390/rs6076407>
- Kumar, A., Singh, D., Singh, R. P., & Sharma, S. (2013). Biomass energy and sustainable development: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 556-586.
- Li, Z., He, Y., & Chang, C. I. (2019). *Textural Features and Applications* (2nd ed.). CRC Press.



- Lindenmayer, D. B., Laurance, W. F., Franklin, J. F., Likens, G. E., Banks, S. C., Blanchard, W., ... & Stein, J. A. (2012). New policies for old trees: averting a global crisis in a keystone ecological structure. *Conservation Letters*, 5(3), 175-181.
- Meng, J.; Li, S.; Wang, W.; Liu, Q.; Xie, S.; Ma, W. Estimation of Forest Structural Diversity Using the Spectral and Textural Information Derived from SPOT-5 Satellite Images. *Remote Sens.* 2016, 8, 125. <https://doi.org/10.3390/rs8020125>
- Montero, G., Ruíz-Peinado, R., Muñoz, M. (2005). Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles. *Monografías INIA: Serie Forestal* 13.
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., ... & Woodall, C. W. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993.
- Pratt, W. K. (2007). *Digital Image Processing* (4th ed.). Wiley.
- Ruiz-Peinado, Ricardo & Rio, Miren & Montero, Gregorio. (2011). New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish. *Forest Systems*. 20. 176-188. [10.5424/fs/2011201-11643](https://doi.org/10.5424/fs/2011201-11643).
- Sánchez Sastre, L.F., Marcos-Robles, J. L., Herrero Llorente, E., Hernández Navarro, S. y Carrión Prieto, P. (2016). Aplicación de tecnologías de teledetección al estudio de biomasa forestal. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información* 19: 61-76.
- Singh, G., Senapati, B. K., & Kar, R. (2016). Statistical texture measures in image processing: A survey. *International Journal of Computer Applications*, 135(6), 1-7.
- Smith, J. R. (2010). *Computer Vision* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Sonké, N. Texier, D. Thomas, P. Verley, D. Zebaze Dongmo, U. Berger, R. Pélissier, Toward a general tropical forest biomass prediction model from very high-resolution optical satellite images, *Remote Sensing of Environment*, Volume 200, 2017, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.001>.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Retrieved from <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>.
- Vanclay, J. K. (1994). *Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests*. Wallingford, UK: CAB International.
- Vignote Peña, Santiago. (2014). Principales maderas de coníferas en España características, tecnología y aplicaciones. *Monografía (Informe Técnico)*., Madrid; Universidad Politécnica de Madrid.



- Vinué-Visús, D.; Ruiz-Peinado, R.; Fuente, D.; Oliver-Villanueva, J.-V.; Coll-Aliaga, E.; Lerma-Arce, V. Biomass Assessment and Carbon Sequestration in Post-Fire Shrublands by Means of Sentinel-2 and Gaussian Processes. *Forests* 2022, 13, 771. <https://doi.org/10.3390/f13050771>.
- Yu, X., Wang, C., Gong, P., & Biging, G. S. (2018). Remote sensing image texture analysis for urban land-use classification



## 8. Anejos

### 8.1 Objetivos de desarrollo sostenible

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza				X
ODS 2. Hambre cero				X
ODS 3. Salud y bienestar				X
ODS 4. Educación de calidad				X
ODS 5. Igualdad de género				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico				X
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras				X
ODS 10. Reducción de las desigualdades				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles				X
ODS 12. Producción y consumo responsables				X
ODS 13. Acción por el clima	X			
ODS 14. Vida submarina				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres	X			
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos				X

Se remarca principalmente la acción por el clima y la vida de ecosistemas terrestres porque son temas en la que la biomasa está estrechamente relacionada. El control y gestión de la biomasa está estrechamente relacionada con la acción contra el clima y como se ha explicado en la introducción, la biomasa tiene un papel fundamental en los ecosistemas terrestres por lo que también hace referencia a la vida de dichos ecosistemas.

### 8.2 Ecuaciones alométricas para *Pinus Halepensis Mill*

*Pinus Halepensis Mill.*

Stem  $W_s = 0.0139 \cdot d_2 \cdot h - 4.13 \ 21.43 \ 0.93$

Thick branches If  $d \leq 27.5$  cm then  $Z = 0$ ; If  $d > 27.5$  cm then  $Z = 1$ ;

$W_{b7} = [3.926 \cdot (d-27.5)] \cdot Z \ 1.54 \ 14.75 \ 0.61$

Medium branches  $W_{b2-7} = 4.257 + 0.00506 \cdot d_2 \cdot h - 0.0722 \ d \cdot h - 0.19 \ 7.54 \ 0.91$

Thin branches + needles  $W_{b2+n} = 6.197 + 0.00932 \cdot d_2 \cdot h - 0.0686 \cdot d \cdot h - 1.14 \ 13.79 \ 0.93$

