



---

**Universidad de Valladolid**  
**Campus de Palencia**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR**  
**DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Grado en Ingeniería Forestal y del Medio Natural**

“Optimización del potencial productivo de biomasa para fines energéticos en la Sierra de Codés mediante modelización selvícola con SIMANFOR”

Alumno: Javier González Manzano

Tutor: Aitor Vázquez Veloso

Cotutor: Carlos Emilio del Peso Taranco

Abril de 2025



# ÍNDICE

1.	RESUMEN.....	1
2.	INTRODUCCIÓN .....	2
	a) Situación sector biomasa en España.....	2
	b) Situación sector pellet en España .....	3
	c) División municipal .....	7
	d) Demografía.....	8
	e) Economía.....	12
	f) Climatología .....	13
	g) Flora y fauna.....	18
	h) Sector forestal.....	19
3.	OBJETIVOS.....	28
4.	MATERIAL Y MÉTODOS .....	29
	a. Situación forestal de la zona de estudio .....	29
	b. Metodología .....	47
	i. Caracterización de la biomasa actual .....	47
	ii. Estimación de la biomasa potencial .....	53
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
	i. Caracterización de la biomasa actual .....	63
	ii. Estimación de la biomasa potencial .....	71
6.	CONCLUSIONES .....	93
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	94
8.	ANEXO 1:PLANOS .....	98

## **1. RESUMEN**

El presente trabajo se realizó tras la necesidad real que tenían los pueblos participantes en el proyecto de desarrollo rural ‘Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés’ de conocer el potencial productivo de biomasa de las masas forestales de sus municipios. El objetivo era determinar si serían capaces de autoabastecer una hipotética central de biomasa para su uso como biocombustible para los habitantes de dichos municipios. Los diecisiete municipios adheridos al proyecto, situados en el extremo occidental de la Comunidad Foral de Navarra, se encuentran en un riesgo de despoblación muy grave en su mayoría, donde la actividad forestal se reduce en ámbitos generales a la extracción de leñas de hogar mediante suertes de leña. Mediante el presente trabajo se cuantificó la biomasa forestal actual y potencial en las masas forestales que componen la Sierra de Codés para evaluar la posibilidad de implantar una central de procesamiento para su uso como biocombustible por los habitantes de los municipios. Para ello se determinó la biomasa actual y potencial disponible por las cuatro especies forestales principales, se modeló el crecimiento de las masas bajo modelos selvícolas de referencia para conocer las extracciones en términos de biomasa y se demostró el potencial productivo de biomasa de la Sierra de Codés para abastecer una hipotética central de biomasa común. La consecución de estos objetivos se logró tras la elaboración de un inventario forestal en unas masas concretas, que por sus características selvícolas (especie principal, clase natural de edad y extensión principalmente) representaban con mayor fidelidad al conjunto de las masas forestales del territorio de estudio. Posteriormente, se calculó la biomasa actual para cada tipo de masa, el crecimiento anual en términos de biomasa de cada una de ellas y la cantidad de biomasa extraída mediante diferentes escenarios selvícolas ajustados a cada situación, simulando un periodo de 30 años. De esta forma, se determinó la biomasa actual y potencial de las masas forestales en la zona de estudio, concretando de tal manera el potencial productivo de biomasa de la Sierra de Codés.

## 2. INTRODUCCIÓN

Los municipios participantes en el proyecto ‘Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés’ en Navarra desean conocer el potencial productivo de biomasa de sus montes porque tienen la inquietud de conocer si su superficie forestal es suficiente como para autoabastecer una central de biomasa que transforme los recursos madereros locales en biocombustible para las calderas de los hogares de los habitantes de dichos municipios. Por ello se recurre al análisis detallado del sector de la biomasa en el panorama nacional, así como el sector del pellet, principal forma de venta de los biocombustibles forestales. Además se detalla la situación administrativa, demográfica y económica de los municipios, así como las características climatológicas principales, la flora y fauna característica de la zona y se realiza un análisis del sector forestal en la zona de estudio.

### **a) Situación sector biomasa en España**

La biomasa como fuente de energía renovable juega un rol cada vez más importante en el panorama energético español e internacional. Este recurso se obtiene de la materia orgánica, bien de origen animal o bien de origen vegetal, y representa una alternativa sostenible y prometedora en un contexto de transición energética y lucha contra el cambio climático. En el transcurso de la última década, el sector de la biomasa en España ha experimentado un significativo crecimiento, consolidándose como un pilar fundamental en la estrategia nacional en lo que a energías renovables se refiere (APPA, 2022).

Su capacidad de generar energía limpia, así como su potencial para impulsar desarrollo en los entornos rurales, crear empleo y valorizar residuos, son las principales razones que reflejan la importancia de la biomasa. Además, la biomasa ofrece una oportunidad única para la gestión sostenible de los bosques, contribuyendo a la prevención de incendios forestales y generando ecosistemas más resilientes al cambio climático, entre otros servicios.

España cuenta con una superficie forestal que supera la mitad de su territorio nacional (56%, siendo superficie forestal arbolada el 36% de la superficie total del país), lo cual es un dato especialmente significativo, destacando que ha experimentado un crecimiento del 33% en los últimos 25 años (Energía de Castilla y León, 2025). Dicho crecimiento forestal representa una gran oportunidad en el territorio nacional para optimizar los recursos forestales y gestionar la biomasa como una fuente de energía renovable que reduce la dependencia energética de países externos (como ocurre con la mayoría de los combustibles fósiles) promoviendo la actividad económica en entornos rurales, fijando población y contribuyendo significativamente

a la cohesión territorial. No solo los recursos forestales son recursos biomásicos, si no que otros recursos como los agrícolas, ganaderos, restos procedentes de industrias e incluso restos municipales (p.e. jardinería) pueden tener este destino, por lo que las fuentes de materia prima de dicho sector son variadas y multidisciplinares. Este recurso además presenta una mayor estabilidad en sus precios debido al mayor equilibrio de obtención de su materia prima, otorgando tranquilidad y confianza en el consumidor.

Estadísticamente, la contribución económica del sector al PIB español superó los 1.494 millones de euros, con un crecimiento del 1,1% en 2018. La actividad generó más de 32.000 puestos de trabajo en 2018, siendo la tecnología renovable que más empleos genera por unidad de potencia instalada. La bioenergía representa el 34% de la energía renovable consumida en España, siendo la biomasa la responsable del 72% del calor de origen renovable entregado en el país (Energía de Castilla y León, 2025).

La utilización de energías renovables térmicas como la biomasa producen un importante efecto de sustitución que evita la importación de combustibles fósiles, lo que supone un importante ahorro económico, así como evita la emisión a la atmósfera de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y de SO<sub>2</sub>, con sus consiguientes beneficios asociados tanto para el medioambiente como para la salud pública.

En conclusión, la valorización energética de la biomasa constituye una alternativa eficiente a la urgente necesidad de transformar el modelo productivo actual hacia un modelo de economía circular basado en la bioeconomía, promoviendo la cohesión territorial en la ‘España vaciada’ desde un modelo energético sostenible.

## **b) Situación sector pellet en España**

La biomasa forestal es un recurso renovable de múltiples posibilidades y que puede ser utilizada para diversos fines. Una de sus aplicaciones es la producción de energía, bien para generar electricidad o bien para la producción de calor en diversos sistemas (calefacción residencial, calefacción industrial, generación de agua caliente sanitaria (ACS), etc.). Dicha biomasa puede ser utilizada también como materia prima para la elaboración de biocombustibles y como materia prima destinada a la elaboración de compuestos orgánicos y abonos. Otro destino posible de este recurso sería su utilización como *ecomulching* en diversos cultivos agrícolas principalmente leñosos. Esta técnica, consiste en la aplicación de residuos orgánicos como la biomasa en los cultivos para mejorar las condiciones del suelo, fomentando una agricultura sostenible (Gamo Forestal, 2025).

Dentro de los diversos destinos de la biomasa forestal en el mercado, el presente estudio se centrará en la utilización del recurso como biocombustible, especialmente como pellet.

En España, el sector del pellet ha experimentado un crecimiento notable en la última década, consolidándose como una alternativa energética sostenible y eficiente dentro del panorama de las energías renovables. Este auge de la demanda y producción de dicho producto se debe principalmente a la búsqueda de alternativas de combustibles fósiles, así como el impulso de las políticas verdes europeas. Los pellets, pequeños cilindros de madera comprimida, representan un formato de biomasa densificada que ofrece numerosas ventajas en términos de almacenamiento, transporte, logística y eficiencia energética.

*Ilustración 2.1 Pellets de madera*

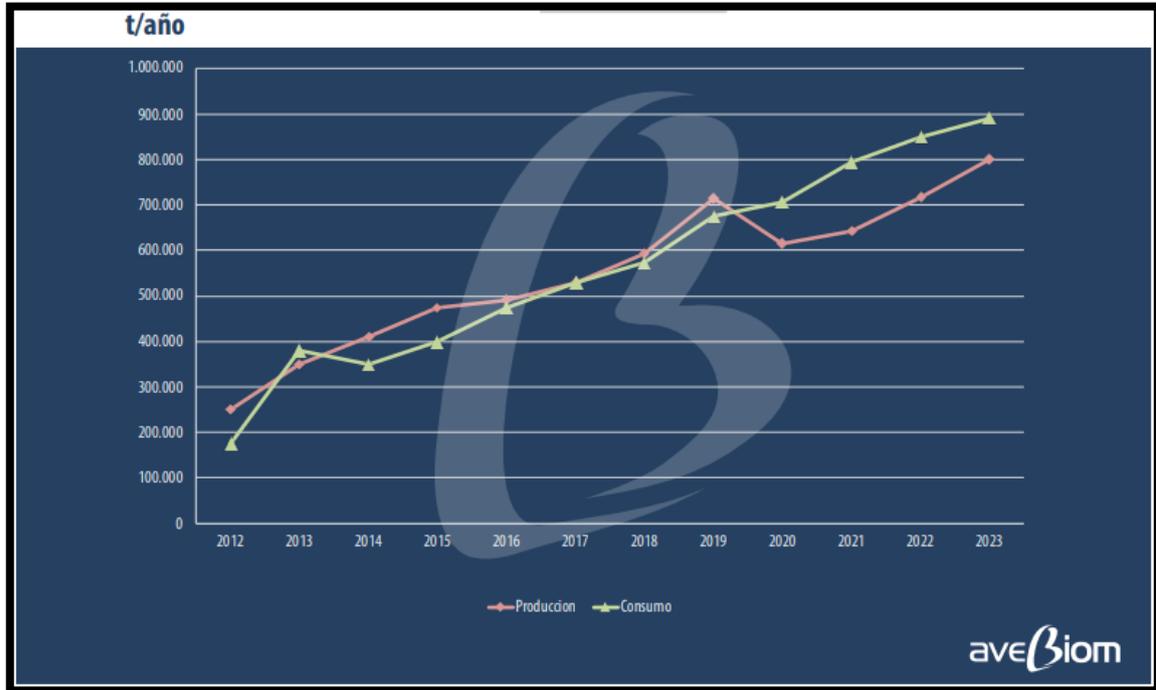


En cuanto a aplicaciones de calefacción y generación de calor para uso industrial, el pellet ha ganado relevancia como una opción más que viable para la sustitución de combustibles fósiles, no sólo por su contribución a la mitigación del cambio climático y la transición energética, sino por su capacidad de mantener unos precios estables en el tiempo, así como por ser estos competitivos frente al resto de energías. Su producción valoriza los residuos forestales y de la industria maderera, fomenta la gestión sostenible de los bosques y la prevención de incendios forestales, y promueve el desarrollo demográfico y económico en las zonas rurales.