Roots  $W_r = 0.0785 \cdot d_2 \ 0.40 \ 23.46 \ 0.87$



## 8.3 Código de Filtrado

""" Python

```
import math
import time

import numpy as np
import pandas as pd
import pyproj
import shapefile
import statistics

def utm30_to_utm31(east, north):
    in_proj = pyproj.Proj(proj='utm', zone=30, datum='WGS84')
    out_proj = pyproj.Proj(proj='utm', zone=31, datum='WGS84')
    transformer = pyproj.Transformer.from_proj(in_proj, out_proj)
    x2, y2 = transformer.transform(east, north)
    return x2, y2

def linear_conversion(x, y):
    a, b = np.polyfit(x, y, 1)
    return a, b

def get_current_year():
    current_year = time.strftime("%Y")
    return current_year

def get_unique_values_in_dict(dictionary, key):
    return list(set(dictionary[key]))

datos = pd.read_csv('Mayores_exs.csv', header=0)
datos2 = pd.read_csv('Estadillo.csv', header=0)
datos3 = pd.read_csv('XYTabla.csv', header=0)

NY = get_current_year()
#años = int(NY) - 2010
años = 10

Proyec = 25830
Estadillo = list(datos['Estadillo'])
EstNece = list(datos2['Estadillo'])
Especies = list(datos['Especie'])
EsT = list(datos3['Estadillo'])
```



```
# Tabla resultante
con = 0
l = len(Estadillo)
Estadillos = list()
EspNece = list()
t = 0
Especies = []
ha = (math.pi * 15 ** 2)
# Crear Diccionario

Dicc = {"Estadillo": [], "Especie": [], "Estrato": [], "TL": [], "Dn1_mm":
[], "Dn2_mm": [], "Ht_m": [], "Tronco": [], "VZ": [],
" RamaGruesa": [], " RamaMed": [], " RamaFin": [], " Raiz": [],
" SumBioPar": [], " BioTR": [], "%TR": [], "VCC": [],
" IAVC": [], " VTT": [], " BPNY": [], " BPACNY": []}

Dico = {"Estadillo": [], "EstadilloF": [], "X": [], "Y": []}
#
Resul={"Estadillo": [], "X_UTM_30": [], "Y_UTM_30": [], "X_UTM_31": [], "Y_UTM_31":
[], "Estrato": [], "SBP": [], "BioHa2006_T/Ha": [], "SBPTRNY": [], "BioHaTRNY_T/
Ha": [], "SBPACNY": [], "BioHaACNY_T/Ha": []}
Resul = {"Estadillo": [], "X_UTM_30": [], "Y_UTM_30": [], "Estrato":
[], "N° Obs": [], "TL": [] , "SBTR": [], "SVCC": [], "SBP": [], "BioUAHa_T/Ha": [],
"SBPTRNA": [],
"BioHaTRNA_T/Ha": [], "SBPACNA": [], "BioHaACNA_T/Ha": []}
Det={"Param_A":0, "Param_B":0, "Año_Inicio":0, "Año_Actual":0, "Num_Estadillo
s":0}

for i in range(1, l):

    if Estadillo[i] in EstNece:
        if datos["Especie"][i] == 24:
            Dicc["Estadillo"].append(datos["Estadillo"][i])
            Dicc["Especie"].append(datos["Especie"][i])
            Dicc["Estrato"].append(datos["Estrato"][i])
            Dicc["Dn1_mm"].append(datos["Dn1"][i])
            Dicc["Dn2_mm"].append(datos["Dn2"][i])
            Dicc["Ht_m"].append(datos["Ht"][i])
            Dicc["VCC"].append(datos["VCC"][i])
            Dicc["IAVC"].append(datos["IAVC"][i])

for i in range(0, len(EsT)):
    Dico["Estadillo"].append(datos3["Estadillo"][i])
    Dico["X"].append(datos3["CoorX"][i])
    Dico["Y"].append(datos3["CoorY"][i])

for i in range(0, len(Dicc["Estadillo"])):
    h = Dicc["Ht_m"][i]
    d = ((Dicc["Dn1_mm"][i] + Dicc["Dn2_mm"][i]) / 2) / 10

    if d < 3.25:
```



```
Dicc["TL"].append(1)
elif d >= 3.25 and d < 7.5:
    Dicc["TL"].append(2)
elif d >= 7.5 and d < 12.5:
    Dicc["TL"].append(3)
elif d >= 12.5 and d < 17.5:
    Dicc["TL"].append(4)
elif d >= 17.5 and d < 22.5:
    Dicc["TL"].append(5)
elif d >= 22.5 and d < 27.5:
    Dicc["TL"].append(6)
elif d >= 27.5 and d < 32.5:
    Dicc["TL"].append(7)
elif d >= 32.5 and d < 37.5:
    Dicc["TL"].append(8)
elif d >= 37.5 and d < 42.5:
    Dicc["TL"].append(9)
elif d >= 42.5:
    Dicc["TL"].append(10)

Dicc["Tronco"].append(0.0139 * (d ** 2) * h)
z = 0
if d <= 27.5:
    Dicc["VZ"].append(0)
    z = 0
else:
    Dicc["VZ"].append(1)
    z = 1

Dicc["RamaGruesa"].append((3.926 * (d - 27.5)) * z)
Dicc["RamaMed"].append(4.257 + 0.00506 * (d ** 2) * h - 0.0722 * h *
d)
Dicc["RamaFin"].append(6.197 + 0.00932 * (d ** 2) * h - 0.0722 * h *
d)
Dicc["Raiz"].append(0.0785 * (d ** 2))
Dicc["SumBioPar"].append(
    Dicc["Tronco"][i] + Dicc["RamaGruesa"][i] + Dicc["RamaMed"][i] +
Dicc["RamaFin"][i] + Dicc["Raiz"][i])
Dicc["BioTR"].append(Dicc["Tronco"][i] + Dicc["RamaGruesa"][i])
Dicc["%TR"].append(Dicc["BioTR"][i] / Dicc["SumBioPar"][i])
Dicc["VTT"].append(Dicc["VCC"][i] + Dicc["IAVC"][i] * años)

a, b = linear_conversion(Dicc["BioTR"], Dicc["VCC"])

for i in range(0, len(Dicc["Estadillo"])):
    Dicc["BPNY"].append((Dicc["VTT"][i] - b) / a)
    Dicc["BPACNY"].append(Dicc["BPNY"][i] / Dicc["%TR"][i])

VaRe = 0
Sum = 0
```



```
Sum2 = 0
Sum3 = 0
Sum4 = 0
Sum5 = 0
Cont = -1
Moda=[]
```

```
for i in range(0, len(Dicc["Estadillo"])):
    Cont+=1
    if Dicc["Estadillo"][i] != VaRe:
        Resul["Estrato"].append(Dicc["Estrato"][i])
        Resul["Estadillo"].append(Dicc["Estadillo"][i])
        VaRe = Dicc["Estadillo"][i]
        if i != 0:
            Resul["SBP"].append(Sum)
            Resul["SBPTRNA"].append(Sum2)
            Resul["SBPACNA"].append(Sum3)
            Resul["N° Obs"].append(Cont)
            Resul["TL"].append(statistics.mode(Moda))
            Resul["SBTR"].append(Sum4)
            Resul["SVCC"].append(Sum5)
            Sum = 0
            Sum2 = 0
            Sum3 = 0
            Sum4 = 0
            Sum5 = 0
            Cont=0
            Moda=[]

    Moda.append(Dicc["TL"][i])
    Sum = Sum + (Dicc["SumBioPar"][i])
    Sum2 = Sum2 + (Dicc["BPNY"][i])
    Sum3 = Sum3 + (Dicc["BPACNY"][i])
    Sum4 = Sum4 + (Dicc["BioTR"][i])
    Sum5 = Sum5 + (Dicc["VCC"][i])

    # print(Sum)

Resul["TL"].append(statistics.mode(Moda))
Resul["N° Obs"].append(Cont)
Resul["SBP"].append(Sum)
Resul["SBPTRNA"].append(Sum2)
Resul["SBPACNA"].append(Sum3)
Resul["SBTR"].append(Sum4)
Resul["SVCC"].append(Sum5)

for i in range(0, len(Resul["Estadillo"])):
    Resul["BioUAHa_T/Ha"].append(((Resul["SBP"][i] * 10000) / ha) / 1000)
```





```
Resul["BioHaTRNA_T/Ha"].append(((Resul["SBPTRNA"][i] * 1000) / ha) /
1000)
Resul["BioHaACNA_T/Ha"].append(((Resul["SBPACNA"][i] * 1000) / ha) /
1000)

# Dico["EstadilloF"]=unique_values = get_unique_values_in_dict(Dico,
"Estadillo")

for i in range(0, len(Dico["Estadillo"])):

    if Dico["Estadillo"][i] in Resul["Estadillo"]:
        Resul["X_UTM_30"].append(Dico["X"][i])
        Resul["Y_UTM_30"].append(Dico["Y"][i])

# Información complementaria

Det["Param_A"]=a
Det["Param_B"]=b
Det["Año_Inicio"]=2010
Det["Año_Actual"]=int(NY)
Det["Num_Estadillos"]=len(Resul["Estadillo"])

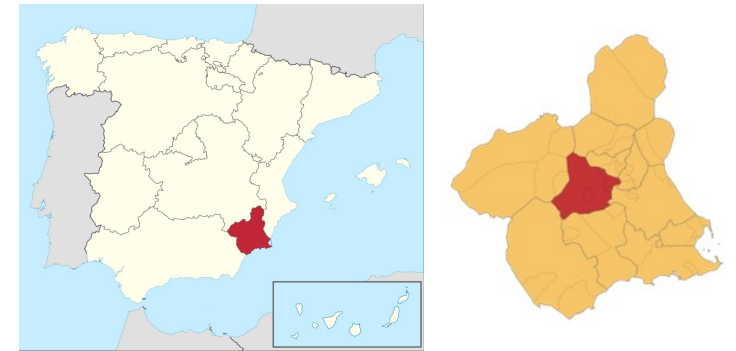
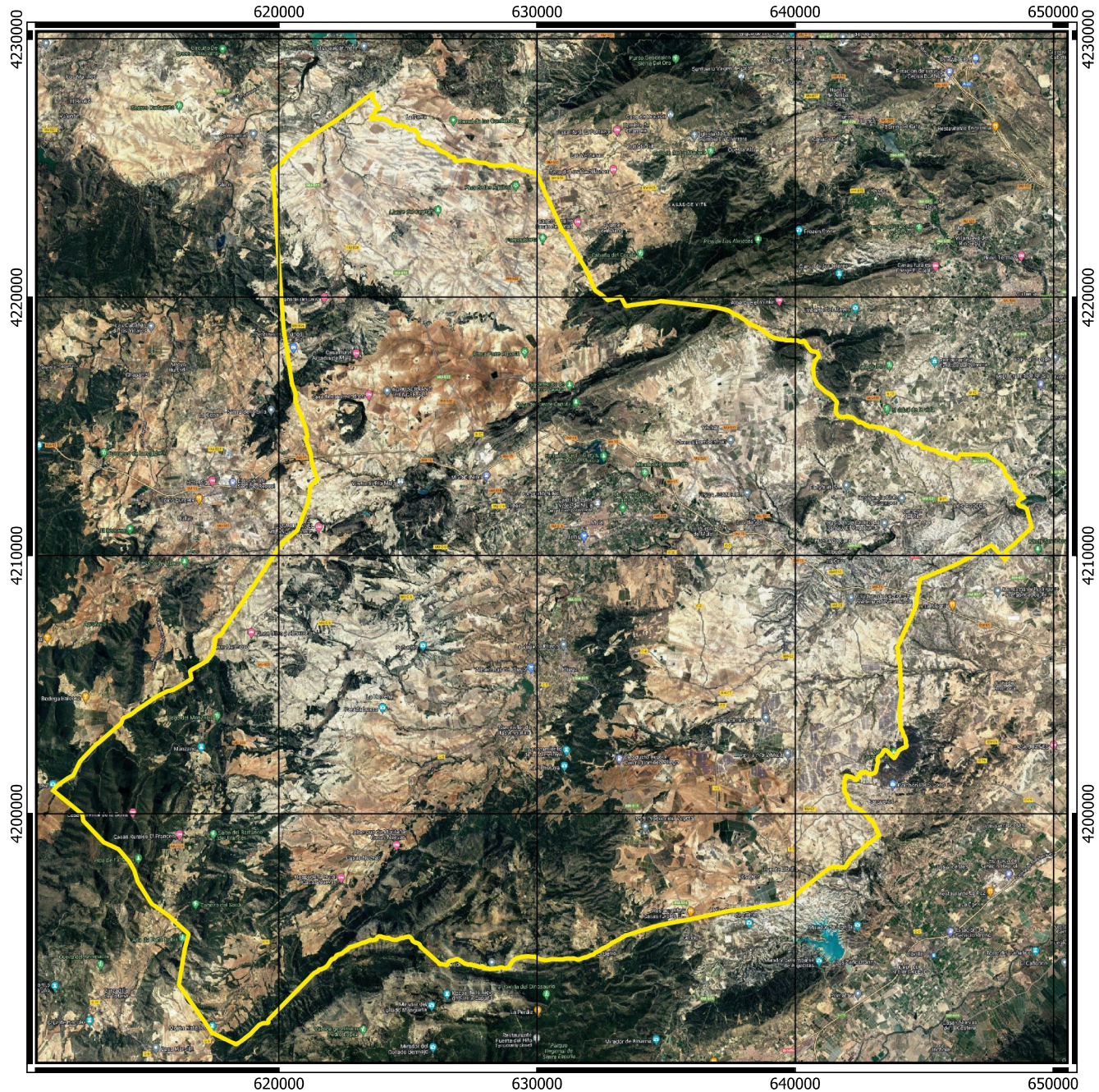
# Imprimir CSV
dg = pd.DataFrame(Resul)
dg
dg.to_csv('AutoExcel.csv', index=False, sep=';', decimal=",")
dg.to_csv('AutoExcelSig.csv', index=False, sep=',')

# Imprimir CSV Detalles
dg = pd.DataFrame(Dicc)
dg
dg.to_csv('DICC_IFN4.csv', index=False, sep=';', decimal=",")
'''
```