El mercado del pellet en España presenta un aumento sostenido de la producción, alcanzando las 800.000 toneladas en 2023. El consumo del pellet en el marco nacional es algo superior, presentando también un crecimiento constante llegando a 890.000 toneladas en el mismo año. Según los datos de la Asociación Española de Valorización Energética de la

Biomasa (AveBiom, 2025), las curvas de producción y consumo tienden a igualarse (Figura 2.1).

Figura 2.1 Producción y consumo de pellets en España. Fuente: Avebiom.



En 2023 el número de plantas operativas de fabricación de pellets en España ascendía a 68, siendo hasta 108 las empresas certificadas con ENplus<sup>®</sup> (62 productores, 46 distribuidores). Dicho certificado, asegura que la calidad del pellet producido supere las condiciones establecidas por la normativa europea, dando al consumidor tranquilidad y confianza en el producto, produciendo también un efecto de diferenciación respecto al resto de biocombustibles del mercado.

Figura 2.2.- Sello ENplus<sup>®</sup>



En cuanto al uso, el informe estadístico sobre la situación de mercado del pellet en España de la Avebiom señala que el sector doméstico domina el uso en un 91,3%, seguido del uso industrial (8,3%). La tendencia va hacia la concentración en plantas de gran capacidad, siendo especialmente relevante la certificación ENplus®, pues supone el 89% de la producción nacional certificada. Castilla y León es la comunidad autónoma que más plantas de este tipo presenta (11), seguida de Andalucía (9) y de Galicia (8), lo que pone de manifiesto el interés que muestran estas regiones en la producción de biomasa para pellet y también la potencialidad de sus montes para dicho uso.

En cuanto a la comercialización del producto, el formato de venta es variable: ensacado (74%), granel (19,5%), big-bag (6,5%). En el mercado internacional, las importaciones en 2022 cerraron en 116.000 toneladas, prácticamente en su totalidad provenientes de Portugal, y las exportaciones en 205.000 toneladas, principalmente a Francia e Italia. Económicamente, en 2022 calentarse con gas fue un 44% más caro que hacerlo con pellets, y hacerlo con radiadores eléctricos costó el triple que hacerlo con pellets. En el contexto actual, se prevé un futuro de crecimiento sostenido del mercado debido a las numerosas políticas verdes, tanto nacionales como europeas, que promueven este tipo de productos de origen renovable y sostenible. El sector contribuye a la transición ecológica y a la descarbonización, promoviendo la consecución de los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, objetivo recogido tanto en el Marco estratégico de Energía y Clima de España, como por la Agenda 2030 europea (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015). El desarrollo del pellet en España debería contar por tanto con la implementación de políticas de apoyo adecuadas que promuevan y favorezcan el desarrollo del sector en detrimento de otros sectores de origen no renovable.

A modo de resumen, los datos anteriormente expuestos ponen de manifiesto el crecimiento del sector de la biomasa a nivel estatal, las ventajas de este producto respecto a sus alternativas comerciales, y el interés ya existente en Castilla y León para potenciar este sector. Este interés, perfectamente extrapolable a otras comunidades autónomas, refleja el auge del sector y refuerza de la idea de construcción de una central de biomasa común en la Sierra de Codés.

### **c) División municipal**

Los municipios que componen al proyecto promotor del presente estudio son aquellos municipios de la provincia de Navarra participantes en el proyecto de ‘Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés’ (Plano 1). Estos 17 municipios son los siguientes:

Aguilar de Codés, Aras, Armañanzas, Azuelo, Bargota, Cabredo, Desojo, El Busto, Espronceda, Genevilla, Lapoblación-Meano, Lazagurría, Marañón, Mues, Sansol, Torralba del Río y Torres del Río.

Además de estos municipios, Otiñano es concejo del Municipio de Torralba del Río, así como Meano es concejo de Lapoblación. Esto quiere decir que sendos municipios son compuestos, contando con una división administrativa en concejos.

En la Comunidad Foral de Navarra los concejos “son entidades locales enclavadas en el término de un municipio, con población y ámbito territorial inferiores al de este, con bienes propios y personalidad jurídica para la gestión de las competencias atribuidas a los mismos por esta Ley Foral [6/1990]”, (Administración Local de Navarra, Ley Foral 6/1990, de 2 de julio, 1990).

Los municipios enumerados anteriormente conforman un proyecto, ideado por el Ayuntamiento de Bargota, y que cuenta con el apoyo de la Unión europea, el Gobierno de España, el Gobierno de Navarra y la fundación La Caixa, con el propósito de activar a la población local para conseguir concienciar y así llegar al propósito de repoblación y dinamizar la Sierra de Codés, junto con su economía.

Entre los 17 municipios, suman casi 1700 habitantes (Tabla 2.1) teniendo como objetivo principal del proyecto combatir el éxodo rural y luchar contra la despoblación en esta zona.

Las localidades del proyecto se sitúan en el extremo occidental de la Comunidad Foral, en el macizo montañoso de la Sierra de Codés. Con una extensión total de 238,03 Km<sup>2</sup>, la superficie del proyecto linda con Álava en su extremo occidental y con La Rioja en la zona más meridional.

La compleja división municipal participante en el proyecto ‘Tejiendo Caminos’, compuesta por quince municipios simples y dos compuestos, exigirá en caso de creación de una planta de aprovechamiento común una colaboración y cooperación íntima entre los municipios que asegure la supervivencia de esta, aunando fuerzas en un proyecto conjunto.

## d) Demografía

La población total de los 17 municipios son 1.665 habitantes (2024), con una población media de apenas 98 habitantes por municipio, siendo Bargota el municipio más poblado con 247 empadronados, mientras que la localidad más despoblada es Azuelo, que cuenta con 33 vecinos.

*Tabla 2.1 Características principales de los municipios de 'Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés'. (m.s.n.m: metros sobre el nivel del mar).*

Municipios	Habitantes (2024)	Altitud (m.s.n.m)	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Densidad poblacional (hab/Km <sup>2</sup> )
Aguilar de Codés	75	731	18,67	4,02
Aras	155	633	17,72	8,75
Armañanzas	53	489	12,38	4,28
Azuelo	33	614	10,50	3,14
Bargota	247	587	25,32	9,75
Cabredo	75	659	11,90	6,30
Desojo	70	516	14,12	4,96
El Busto	54	431	7,18	7,52
Espronceda	108	537	8,76	12,33
Genevilla	68	617	8,64	7,87
Lapoblación-Meano	126	960	20,65	6,10
Lazagurría	174	392	17,01	10,23
Marañón	50	645	6,90	7,24
Mues	76	518	14,47	5,25
Sansol	89	485	13,31	6,68
Torralba del Río	97	629	17,69	5,48
Torres del Río	115	480	12,81	8,97
TOTAL	1.665	Media: 583,7	238,03	

Para poder reflejar de manera más fehaciente la realidad de la despoblación en los entornos rurales en Navarra, desde el propio Gobierno Foral se redactó un estudio que zonifica

y categoriza la despoblación por municipios (Gobierno de Navarra, 2021). En la realización de dicho estudio, se establecieron las siguientes categorías o tipos de municipios desde el punto de vista del riesgo de despoblación:

1: Riesgo extremo de despoblación:

- Densidad de población igual o inferior a 8 hab/km<sup>2</sup>

2: Riesgo intenso de despoblación:

- Densidad de población igual o inferior a 12,5 hab/km<sup>2</sup> y superior a 8 hab/km<sup>2</sup>

3: Riesgo importante de despoblación:

- Densidad igual o inferior a 25 hab/km<sup>2</sup> y superior a 12,5 hab/km<sup>2</sup>
- Y con disminución de población en los treinta años comprendidos entre 1989 y 2019

4: En declive intenso:

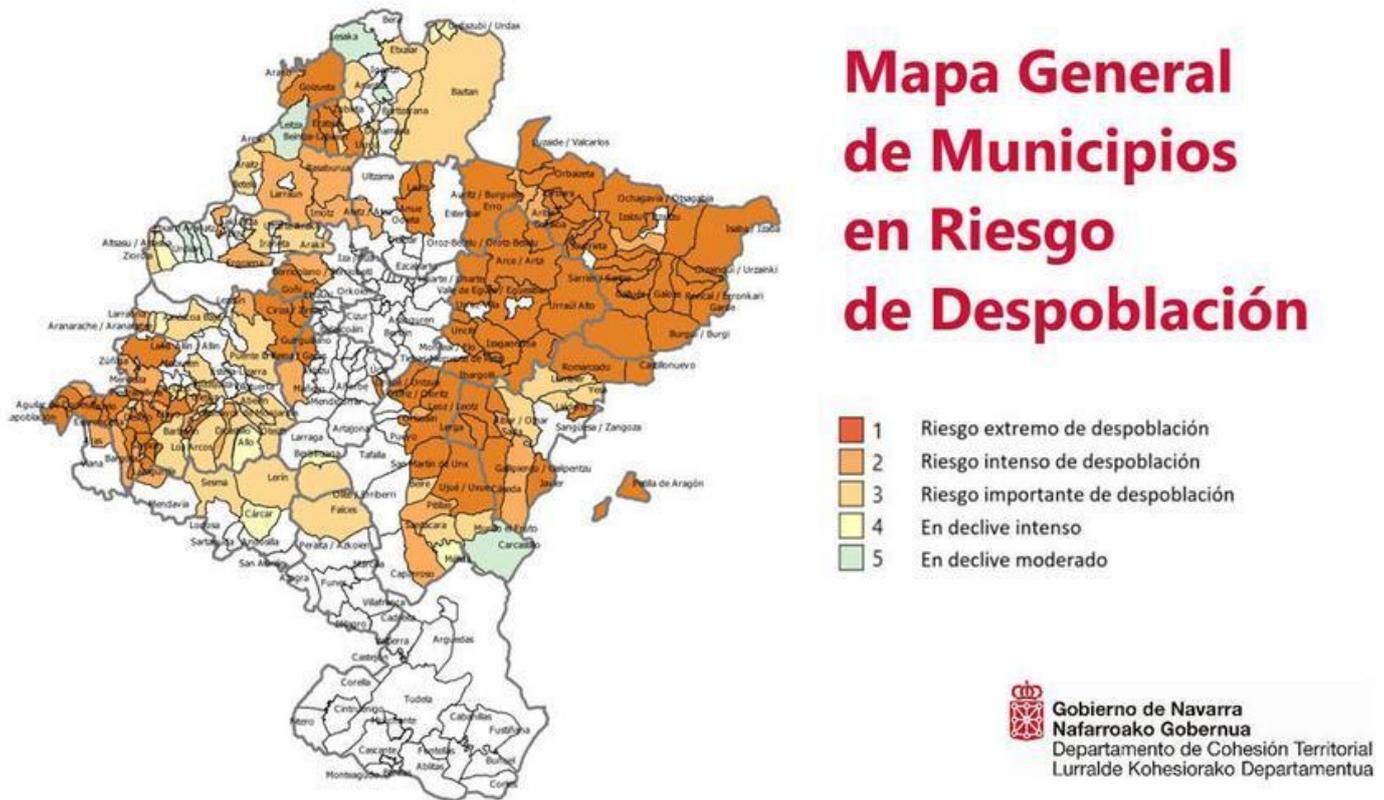
- Disminución de población igual o superior al 15% en los treinta años comprendidos entre 1989 y 2019,
- Densidad de población superior a 25 hab/km<sup>2</sup>

5: En declive moderado:

- Disminución de población inferior al 15% en los treinta años comprendidos entre 1989 y 2019
- Densidad de población superior a 25 hab/km<sup>2</sup>

De esta forma se conformó un mapa general del riesgo de despoblación en Navarra (Imagen 2.1).