## 9. Cartografía

1. Mapa de Situación
2. Mapa de *Pinus Halepensis Mill*
3. Mapa de Puntos del IFN3
4. Mapa de Puntos del IFN4
5. Mapa de FCC de MFE
6. Mapa de FCC de Texturas
7. Mapa de Biomasa del IFN3 Estados MFE
8. Mapa de Biomasa del IFN3 Estados Texturas
9. Mapa de Biomasa del IFN4 Estados MFE
10. Mapa de Biomasa del IFN4 Estados Texturas



# Título del Mapa: Mapa de Situación

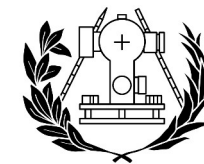
Autor:  
Ricardo Llovet Villamayor

SRC:  
ETRS 89 / UTM 30 N

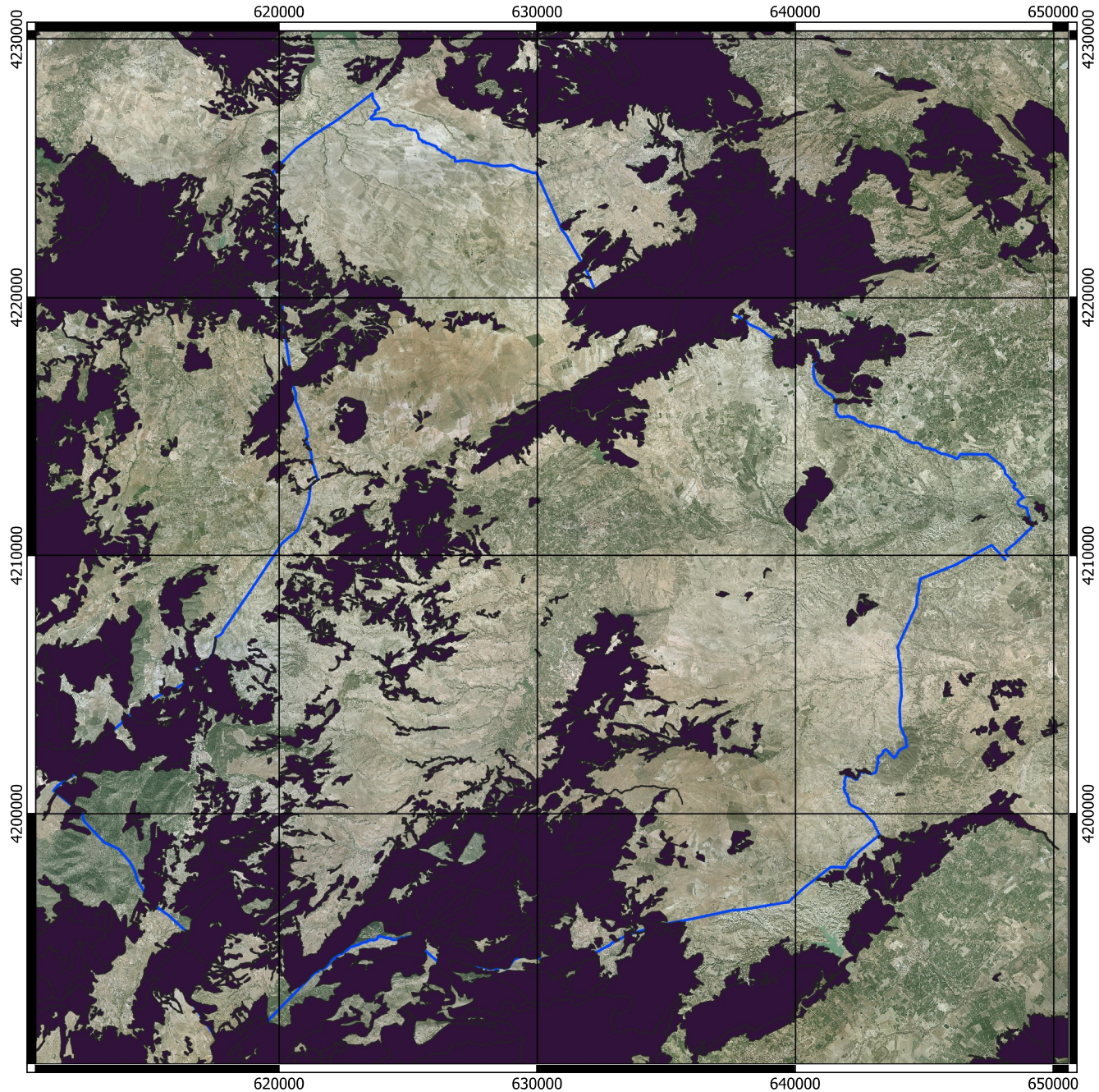
Nº de Plano:  
**1**

Fecha : 05/07/2023

Escala: 0 2,5 5 km



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**



**Leyenda:**

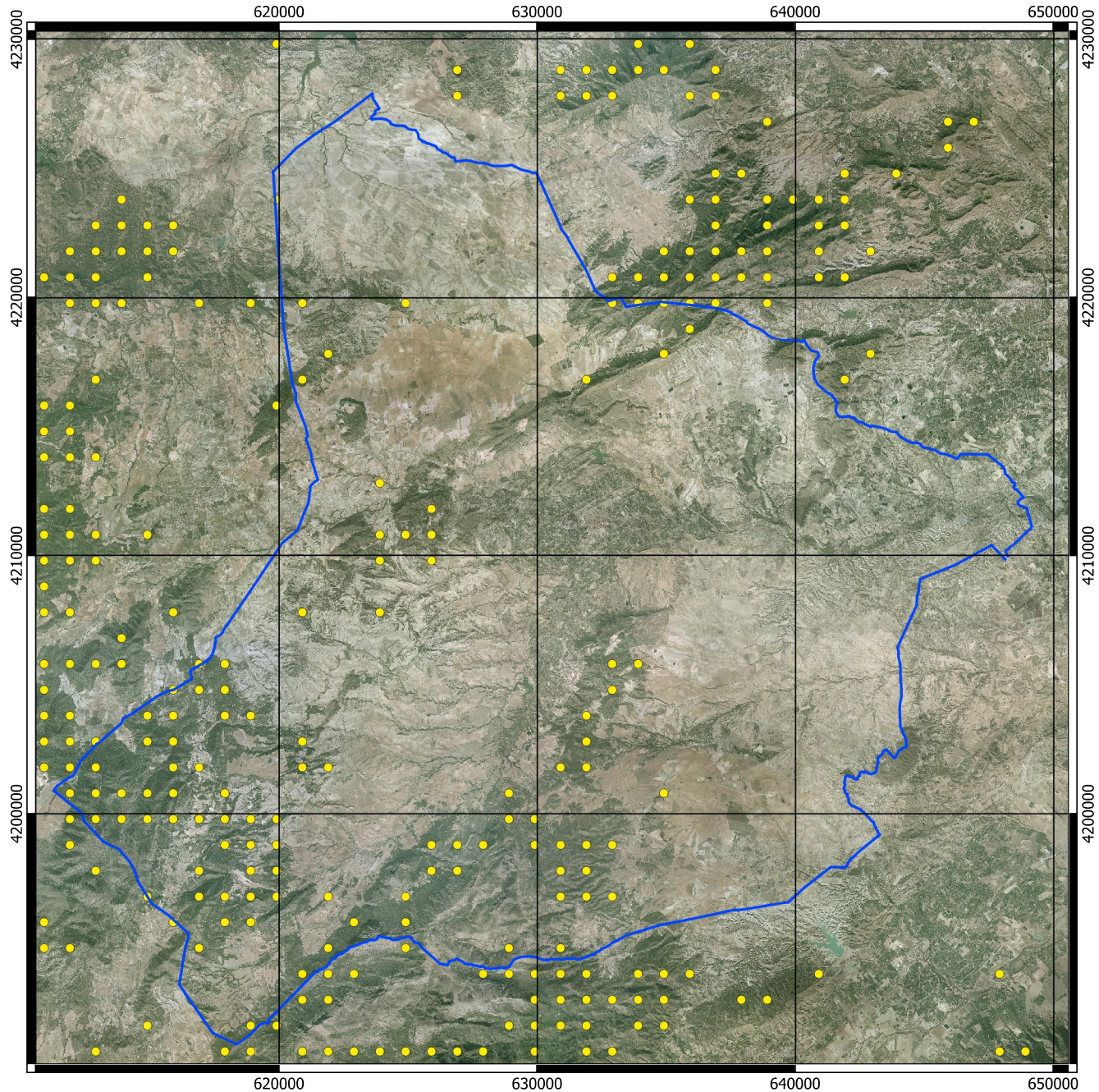
- Pinus Halepensis Mill
- Comarca río Mula
- Imagen de Fondo PNOA

**Título del Mapa:**  
**Mapa de Pinus Halepensis Mill en la zona de estudio**

Autor: Ricardo Llovet Villamayor	SRC: ETRS 89 / UTM 30 N
Nº de Plano: <span style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-left: 100px;">2</span>	Fecha : 05/07/2023 Escala: 0 <span style="display: inline-block; width: 20px; border-bottom: 1px solid black; margin: 0 5px;"></span> 2,5 <span style="display: inline-block; width: 20px; border-bottom: 1px solid black; margin: 0 5px;"></span> 5 km



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**



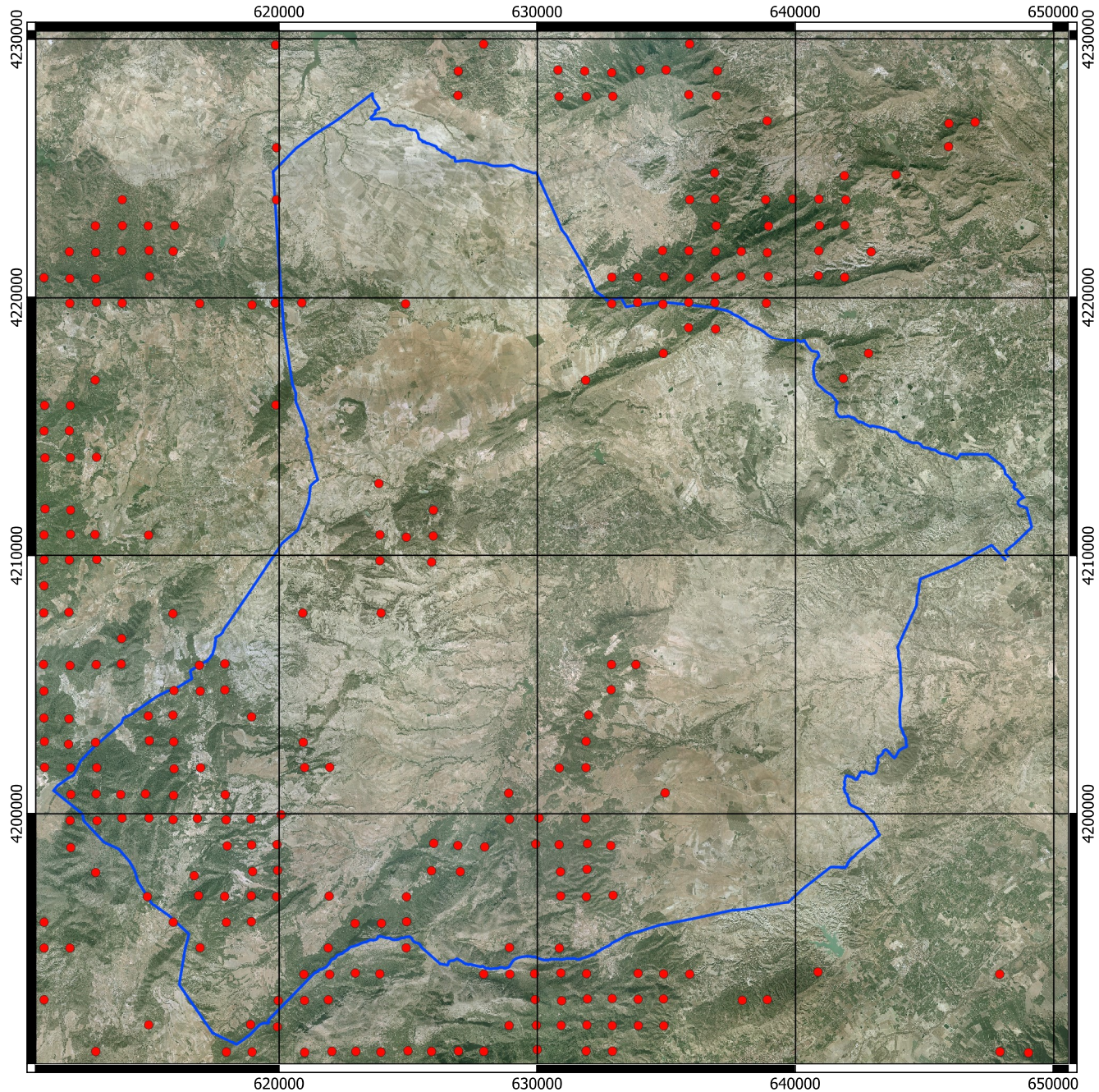
**Leyenda:**  
 — Comarca río Mula  
 ● IFN3  
 Imagen de Fondo PNOA

## Título del Mapa: Mapa de puntos del IFN3

Autor: Ricardo Llovet Villamayor	SRC: ETRS 89 / UTM 30 N
Nº de Plano: <span style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-left: 20px;">3</span>	Fecha : 05/07/2023 Escala: 0    2,5    5 km 



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**



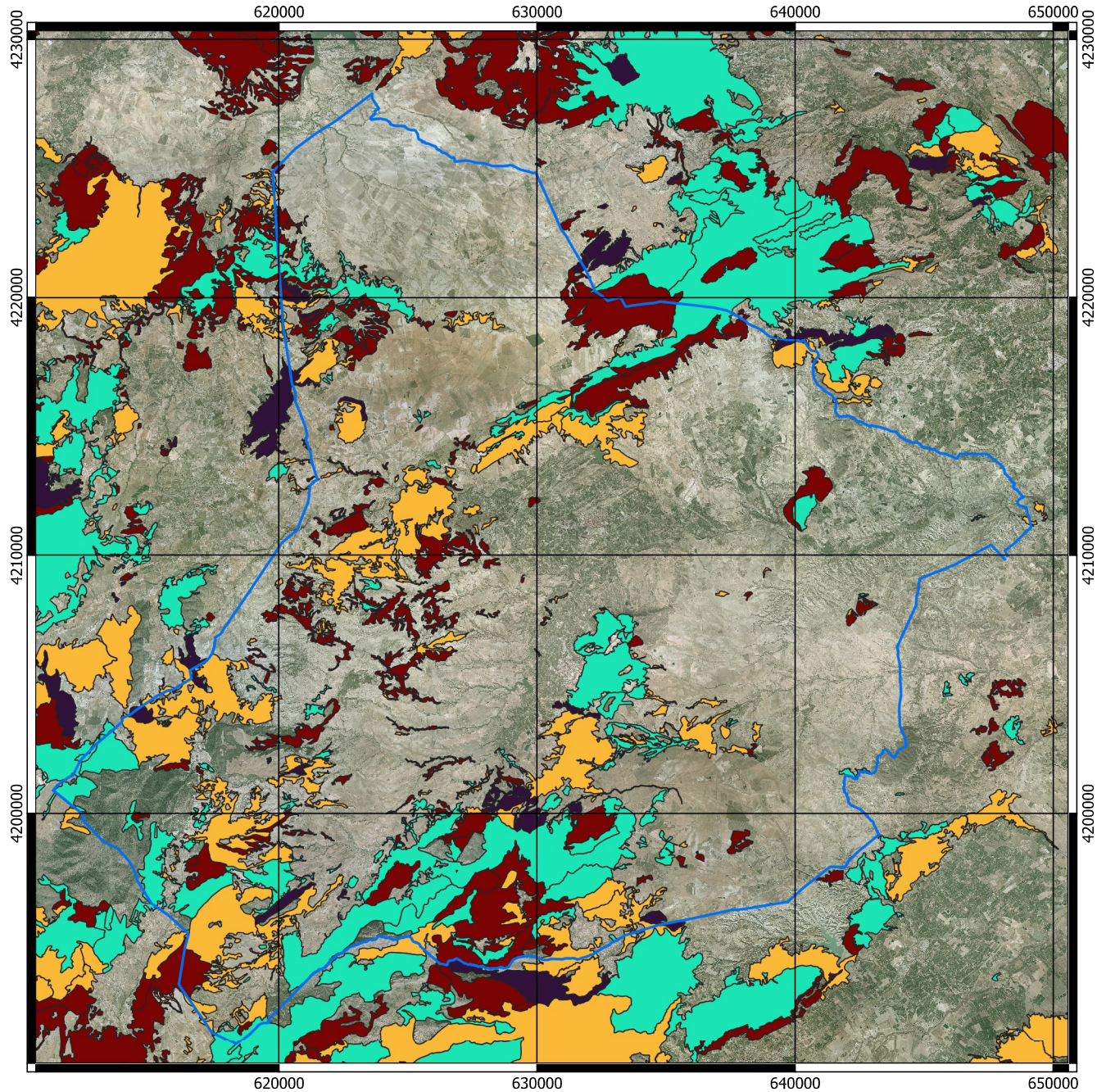
**Leyenda:**  
 — Comarca río Mula  
 ● IFN4  
 Imagen de Fondo PNOA

## Título del Mapa: Mapa de puntos del IFN3

Autor: Ricardo Llovet Villamayor	SRC: ETRS 89 / UTM 30 N
Nº de Plano: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center; margin: 5px 0;">4</div>	Fecha : 05/07/2023 Escala: 0 2,5 5 km 