Imagen 2.1 Municipios en riesgo de despoblación en Navarra. Mapa general. Fuente: (Gobierno de Navarra , 2021).



Como se puede apreciar en la imagen, se está produciendo un gran descenso de la población en la zona de estudio (Plano 1), fruto de la migración de las personas jóvenes a los definidos como ‘municipios tractores’, así como la defunción de las personas de tercera edad. Dichos municipios tractores están definidos en el estudio según factores de centralidad, atractividad y competitividad, y vertebración y relaciones.

Por cercanía a los 17, estos ‘municipios tractores’ que podrían estar absorbiendo población son los siguientes: Viana (4.413 habitantes), Los Arcos (1.191 hab.), Lodosa (4.931 hab.), Estella (14.329 hab.) y a pesar de su mayor distancia, Pamplona (203.596 hab.), por ser capital de provincia. Realizando una mirada en detalle a la región occidental de la Comunidad Foral (Imagen 2.2) se concluye la siguiente información referente a nuestra zona de estudio (

Tabla 2.2).



Lapoblación-Meano	1.- Riesgo extremo de despoblación
Lazagurría	2.- Riesgo intenso de despoblación
Marañón	1.- Riesgo extremo de despoblación
Mues	1.- Riesgo extremo de despoblación
Sansol	1.- Riesgo extremo de despoblación
Torralba del Río	1.- Riesgo extremo de despoblación
Torres del Río	2.- Riesgo intenso de despoblación

---

11 de los 17 municipios se encuentran en riesgo extremo de despoblación, mientras que los 6 municipios restantes se encuentran en riesgo intenso de despoblación (Imagen 2.2). Estos datos representan la fuerte tendencia de descenso poblacional acusada en la zona. Para combatir esta despoblación generalizada, desde el Gobierno de Navarra se están llevando a cabo diversas medidas de actuación como ha sido la creación del proyecto ‘Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés’, proyecto promotor del presente estudio (Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés, 2025).

Este fenómeno despoblacional es un gran problema actual en el mundo rural, que a la vez se presenta como un gran reto para los diversos municipios afectados para conseguir revertir esta situación. La creación de empleo local que permita sacar provecho de los recursos de la zona es clave para frenar y revertir esta situación, fijando población en los municipios afectados.

### **e) Economía**

En la sierra de Codés, la economía de los municipios ha sido tradicionalmente y sigue siendo agrícola y ganadera.

En cuanto a la actividad agrícola destacan los cultivos de secano en extensivo como el trigo, cebada, centeno, guisantes... y en menor medida los cultivos forrajeros como la alfalfa y la veza. El cultivo del olivo también es una actividad de gran tradición en la zona, contribuyendo a la Denominación de Origen Protegida “Aceite de Navarra”, destacando la variedad local ARRÓNIZ, que cuenta con una gran extensión en la región. Otro cultivo de gran importancia es la vid, que en los municipios de Barga y Aras se acoge a la Denominación de Origen Calificada Rioja, contando con bodegas en ambos municipios: Bodegas Biurko Gorri y Bodegas Cadarso Ciordia. Otros municipios de tradición vitivinícola se acogen a la D.O. Navarra, como son Armañanzas, Desojo, El Busto, Espronceda, Lazagurría, Sansol, Torralba del Río y Torres del Río. El espárrago de Navarra (Indicación Geográfica Protegida, IGP), es también un

producto emblemático de la zona que genera numerosos puestos de trabajo en la época de cosecha.

Por otro lado, la actividad ganadera se realiza tanto en extensivo (ovino, caprino y equino) como en intensivo (porcinocultura, avicultura y cunicultura). En la sierra, se cuenta con ganaderías de ovino en Aras, Azuelo y Bargota, así como ganadería de caprino en Cabredo. La actividad equina, que estaba en fuerte regresión, se ha visto incrementada tras la creación de una nueva ganadería en Bargota. Las actividades ganaderas en intensivo, especialmente de porcino, eran de gran tradición en la zona en explotaciones familiares, las cuales a pesar de su descenso del censo en los últimos años siguen estando presentes en activo en Bargota, que cuenta con dos instalaciones de una misma ganadería. La cunicultura sigue con su actividad en la sierra en el municipio de Torralba del Río, con una explotación de 1000 madres.

Otras actividades de la región se basan en pequeñas industrias artesanales ligadas a la producción de embutidos, miel y artesanías locales. Algunas de estas son las empresas de embutidos de Cabredo y Meano, pequeños productores de miel locales en numerosos municipios y diversas artesanías locales.

En los municipios no existe tradición forestal como actividad económica, aunque si existe como fuente de recursos energéticos para el hogar por medio del aprovechamiento de leñas. Este hecho denota que la actividad forestal en la región requiere de una buena presentación a los habitantes de los municipios para su acogida, y la puesta en valor de sus recursos forestales puede tener efectos positivos en la economía local mediante la creación de empleo y la dinamización del sector forestal.

## **f) Climatología**

La Sierra de Codés actúa como barrera climática, con una vertiente norte húmeda y fresca, y una vertiente sur soleada y mediterránea, lo que influye en la distribución y tipo de biomasa disponible. Esta característica del territorio conforma una serie de condicionantes que afectan tanto a la distribución de las especies en el espacio, así como su calidad de estación; confiriendo diferentes crecimientos y calidades en función de la localización de las masas forestales.

Como se ha mencionado anteriormente, los 17 municipios que componen el proyecto suman una superficie de 238,03 km<sup>2</sup>, lo cual es una superficie lo suficientemente extensa como para definir una sola climatología característica de la zona. La variación del clima en la zona

de estudio es sensiblemente notable pues comprende desde Lapoblación-Meano, que es el pueblo situado a mayor altitud (980 m) y limítrofe con Álava; hasta el municipio de Lazagurría, el de menor altitud (392 m) y de mayor proximidad al río Ebro.

Por un lado, los pueblos más septentrionales del proyecto (Lapoblación, Marañón, Cabredo, Genevilla, Aguilar de Codés, Azuelo y Torralba del Río) son municipios situados en terrenos más montañosos y por ende están situados a una altitud superior. Además, estos municipios se sitúan en una zona de transición entre las zonas más húmedas del norte de Navarra y las más secas del sur, con características propias de un clima mediterráneo continental. Estos municipios se sitúan en la Sierra de Codés y las estribaciones de la Sierra de Cantabria, siendo los municipios del proyecto que más precipitaciones tienen, así como los municipios de menores temperaturas en periodos estivales. Estas características climáticas se reflejan en la predominante composición forestal de encinas (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), quejigos (*Quercus faginea*), hayas (*Fagus sylvatica*), robles pelosos (*Quercus humilis*) y robles marojos (*Quercus pyrenaica*).

Por otro lado, los pueblos más meridionales del proyecto (Espronceda, Desojo, Mues, Aras, Bargota, Armañanzas, Torres del Río, Sansol, El Busto y Lazagurría) son municipios situados en zonas de menor altitud y de orografía menos abrupta, con un clima mediterráneo característico, siendo los municipios de precipitaciones más escasas y temperaturas más elevadas. Están caracterizados por presentar sequías estivales significativas, especialmente en años excepcionalmente secos. Debido al clima característico en estos municipios, así como su proximidad al río Ebro, estos pueblos son los de menor superficie forestal, pues predominan los cultivos agrícolas, con especial mención de la viticultura, actividad de gran importancia económica en los municipios que se acogen a la Denominación de Origen Calificada Rioja (Aras y Bargota). La composición forestal característica de dichos municipios son las repoblaciones de pino carrasco (*Pinus halepensis*) realizadas en su mayoría a finales del siglo pasado, así como puntuales masas relictas de quejigo y encina.

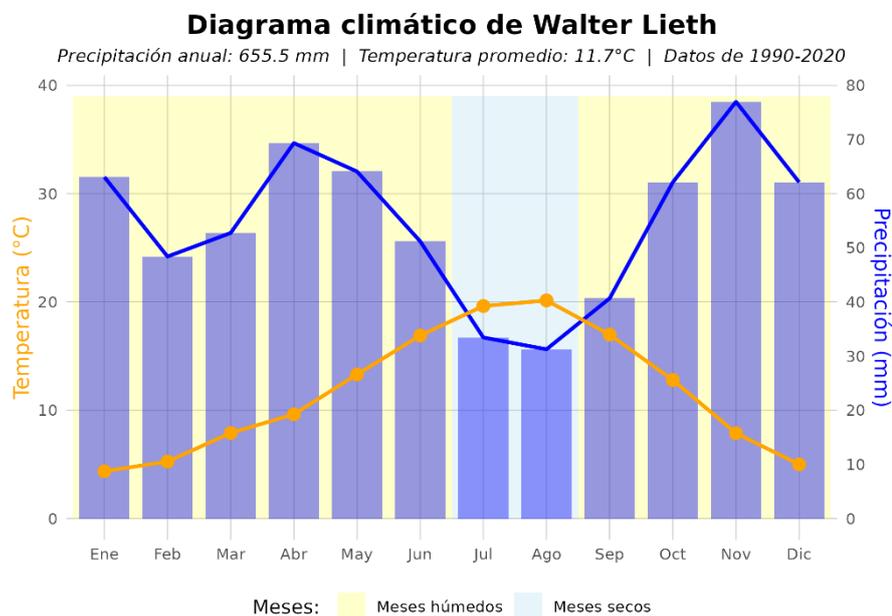
Para reflejar de manera cuantitativa la variación climática que se produce entre los distintos municipios de la zona de estudio se han escogido tres de ellos, para los cuales se han elaborado unos diagramas ombrotérmicos o climodiagramas, utilizando como periodo climático de referencia el comprendido entre 1990 y 2020 en base a datos históricos extraídos de WorldClim (CRU-TS 4.06 (Harris et al., 2020) reescalado con WorldClim 2.1 (Hijmans & Fick, 2017)). Los municipios elegidos son los siguientes: Cabredo, Bargota y Lazagurría.