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**



**Leyenda:**

COMM	33%-0%
FCC	60%- 0%
100%-66%	Imagen de Fondo PNOA
66%-33%	

**Título del Mapa:**  
**Mapa Fracción de Cabida  
 Cubierta MFE**

**Autor:**  
 Ricardo Llovet Villamayor

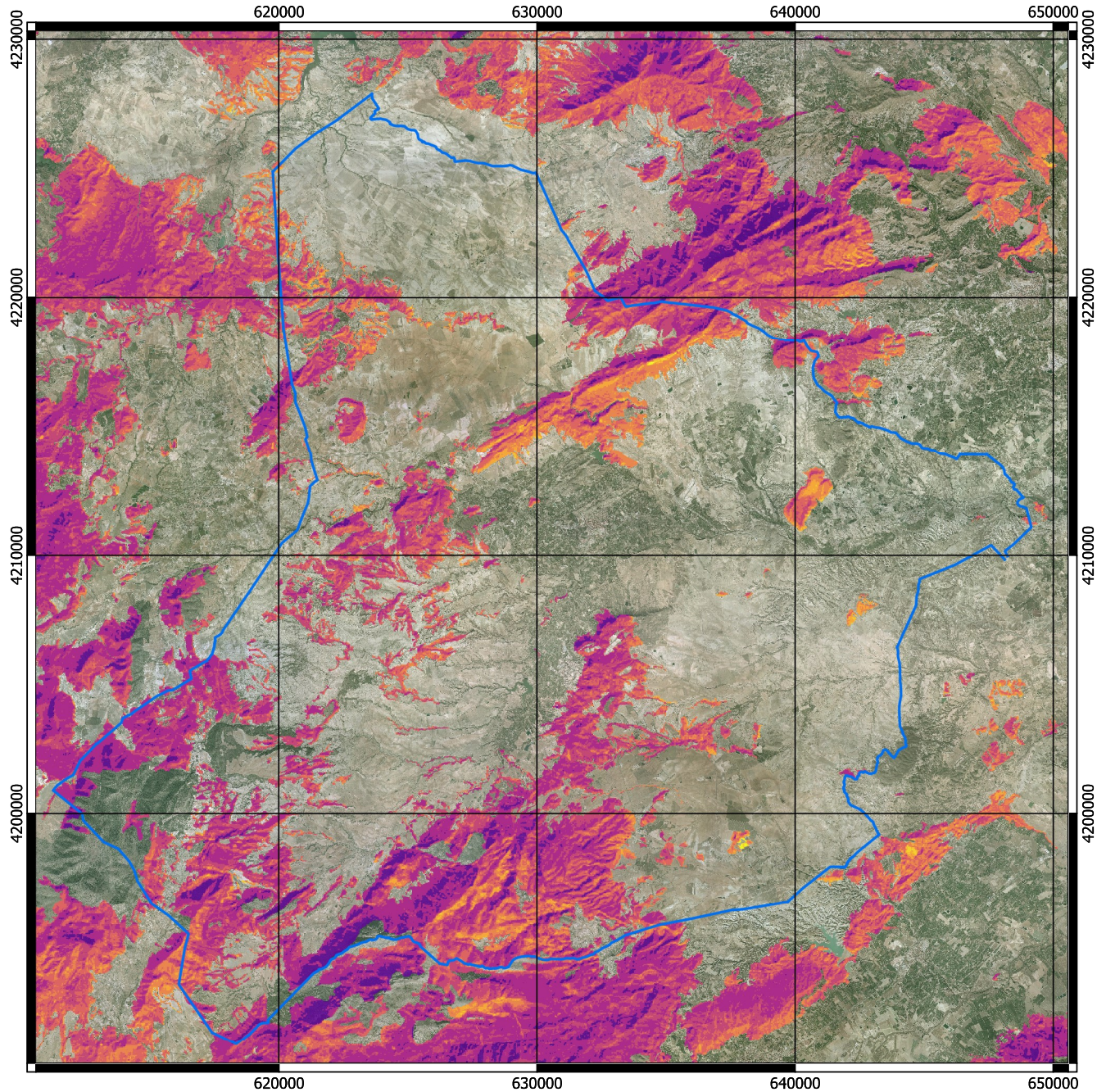
**SRC:**  
 ETRS 89 / UTM 30 N

**Nº de Plano:**  
5

**Fecha :** 05/07/2023  
**Escala:** 0 2,5 5 km



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA  
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**



**Leyenda:**

- Comarca río Mula
- Imagen de Fondo PNOA
- Fracción de Cabida
- Cubierta

100%  
0%

## Título del Mapa:

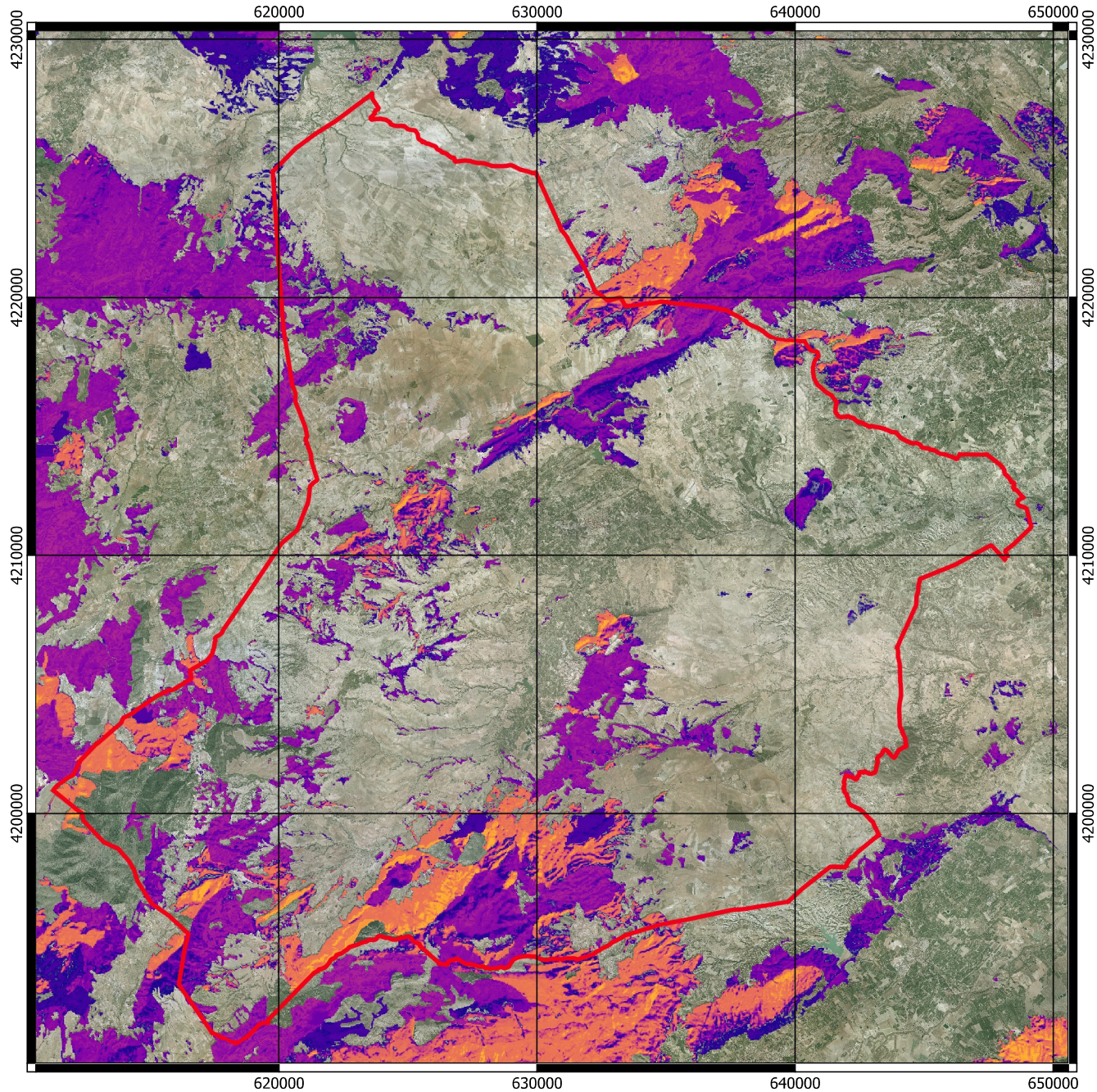
### Mapa Fracción de Cabida Cubierta Obtenida