De esta forma, Cabredo servirá de referencia de la zona más húmeda y fresca del estudio, representando la zona de transición de clima mediterráneo a atlántico. Por otro lado, Bargota, al situarse en la zona más central del proyecto, así como tener una altitud media muy próxima a la media de las altitudes de los municipios que componen el proyecto, servirá de referencia del clima de los municipios de la zona central del mismo, caracterizados por un clima mediterráneo continental. Lazagurría será la referencia de los municipios más secos y cálidos del proyecto, situados más próximos al Ebro. Además, estos municipios tienen una predominancia agrícola, por lo que su aportación al estudio se basará en algunos pinares de repoblación de pino carrasco.

A continuación se detalla la climatología de los tres pueblos mencionados anteriormente:

- Cabredo: es uno de los municipios más septentrionales y occidentales del proyecto, su clima mediterráneo continental está en transición con el clima atlántico característico del norte de Navarra.

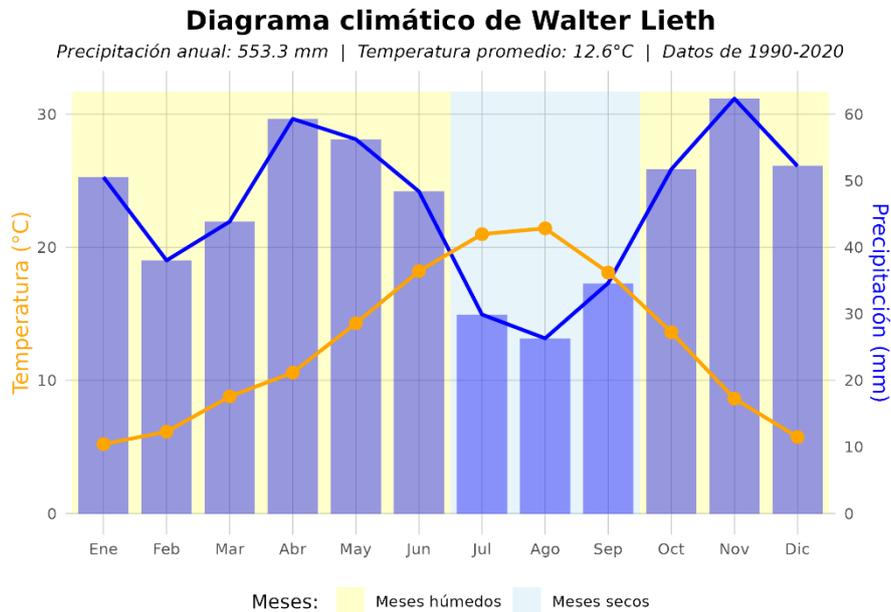
*Imagen 2.3.- Climodiagrama del municipio de Cabredo*



Como se puede apreciar en el gráfico las precipitaciones medias del municipio ascienden a 655 mm anuales, con una temperatura promedio de 11, 7°. Esto define un clima relativamente húmedo y fresco, contando con tan solo dos meses secos, julio y agosto.

- Bargota: ocupa la posición más central del proyecto, con una altitud de 587 metros sobre el nivel del mar, muy próximo a la altitud media de los municipios del proyecto (583 msnm). Su clima es mediterráneo continental, con veranos cálidos y secos e inviernos húmedos y fríos.

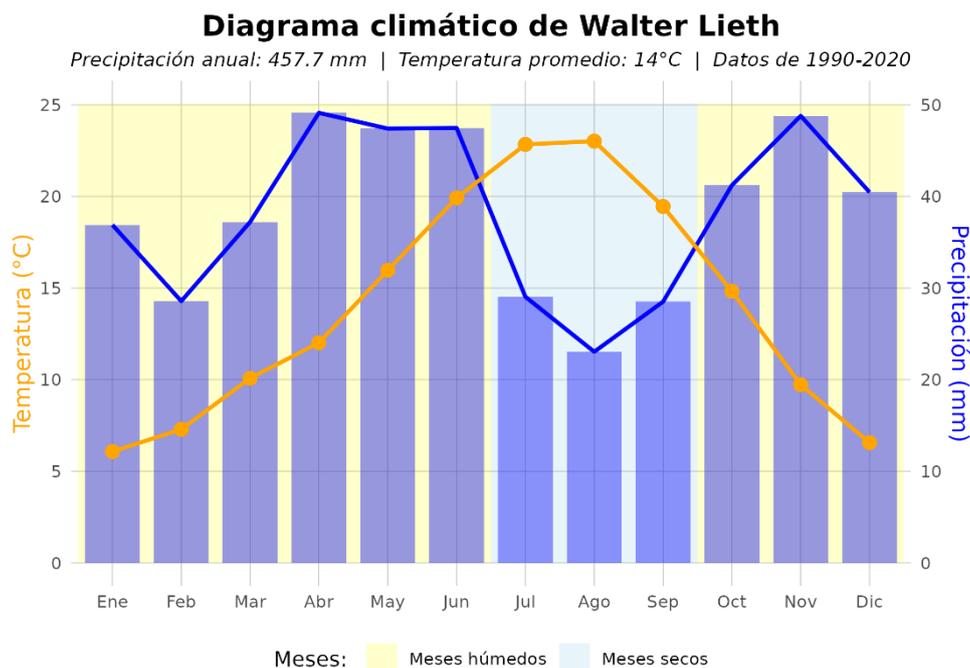
Imagen 2.4.- Climodiagrama del municipio de Bargota



La situación central del municipio, así como su altitud media, puede reflejar de manera fehaciente el clima promedio de la zona de estudio. El clima de Bargota está caracterizado por tener inviernos húmedos y fríos mientras que sus veranos son cálidos y secos. Los meses secos ascienden a tres: julio, agosto y septiembre. La precipitación media del municipio es de 553 mm anuales con una temperatura media de 12.6°C.

- Lazagurría: es el municipio más meridional y oriental del estudio. Su clima es mediterráneo continental, con temperaturas medias más elevadas que el resto de los municipios y precipitaciones medias menores.

Imagen 2.5.- Climodiagrama de Lazagurría



Con una precipitación media de 458 mm anuales y una temperatura media de 14°C, refleja indiscutiblemente el clima más seco y cálido de los municipios del proyecto. Presenta los mismos meses cálidos que Bargota, pero con una sequía estival de magnitud superior. Sus veranos son calurosos y secos, con inviernos frescos y húmedos.

En general el clima de la zona de estudio se podría definir como un clima mediterráneo continental, con unas precipitaciones anuales de 450-650 mm anuales y una temperatura media de 11-15°C. Las precipitaciones se centran en las estaciones de primavera y otoño, contando con 2-3 meses secos en verano. La sequía estival es de mayor intensidad y duración cuanto menor es la latitud y la altitud, siendo Lazagurría el municipio más afectado por este suceso.

La heterogeneidad climática en la región da lugar a la heterogeneidad faunística y florística, afectando de tal forma a la superficie y representación de cada especie forestal en los diversos municipios. Además las características climáticas de cada municipio, así como las edáficas, darán lugar a diferentes calidades de estación o índices de sitio (SI por sus siglas en inglés, Site Index), lo cual está directamente relacionado con la productividad forestal y por consecuencia relacionado también con la frecuencia y peso de los aprovechamientos forestales.

## g) Flora y fauna

La amplia superficie de la zona de estudio, así como la gran variabilidad climática que se da en la zona, provocan que ésta tenga una gran biodiversidad, albergando en sí gran cantidad de especies animales y vegetales.

El espacio natural de la Sierra de Codés conforma un hábitat rocoso de gran verticalidad, en el cual habitan y crían numerosas especies de rapaces tanto diurnas como nocturnas: buitres leonados, halcones peregrinos, águilas reales, alimoches, búhos reales, lechuzas comunes... así como numerosas especies de avifauna de otras familias, como los córvidos o los paseriformes.

La fauna de la zona corresponde principalmente a especies de distribución mediterránea, destacando los ungulados forestales como el jabalí o el corzo, además de otras especies de mamíferos como el zorro, tejón, garduña, marta, gineta, ardilla común...

Tal es la diferencia de hábitats en la zona de estudio, que en las zonas de menor altitud y de situación más meridional es posible avistar aves esteparias tan singulares como la avutarda, el aguilucho cenizo y el pálido o el alcaraván, propias de la estepa mediterránea. Tanto es así que parte del terreno municipal de los municipios de Armañanzas, Bargota, Lazagurría y Torres del Río han sido seleccionadas como áreas críticas, recogidas en la Estrategia de Conservación de Aves Amenazadas Ligadas a Medios Agrarios y Esteparios, con un total de 1.263,91 hectáreas (Gobierno de Navarra, 2023).

Las series climatófilas de la zona se caracterizan por la presencia la serie de los carrascales castellano-cantábricos. Entre sus faciaciones la más abundante es la supramediterránea, con presencia notable también de las faciaciones meso-supramediterráneas con coscoja, la supramediterránea silicícola con madroño, la supramediterránea de crestones con pastos parameros y la meso-supramediterránea xerófila y termófila con romero. Otras series de vegetación de gran importancia son las de carrascales (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) riojanos y bardeneros, salvo en las zonas de mayor aridez donde es sustituida por la serie de coscojares, sabinares y pinares bardeneros, casi siempre debido a limitaciones edáficas. Otras series de gran importancia en la zona son la de los quejigales castellano-cantábricos y la de los quejigales cantábricos, la de los marojales cantábricos, la de los robledales pelosos navarro-alaveses y en menor medida la serie de los hayedos xerófilos y basófilos cantábricos.

En las paredes rocosas de la sierra de Codés, así como en sus escasos prados de montaña, se desarrollan numerosas especies de flora protegida de un gran valor ecológico y de escasa

representación en Navarra, como las candelas de montaña (*Armeria cantabrica* subsp. *vasconica*) y el senecio (*Senecio carpetanus*), en peligro de extinción y endémico ibérico. En cuanto a las composiciones forestales principales, destacan las masas naturales de encina y quejigo en la Sierra de Codés, así como repoblaciones de pino carrasco con objetivo protector dispersas por toda la extensión de la zona de estudio y repoblaciones productoras de pino laricio, asentadas principalmente en umbrías situadas enfrente de Codés. Con menor representación por extensión, se sitúan las masas de roble peloso, roble marajo y hayedos. Residualmente, se puede encontrar un rodal de menos de media hectárea de pino silvestre en el municipio de Aras. Las masas forestales, al ser objetivo de estudio, serán desarrolladas con mayor énfasis en el apartado Situación forestal de la zona de estudio.

En general, la fauna y flora representan una gran variedad y biodiversidad en la región debido a la notable variabilidad climática existente en la zona, albergando desde especies propias de los hábitats de las grandes paredes rocosas de la sierra de Codés a las especies propias del hábitat estepario mediterráneo próximo a la ribera del Ebro. La presencia de especies protegidas en el entorno condicionará los aprovechamientos selvícolas, en cumplimiento con las diversas leyes de protección de la naturaleza.

## **h) Sector forestal**

La sierra de Codés presenta un sector forestal de escaso desarrollo, limitado a una pequeña extracción de madera para leñas en los municipios situados en la falda de la sierra, y a la gestión de las masas de pino laricio de objetivo productor situadas enfrente de ésta. En este apartado se resume la situación del sector en la zona de estudio, indicando las principales variables de interés para su desarrollo, como son las zonas protegidas, los Montes de Utilidad Pública (MUP) existentes, las masas que cuentan con algún instrumento de gestión y las masas certificadas en el sistema PEFC (acrónimo del inglés “*Program for Endorsement of Forest Certification*”).