Autor: Ricardo Llovet Villamayor	SRC: ETRS 89 / UTM 30 N
Nº de Plano: <span style="font-size: 24px; font-weight: bold; margin-left: 100px;">6</span>	Fecha : 05/07/2023 Escala: <span style="display: inline-block; width: 50px; border-bottom: 1px solid black; margin: 0 5px;"></span> 0    2,5    5 km

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA





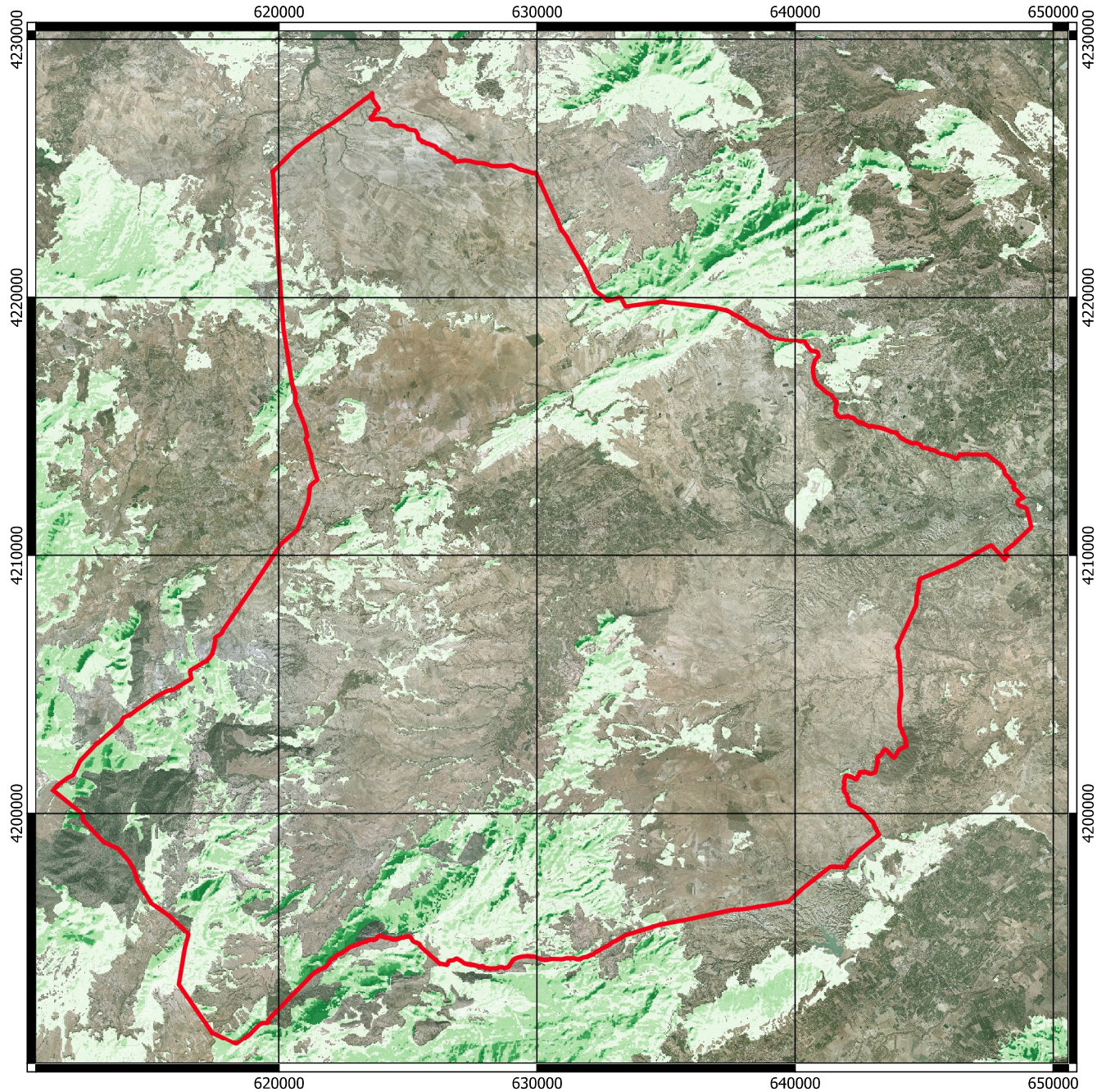
**Leyenda:**

— Comarca río Mula    Biomasa 1999  
 Imagen de Fondo PNOA    T/Ha  
 80  
 0

**Título del Mapa:**  
**Mapa de Biomasa IFN3**  
**Estado MFE**

Autor: Ricardo Llovet Villamayor	SRC: ETRS 89 / UTM 30 N
Nº de Plano: <span style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-left: 20px;">7</span>	Fecha : 05/07/2023 Escala:    0    2,5    5 km <div style="text-align: right; margin-top: 5px;"> </div>