### LUGARES PROTEGIDOS: SIERRA DE CODÉS Y PEÑALABEJA

Localizada en la muga con Álava se levanta el macizo montañoso más occidental de Navarra: la Sierra de Codés. Este espacio natural abarca varias estribaciones montañosas: al oeste la sierra situada al norte de Lapoblación, popularmente denominada “El Castillo”, una pequeña estribación que bordea el valle del Alto Ega y que acoge a la Reserva Natural Peñalabeja (RN-19); al noreste se sitúa la Sierra Chiquita, y en el extremo este, la Sierra de

Codés, que tiene en el Monte de Yoar (1.421 metros), su cima más elevada. Al Sur de la sierra se encuentra la depresión del Ebro.

A continuación, en la Tabla 2.3 se exponen datos básicos de delimitación y localización del espacio, representados de manera espacial en el Plano 3. Mediante la Ley Foral 46/2017, de 24 de mayo el Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) fue declarado Zona de Especial Conservación, integrado en la Red Natura 2000 bajo el código ES2200029, aprobando a su vez el Plan de Gestión de la Zona de Especial Conservación. El lugar se cataloga bajo la Directiva Hábitats, resultando como figura de protección de 36 especies y 22 tipos de hábitats. Además, mediante la misma Ley Foral, se actualizó el Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) de la Reserva Natural Peñalabeja (RN-19).

Tabla 2.3.- Identificación y localización del Lugar

	Aprobación provisional.
<b>Fecha de proposición como LIC</b>	Acuerdo de Gobierno de 15/05/2000
<b>Fecha confirmación como LIC (Región Mediterránea)</b>	Decisión 2006/613/CE de 19/07/2006
<b>Coordenadas del centro (WGS84)</b>	-2,3135 42,6316
<b>Superficie (ha)</b>	5.055,97
<b>Regiones biogeográficas:</b>	
<i>Mediterránea (ha)</i>	5.055,97

Dentro de la Zona de Especial Conservación (ZEC), se encuentra la Reserva Natural Peñalabeja (RN-19), que cuenta con una superficie de 23,34 hectáreas. Declarada por la Ley Foral 6/1987, de 10 de abril, de normas urbanísticas regionales para protección y uso del territorio, está situada en el término municipal de Cabredo. El objeto de la reserva natural es preservar en el mejor estado posible una muestra representativa del bosque de roble marojo (*Quercus pyrenaica*) muy raro en Navarra.

El Lugar incluye terreno de 12 municipios (Tabla 2.4), de los cuales 4 no están incluidos en la localización de la zona de estudio (Mendoza, Mirafuentes, Nazar y Zúñiga), así como las facerías 65, 70, 81 y 82. Las facerías son una figura de derecho privado de Navarra, definidas actualmente en el Fuero Nuevo como “servidumbre recíproca entre varias fincas de propiedad pública o privada”. Se regulan por los pactos o concordias que se hubiesen establecido y en lo no acordado por las disposiciones del Fuero Nuevo.

*Tabla 2.4.- Municipios integrantes del Lugar y superficies aportadas. (1) El sumatorio de las superficies de las entidades locales no coincide con la superficie total del Lugar. Esto es debido a las diferencias generadas al tener que adaptar los límites de la ZEC con los límites administrativos establecidos por el Instituto Geográfico Nacional.*

Municipio	Concejo	Superficie en el Lugar (ha) <sup>(1)</sup>	% del Lugar
Aguilar de Codés		247,56	13,29
Azuelo		301,97	27,31
Cabredo		629,43	52,45
Espronceda		48,49	5,53
Genevilla		370,34	42,42
		526,76	29,26
Lapoblación	Lapoblación	340,47	27,06
	Meano	186,29	34,38
Marañón		379,76	55,29
		502,35	15,33
Mendoza	Acedo	280,35	17,00
	Asarta	222,00	47,29
Mirafuentes		2,88	1,03
Nazar		292,58	45,51
Torralba del Río	Otiñano	1.005,07	56,82
		288,85	61,45
Zúñiga		310,00	26,13
Facería 65		2,52	12,11
Facería 70		99,09	75,83
Facería 81		137,96	99,67
Facería 82		160,11	78,29

En la Ley Foral 6/1990, de la Administración Local de Navarra se reconoce el carácter de ente local a determinados territorios faceros que no quedan incluidos en ningún término municipal, y cuya administración, por tanto, corresponde a la comunidad facera, sin perjuicio de las competencias que ejerce la administración del Gobierno Foral de Navarra, por razón de la materia, especialmente por los valores naturales existentes en ese territorio. Similares a las facerías son las instituciones existentes en otras regiones, por ejemplo, las parzonerías en Álava o Guipúzcoa. También guardan cierta similitud con las facerías los bienes comunales, que se dan prácticamente en toda España.

En cuanto al régimen de propiedad, reflejada en la Tabla 2.5, la mayor parte del terreno corresponde a propiedades comunales, municipales y de la Comunidad Foral de Navarra (86%). En cuanto a los terrenos de propiedad privada, componen el 11% de la superficie, encontrándose éstos mayoritariamente en Torralba del Río.

*Tabla 2.5.- Superficie y porcentaje de la titularidad en el Lugar*

Propiedad	Sup. dentro del Lugar (ha)	% en el Lugar
Comunidad Foral de Navarra	29,01	0,57
Comunal	4.321,87	85,48
Municipal	1,68	0,03
Particular	555,32	10,98
Otros (carreteras, cursos de agua, etc.)	148,09	2,94

### MONTES DE UTILIDAD PÚBLICA (MUP)

Incluidos en el Catálogo de montes de utilidad pública, componen la principal forma de dominio público forestal (Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes). En la Comunidad Foral de Navarra, al catálogo de este tipo de propiedad asciende a un total de 681 MUP, de los cuales, 11 están incluidos en la superficie de estudio (Tabla 2.6). En otros 4 MUP, los correspondientes a las Facerías 65, 70, 81 y 84, hay al menos un municipio de los 17 que tiene pertenencias en el mismo. Estos últimos 4, no se tendrán en cuenta en el cálculo del estudio, debido a la múltiple pertenencia municipal de los mismos.

Tabla 2.6.- Montes de Utilidad pública en la zona de estudio

Nº MUP	Nombre	Ubicación	Titular actual	Cabida 1912 (ha)	% digit. respecto a 1912	Grado de conservación
212	Encinar	Aguilar de Codés	Ayto. de Aguilar de Codés	306	77	Medio
213	Robledo	Aguilar de Codés	Ayto. de Aguilar de Codés	234	76	Medio
245	Solanos	Azuelo	Ayto. de Azuelo	252	110	Alto
248	Noval	Bargota	Ayto. de Bargota	44	100	Medio
249	El Común	Bargota	Ayto. de Bargota	500	100	Medio
250	San Pedro	Cabredo	Ayto. De Cabredo	402	100	Medio
251	Arreviltas	Cabredo	Ayto. de Cabredo	160	101	Alto
258	Celagua	Genevilla	Ayto. de Genevilla	198	103	Alto
259	Mondalienede	Genevilla	Ayto. de Genevilla	121	123	Alto
294	El Hayedo	Lapoblación y Marañón	Ayto. de Lapoblación y Ayto. de Marañón	781	102	Alto
319	Cabazas	Torralba del Río	Ayto. de Torralba del Río y Concejo de Otiñano	797	99	Medio

En la tabla se refleja la cabida (ha) que presentan los diversos MUP en el catálogo de 1912 y como esa cabida se ve alterada en el presente, tras su digitalización. En el proceso de digitalizar la cabida de los MUP, al tener muchos de ellos límites difusos y poco específicos, han sufrido un detrimento en su cabida, así como unos pocos han resultado beneficiados, aumentando su superficie. Este problema se ha catalogado mediante el grado de conservación, que refleja la calidad de conservación de las características de los MUP. Como se aprecia en la

tabla, la distribución espacial de los MUP se dispone en la zona más septentrional del proyecto, coincidiendo con las zonas de mayor precipitación y peores condiciones agronómicas, y por tanto de mayor historial silvopastoral. Entre los 11 MUP suman una cabida en el Catálogo de MUP de 1912 de 3.795 ha. Debido a numerosas problemáticas de diversa índole, la conservación de algunos de ellos se ha visto afectada, como puede verse en el porcentaje de digitalización, así como en su grado de conservación. De esta forma la superficie digitalizada asciende a un total de 3.735,7 ha, habiéndose perdido en el proceso 59,3 ha respecto al catálogo de montes de utilidad pública de 1912.

*Tabla 2.7.- Montes de Utilidad Pública en los que al menos un municipio de la zona de estudio posee pertenencias*

Nº MUP	Nombre	Ubicación	Titular actual	Cabida 1912 (ha)	% digit. respecto a 1912	Grado de conservación
260	Larra	Facería 65	Facería 65: Aytos. de Aguilar de Codés, Genevilla y entidad de fuera de Navarra	360	102	Medio
295	Campos Pinilla	Facería 70	Facería 70: Aytos. de Lapoblación, Marañón y entidad de fuera de Navarra	86	101	Alto
214	Sierra de Mataverde	Facería 82	Facería 82: Aytos. de Mirafuentes, Mues, Nazar, Concejo de Otiñano y Concejo de Ubago	196	104	Alto-Medio
215	Sierra de Mataverde	Facería 81	Facería 81: Aytos. de Mirafuentes, Mues, Nazar y Torralba del Río, Concejo de Otiñano y Concejo de Ubago	140	99	Alto

En cuanto a los MUP con al menos un municipio de la zona de estudio con pertenencias, suman un total de 782 ha en el Catálogo de MUP de 1912. Sus estados de conservación son en su mayoría altos, presentando en 3 de ellos un aumento de su superficie tras la digitalización. De esta manera presentan un total de 795,21 ha digitalizadas.

En el caso de las Facerías 65 y 70, limítrofes con la provincia de Álava, aparecen como titulares actuales además de diversos municipios navarros, entidades de fuera de la Comunidad Foral. Estas entidades son el Concejo de Santa Cruz de Campezo (perteneciente al municipio de Campezo, Álava) y el Ayuntamiento de Bernedo (Álava), respectivamente.

### CERTIFICACIÓN DE LAS MASAS Y GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE

Navarra se posiciona como líder en proporción de superficie en el territorio nacional en cuanto a certificación forestal sostenible, con más del 60% de su superficie forestal avalada por el sello del Programa para el Reconocimiento de Certificación Forestal (PEFC), siendo Castilla y León la única comunidad autónoma que la supera por extensión (>750.000 ha frente a las casi 300.000 de Navarra) (Navarra.okdiario, 2025).