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**



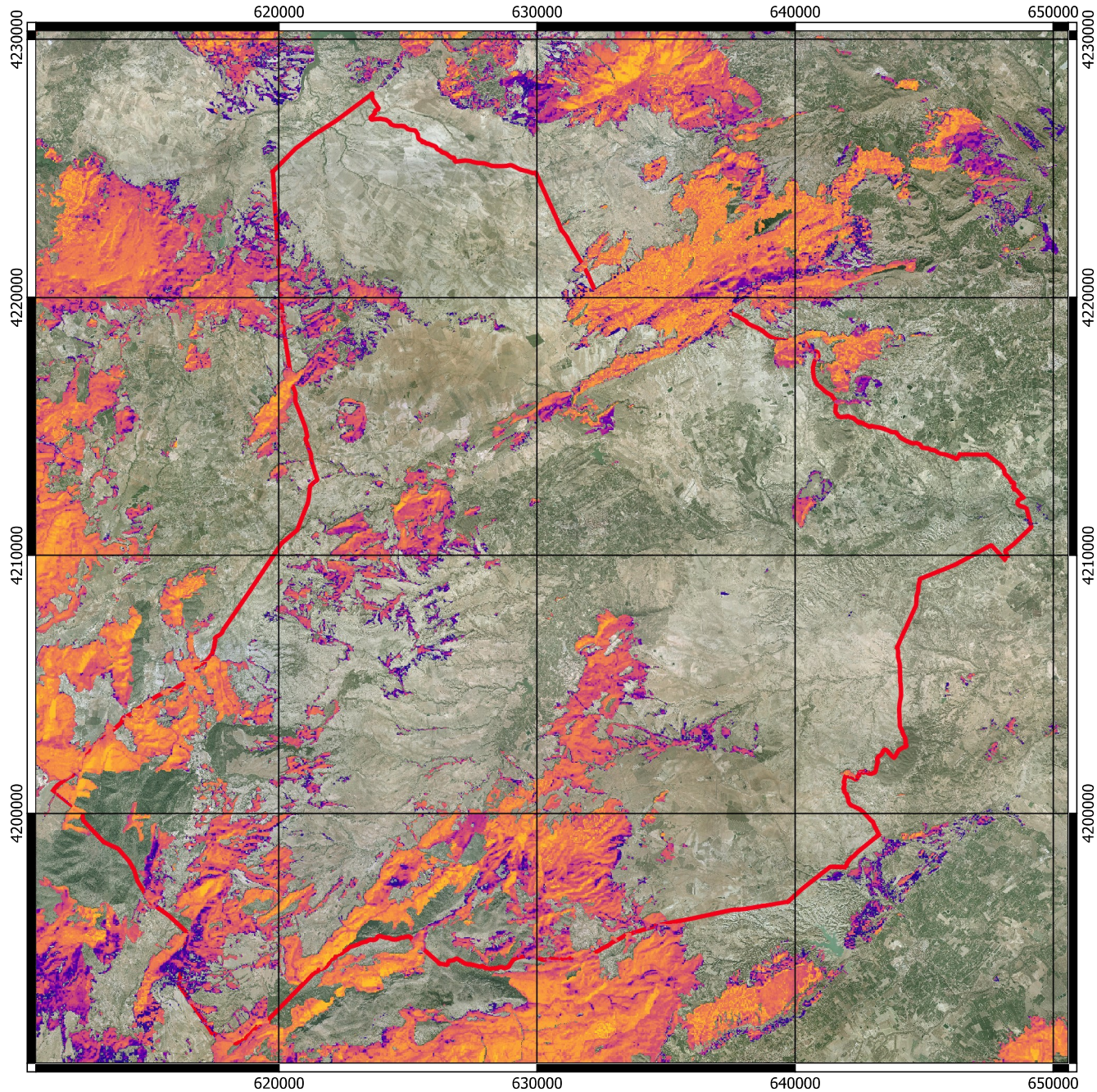
**Leyenda:**

— Comarca río Mula    Biomasa 1999  
 Imagen de Fondo PNOA    T/ Ha  
 80  
 0

**Título del Mapa:**  
**Mapa de Biomasa IFN3**  
**Estado Textura**

Autor: Ricardo Llovet Villamayor	SRC: ETRS 89 / UTM 30 N
Nº de Plano: <b>8</b>	Fecha : 05/07/2023 Escala:    0    2,5    5 km 

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**



**Leyenda:**

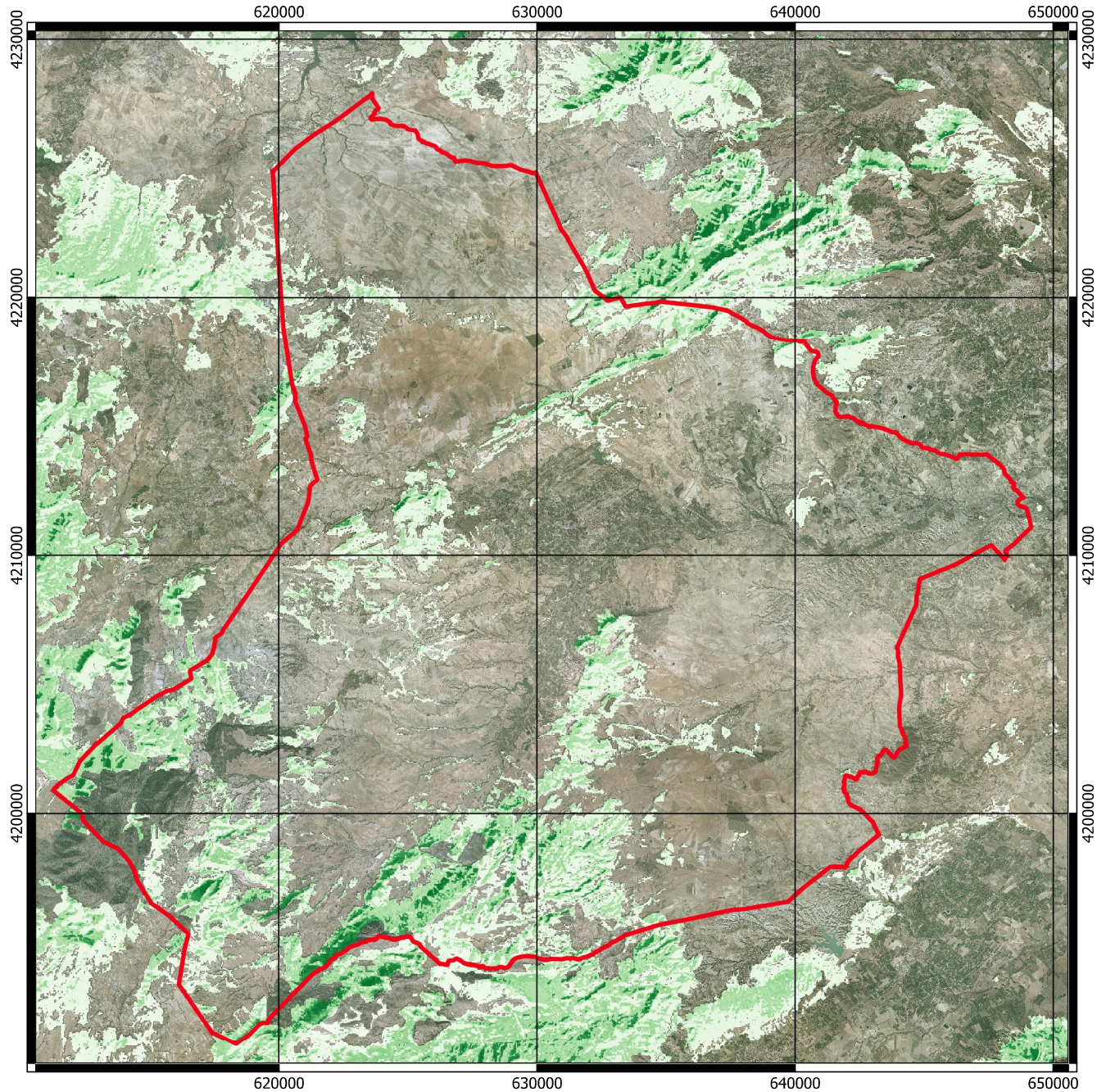
— Comarca río Mula    Biomasa 2010  
 Imagen de Fondo PNOA    T/Ha

80  
 0

**Título del Mapa:**  
**Mapa de Biomasa IFN4**  
**Estado MFE**

Autor: Ricardo Llovet Villamayor	SRC: ETRS 89 / UTM 30 N
Nº de Plano: <b>9</b>	Fecha : 05/07/2023
	Escala: 0 2,5 5 km

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**



**Leyenda:**

— Comarca río Mula    Biomasa 2010  
 Imagen de Fondo PNOA    T/Ha  
 80  
 0

**Título del Mapa:**  
**Mapa de Biomasa IFN4**  
**Estado Texturas**

Autor: Ricardo Llovet Villamayor	SRC: ETRS 89 / UTM 30 N
Nº de Plano: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">10</div>	Fecha : 05/07/2023 Escala: 0    2,5    5 km 

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
 DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
 CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**