La certificación PEFC es el sistema de certificación forestal más extendido en Navarra. A modo de ejemplo, un 60% del volumen autorizado para cortar en 2021 contó con el sello de certificación de gestión forestal sostenible, ascendiendo esta cifra al 94% en el caso de los MUP. Esta generalización de la certificación forestal está en auge y se debe a diversos motivos. *PEFC Internacional* es el único sistema de certificación forestal internacional que basa sus criterios en los convenios y directrices intergubernamentales aceptados internacionalmente, vinculando así los criterios de referencia de sostenibilidad a los procesos gubernamentales existentes. De esta manera la certificación de la gestión forestal sostenible PEFC permite ofrecer garantías de que la superficie forestal a gestionar está de acuerdo con exigentes requisitos medioambientales, sociales y económicos, alcanzando un equilibrio entre las personas, el planeta y tus beneficios.

En España, para obtener la certificación PEFC es imprescindible disponer de un Plan de actuaciones forestales aprobado por la administración correspondiente. Tales planes pueden ser proyectos de ordenación, planes de gestión y documentos de planificación forestal. Estos instrumentos de gestión son esenciales para garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales y son un requisito fundamental para demostrar que las prácticas aplicadas en los bosques son sostenibles

En cuanto a los requisitos de gestión forestal sostenible, las explotaciones particulares que superen las 50 ha y las comunales que superen las 100 ha deben contar con un Plan de Gestión Forestal o instrumento equivalente.

De esta manera se aconseja la elaboración de planes de gestión de las masas objeto de estudio, así como su posterior certificación, si se considera el aprovechamiento en las mismas, debido a los diversos motivos expuestos.

A pesar de que en la actualidad en la zona de estudio se cuenta con algunas masas forestales certificadas con el sistema PEFC (Tabla 2.8), el objetivo más razonable sería la certificación de la totalidad de las masas objetivo.

*Tabla 2.8.- Certificación de las masas forestales de la zona de estudio. Masas de Pinus nigra con objetivo productor.*

<i>Monte</i>	Municipio	Tipo	Gestor	Sup. (ha)	Fecha certificación
<i>Masas de Pinus nigra y/o halepensis titularidad pública-Aguilar de Codés</i>	Aguilar de Codés	Pública	Ayuntamiento de Aguilar de Codés	113,98	16/03/2011
<i>Masas de Pinus nigra y/o halepensis titularidad pública-Azuelo</i>	Azuelo	Pública	Ayuntamiento de Azuelo	57,41	28/11/2011
<i>Masas de Pinus nigra y/o halepensis titularidad pública de Tierra Estella-Cabredo</i>	Cabredo	Pública	Ayuntamiento de Cabredo	36,01	06/03/2013
<i>Sierra Chiquita, Las Cuerdas y otros.</i>	Genevilla	Pública	Ayuntamiento de Genevilla	14,62	06/06/2017
<i>Masas de Pinus nigra y/o halepensis titularidad pública-Lapoblación-Meano</i>	Lapoblación	Pública	Ayuntamiento de Lapoblación	33,67	12/08/2013
<i>Masas de Pinus nigra y/o halepensis titularidad pública-Marañón</i>	Marañón	Pública	Ayuntamiento de Marañón	156,19	16/03/2011
<i>Masas de Pinus nigra y/o halepensis titularidad pública-Torralba del Río</i>	Torralba del Río	Pública	Ayuntamiento de Torralba del Río	23,21	16/03/2011
<i>Masas de Pinus nigra y/o halepensis titularidad pública-Torralba del Río</i>	Torralba del Río	Pública	Concejo de Otiñano	37,79	12/08/2013

Entre los 17 municipios que componen la superficie del proyecto, suman un total de 472,88 hectáreas de masas forestales certificadas con el sello PEFC. Toda la superficie

corresponde a certificaciones sobre repoblaciones de pino laricio con objetivo puramente productor. Además, estas masas cuentan con un instrumento de gestión, el Plan Técnico de Gestión de las masas forestales de *Pinus nigra* y/o *Pinus halepensis* de titularidad pública de la Comarca de Tierra Estella.

En resumen el sector forestal de la Sierra de Codés se encuentra en gran medida limitado debido a la gran superficie que representa el espacio protegido ‘Sierra de Codés’, incluyendo dentro de su superficie una Reserva Natural, la RN Peñalabeja. Fuera de la superficie comprendida por el LIC, la mayor parte de la superficie forestal está comprendida por los MUP, los cuales serían relativamente sencillos de ordenar y comenzar a aprovechar. Además algunos de los municipios poseen pertenencias de MUP comprendidos en facerías, por lo que el volumen de aprovechamientos podría aumentar con las aportaciones de éstos. En cuanto a la ordenación de las masas, en Navarra es obligatorio contar con un plan de ordenación forestal o instrumento equivalente para realizar aprovechamientos forestales, por lo que se debe tener en cuenta este trámite y su coste económico. La certificación forestal, presente en masas en la zona de estudio (Tabla 2.8), es un proceso voluntario posterior a la elaboración de planes de ordenación. Esta garantiza que la gestión de los montes cumple con criterios de sostenibilidad ambiental, económica y social. Como tal, es una herramienta clave para promover una gestión forestal sostenible y responsable con los montes navarros, así como para mejorar la competitividad de los productos madereros.

### **3. OBJETIVOS**

El objeto principal del presente proyecto es cuantificar la biomasa forestal actual y potencial en las masas forestales que componen la Sierra de Codés (Navarra) para evaluar la posibilidad de implantar una empresa de procesamiento para su uso como biocombustible por los habitantes de los municipios. Este objetivo principal está ligado a una serie de objetivos asociados:

- Conocer la biomasa actual y potencial disponible por las especies forestales principales.
- Modelar el crecimiento de las masas bajo modelos selvícolas de referencia
- Conocer las extracciones en términos de biomasa que tienen los montes bajo modelos selvícolas de referencia
- Demostrar el potencial productivo de biomasa de la Sierra de Codés para abastecer una hipotética central de biomasa común.

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

Para poder dimensionar la biomasa que podría abastecer la industria, previamente se define la situación forestal de la zona de estudio, detallando la composición forestal y comprendiendo tanto las especies principales de las masas como su localización en el espacio. Posteriormente se definirá la metodología seguida para su cálculo, desde la toma de datos en campo hasta su transformación y cálculo en gabinete.

### a. Situación forestal de la zona de estudio

Para la estimación del potencial productivo de biomasa de la Sierra de Codés, se realizó un estudio previo de inventariación de las principales especies que componían la superficie forestal arbolada. Esto nos permite conocer el estado actual del monte, ubicando en el tiempo y en el espacio las diversas masas forestales. Esta tarea se abordó en dos pasos:

- El primer paso consistió en conocer y ubicar espacialmente las principales especies forestales de la zona de estudio (Plano 2).
- A continuación, por medio del Mapa Forestal de España de máxima actualidad (Mapa Forestal de España (MFE 50), 2025), se catalogaron las diferentes masas forestales, divididas por especie. A su vez, se realizó una subdivisión en las siguientes clases naturales de edad: repoblado, monte bravo, latizal y fustal. De esta forma, se obtuvieron los datos de superficie clasificados por especie y clase natural de edad (Tabla 4.1), permitiendo un análisis más detallado posteriormente.

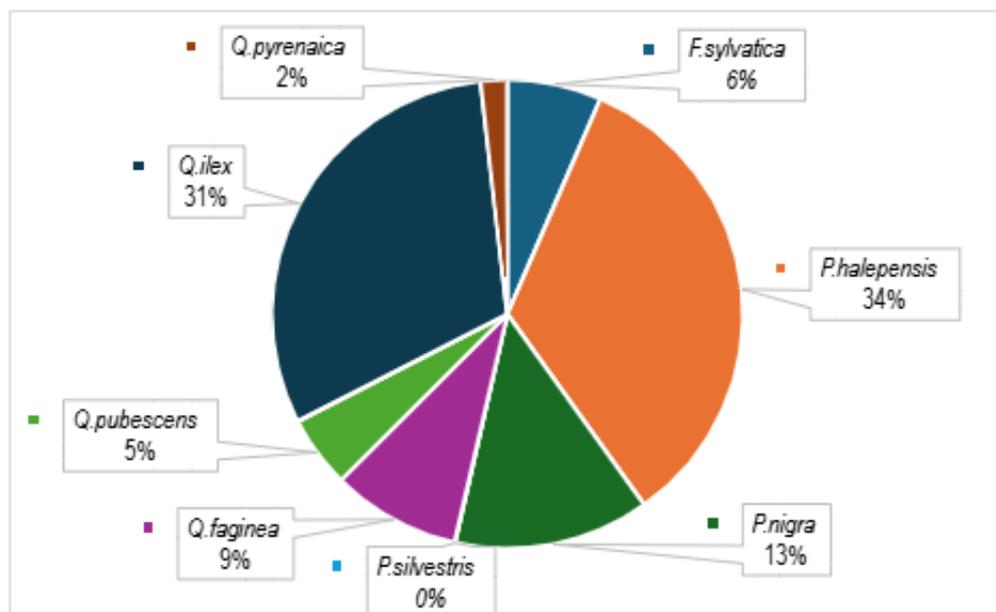
Tabla 4.1.- Superficie forestal arbolada expresada en hectáreas y dividida por especie principal y clase natural de edad. Fuente: MFE25.

	<i>Pinus halepensis</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Pinus nigra</i>	<i>Quercus faginea</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Quercus pubescens</i>	<i>Quercus pyrenaica</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
Fustal	32,96	1123,33	226,92	5,11	419,21	76,81	0,00	0,44
Latizal	57,70	861,03	281,53	577,66	4,67	125,31	119,92	0,00
Monte bravo	591,15	16,09	100,27	0,00	0,00	123,45	0,00	0,00
Repoblado	322,85	10,74	270,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	2204,65	2011,19	878,81	582,76	423,88	325,58	119,92	0,44

Como se puede apreciar en el Plano 2 la cantidad, calidad y superficie de las masas forestales tiende a aumentar a medida que aumentamos en latitud, así como a medida que nos desplazamos hacia el oeste. Esta distribución se debe, como se ha comentado en apartados anteriores, a la variación climática de la zona de estudio, siendo esta más lluviosa y fresca en los terrenos predominantemente forestales, terrenos tradicionalmente dedicados a pastos y a bosque para obtención de leñas, arrinconando a los cultivos agrícolas a las tierras más fértiles, de menor pendiente y pedregosidad. El efecto contrario se produce en el extremo opuesto de la zona de estudio, pues a medida que realizamos un desplazamiento reduciendo la latitud y en dirección Este, la transición gradual paisajística es hacia un paisaje principalmente agrario y puntualmente estepario, prácticamente desapareciendo las masas arbóreas. Estas masas, en esta zona se reducen a pinares de repoblación de pino carrasco.

A continuación, se irán comentando la distribución de las especies contempladas en el MFE25 en la zona de estudio, desde la más abundante en cuanto a superficie, a la de menor representación (Figura 4.1). En total, la superficie forestal arbolada del proyecto asciende a 6.547,23 hectáreas.

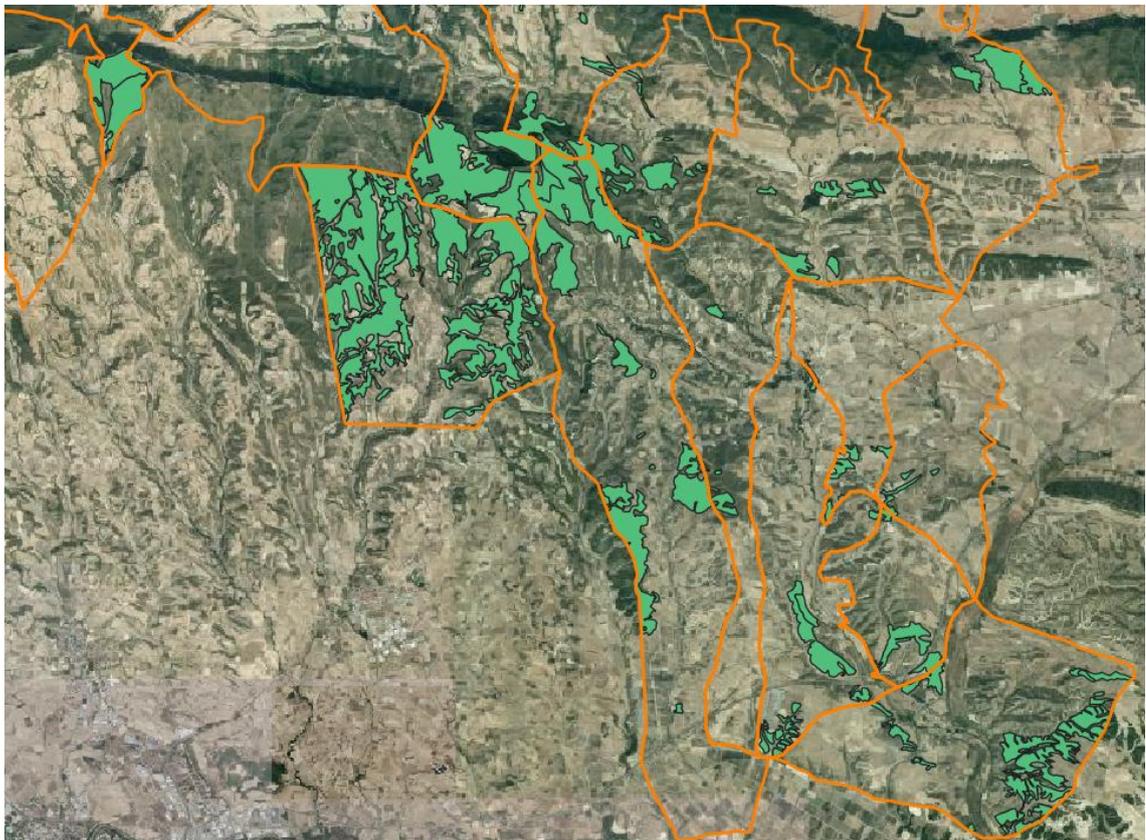
*Figura 4.1.- Representación específica de la superficie forestal arbolada (%). Elaboración propia a partir de MFE25.*



### Pino carrasco

El pino carrasco o pino Alepo (*Pinus halepensis*) es la especie más abundante en la zona de estudio, pues supone el 33,67% de la superficie forestal arbolada, con un total de 2.204,65 ha. La superficie de dicha especie se corresponde con repoblaciones de objetivo protector, en su mayoría realizadas en el siglo pasado. La distribución en la zona de estudio es bastante central, con masas dispersas en dirección sureste hacia Lazagurría. Estas repoblaciones se realizaron a cabo en terrenos antiguamente agrícolas con suelos escasamente desarrollados y muy poco fértiles, en ocasiones con pendientes elevadas que provocaron el aterrazado del terreno durante su ejecución, o en su defecto el acaballonado.

Imagen 4.1.- Situación del pino carrasco en la zona de estudio. Consultar Plano 2.



La formación arbolada predominante es el pinar monoespecífico de repoblación, si bien es cierto que se desarrollan dos masas mixtas de coníferas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea, creando esta mezcla con el pino laricio (*Pinus nigra*). Más del 70% de la

superficie de la especie se encuentra en estado de monte bravo (1.591,15 ha), lo que supone casi un 25% de la superficie forestal de la zona de estudio.

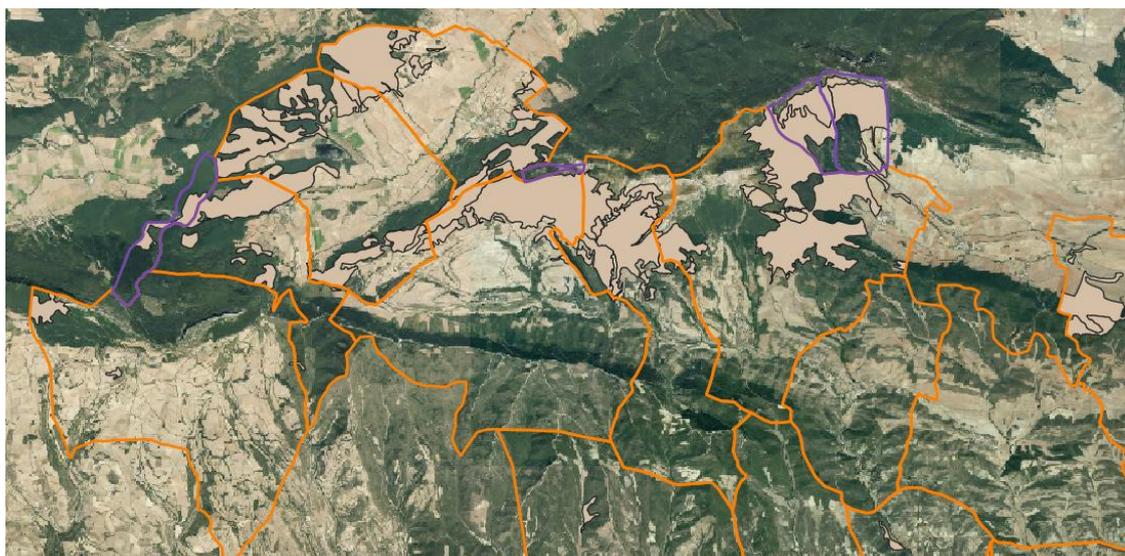
Las formaciones arbustivas predominantes que acompañan a esta especie son los aliagares, aulagares y afines, y la mezcla de matorrales de labiadas y tomillares, seguido de las orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dom. *Rosaceae*).

Las repoblaciones de pino carrasco experimentan buenos resultados en la zona, con apenas mortalidad y sin acusar plagas. Además, tras el paso del tiempo se empiezan a instaurar especies de forma natural bajo el dosel arbóreo que enriquecen las masas y aumentan su biodiversidad, como es el caso de carrascas (*Quercus ilex*), quejigos (*Quercus faginea*), serbales (*Sorbus* spp.) y más frondosas. Como se mostrará en apartados posteriores, la elevada densidad de estas masas, en su mayoría sin gestionar desde su plantación, provoca en la región una continuidad de combustible tanto vertical como horizontal (modelo 4 de los modelos de combustible (Rothermel, 1962)). que dispone a merced de la suerte una gran superficie forestal con un gran potencial para constituir un Gran Incendio Forestal (GIF, > 500 ha forestales quemadas). Además, en los municipios de Aras y Bargota, gran parte de la superficie de los pinares de pino carrasco se encuentran en los estados de monte bravo y latizal debido al incendio forestal de 2012, que arrasó 966 ha entre los municipios nombrados y la localidad colindante de Viana. De esa superficie 624 ha tenían la consideración de terreno forestal, siendo 384 de pinar, 9 de frondosas y 231 de matorral (Noticias de Navarra, 2025). Esta superficie, presenta densidades disparadas tras el incendio, y requieren de una gestión urgente como prevención de incendios para que un suceso así no vuelva a ocurrir, o por lo menos se reduzca la magnitud de este.

### **Carrasca**

En el plano se puede apreciar como las masas de carrasca (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), suponen el 30,72% de la superficie forestal arbolada y presentan una distribución que abarca la zona más septentrional del proyecto, comprendiendo todos los municipios situados al norte de este, desde Lapoblación-Meano hasta Mues. La mayoría de la superficie de esta especie se encuentra en la LIC ‘Sierra de Codés’, salvo los carrascales de Aras, Bargota y Mues.

Imagen 4.2.- Situación de la carrasca en la zona de estudio. Consultar Plano 2.

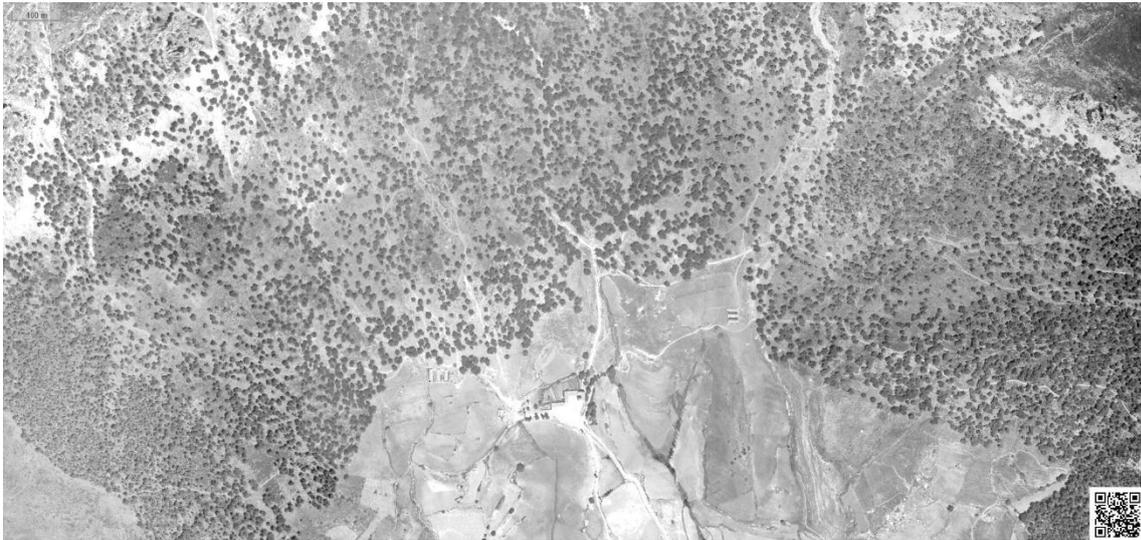


La formación arbolada de la especie comprende desde encinares con segunda ocupación de otras quercíneas, enebros y pinos, a bosques mixtos de frondosas autóctonas, produciéndose esta mezcla principalmente con otras quercíneas (roble peloso (*Quercus humilis*) y roble marojo (*Quercus pyrenaica*)) y con hayas (*Fagus sylvatica*). Más de la mitad de los carrascales se encuentran en estado fustal, seguido principalmente del estado latizal y residualmente de los estados de monte bravo y repoblado.

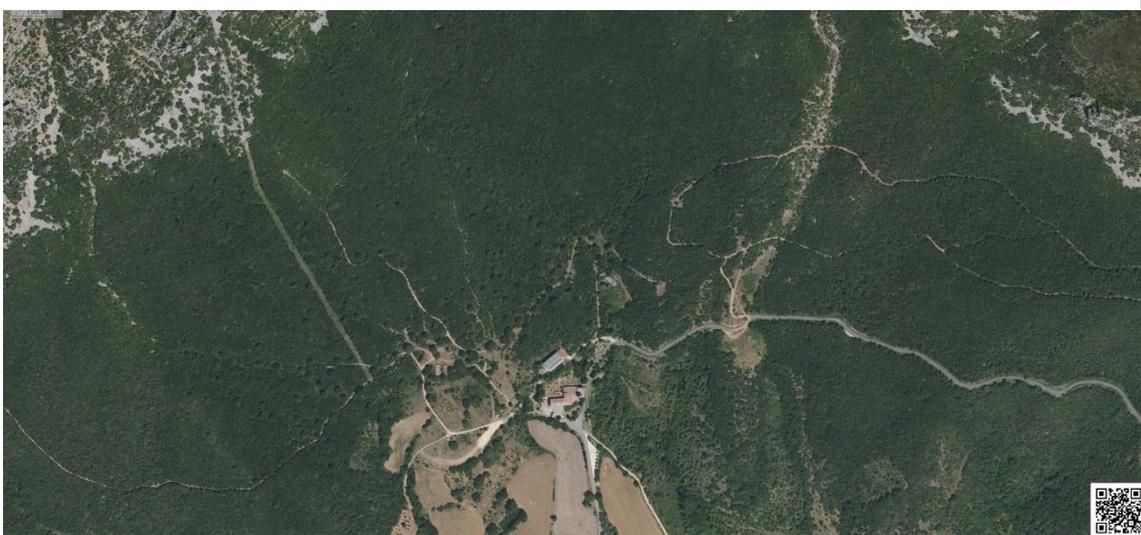
En cuanto al estrato arbustivo, destacan las formaciones de orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dom. *Rosaceae*), los bujedos de *Buxus sempervirens*, los brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos, aliagares, aulagares y afines y de forma más singular la mezcla de matorrales de labiadas y tomillares y los coscojares más puros de *Quercus coccifera*.

Gran parte de las masas de carrasca situadas en la falda de Codés, así como en el León Dormido, antiguamente componían un paisaje silvopastoral adhesado, en el cual la actividad ganadera era predominante, tanto de cochinos en montanera como de ganado vacuno, ovino y caprino (Imagen 4.3). Actualmente, y tras el abandono generalizado de dichas actividades ganaderas, así como de la menor extracción de leñas del monte, se ha producido una gran lignificación del paisaje de la sierra, aumentando su fracción de cabida cubierta (FCC) hasta la totalidad y aumentando también su densidad (Imagen 4.4).

*Imagen 4.3.- Paisaje en el Santuario Nuestra Señora de Codés, Torralba del Río. Fuente: IDENA, PseudoOrtofoto B/N 1/2.500 (1927-1934)*



*Imagen 4.4.- Paisaje en el Santuario Nuestra Señora de Codés, Torralba del Río. Fuente: IDENA, Ortofoto de Máxima actualidad (2024)*

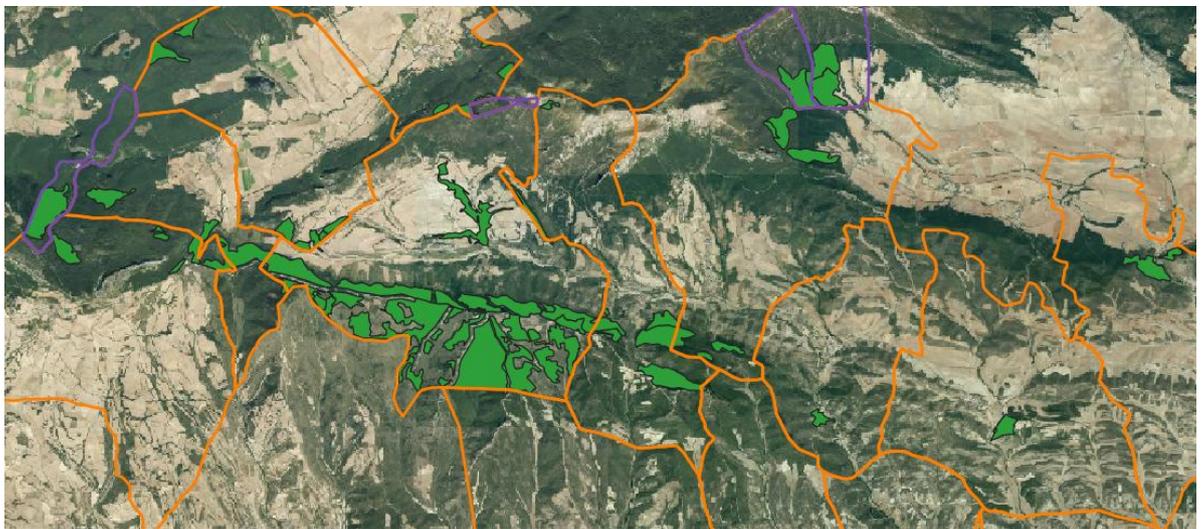


Como es visible en las imágenes expuestas, el abandono de las actividades asociadas al entorno rural ha provocado un gran crecimiento de los carrascales en el lugar, alcanzando densidades excesivas y cargas de combustible muy elevadas, que requieren de una gestión inminente. Una acción combinada de selvicultura de transformación, como podría ser un resalveo de conversión, combinado con un plan de prevención de incendios, generarían en la zona una estructura más resistente a incendios forestales, generando además un volumen de madera de numerosas posibilidades industriales.

## Pino laricio

El pino laricio o pino salgareño (*Pinus nigra*) presenta una distribución céntrica respecto a la zona de estudio, algo orientada a los municipios más septentrionales. Se tratan en su práctica totalidad de masas con un objetivo productor, conformando masas monoespecíficas que reciben tratamientos selvícolas regulares. Algunas masas de objetivo más protector componen masas forestales con mezcla de coníferas autóctonas, tanto con pinos carrascos como con enebro común (*Juniperus communis*) y enebro rojo (*Juniperus oxycedrus*).

Imagen 4.5.- Situación del pino laricio en la zona de estudio. Consultar Plano 2.



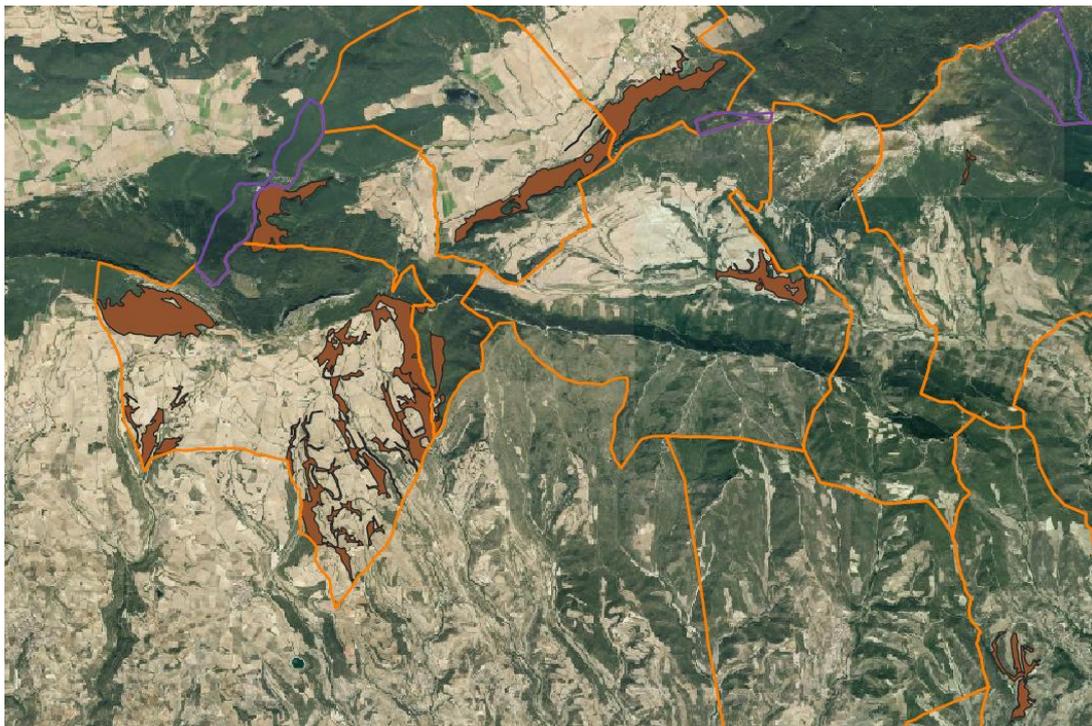
Las formaciones arbustivas más frecuentes son diversas: orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dom. *Rosaceae*), mezcla de matorrales de labiadas y tomillares, coscojares más puros de *Quercus coccifera*, brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos y aliagares, aulagares y afines.

El pino laricio en la mayoría de los casos presenta una gran cantidad de bolsones de procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*) que periódicamente causan grandes defoliaciones en las masas, pero sin comprometer su viabilidad. Con un total de 878,81 ha de pino laricio en la zona de estudio, la especie presenta un reparto bastante homogéneo entre sus diferentes clases naturales de edad, representando un 13,42% de la superficie forestal en la zona. Al igual que con las repoblaciones de pino carrasco, estas se han ido realizando a lo largo de diferentes décadas del siglo pasado.

## Quejigo

El quejigo (*Quercus faginea*) se posiciona como la cuarta especie más abundante por extensión en la zona de estudio, con un total de 582,76 ha, lo que supone un 8,9% del total. Las formaciones arboladas que compone la especie en el lugar son en su mayoría quejigares puros, aunque en ocasiones llega a formar masas mixtas con coníferas y frondosas autóctonas con enebro común, formaciones de arbolado disperso y bosques mixtos de frondosas autóctonas, junto a encinas (*Quercus ilex*) y robles marojos (*Quercus pyrenaica*). Prácticamente el 100% de la superficie de quejigo en la zona de estudio se encuentra en la clase natural de edad de latizal, pues apenas algo más de 5 hectáreas se encuentran en estado fustal, concretamente en dos masas en los municipios de Lapoblación-Meano y Torralba del Río.

Imagen 4.6.- Situación del quejigo en la zona de estudio. Consultar Plano 2.



En los quejigares, al igual que en los carrascales, se han abandonado los usos silvopastorales del monte, perdiéndose el aspecto adehesado de antaño y conformando en la actualidad masas trabadas con una densidad de pies muy elevada (ver comparativa entre Imagen 4.7 e Imagen 4.8).

La formación arbustiva principal son las orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dom. *Rosaceae*), aunque otras formaciones como la mezcla de matorrales de labiadas y

tomillares, los bujedos de *Buxus sempervirens* y de forma menos frecuente los brezales de mesófilos a xerófilos y hiercolares, puros o mixtos son posibles de encontrar.

*Imagen 4.7.- Paisaje de quejigares en Cabredo, entre el municipio y la cresta de la peña. Fuente: IDENA, PseudoOrtofoto B/N 1/2.500 (1927-1934)*



*Imagen 4.8.- Paisaje de quejigares en Cabredo, entre el municipio y la cresta de la peña. Fuente: IDENA, Ortofoto de Máxima actualidad (2024)*

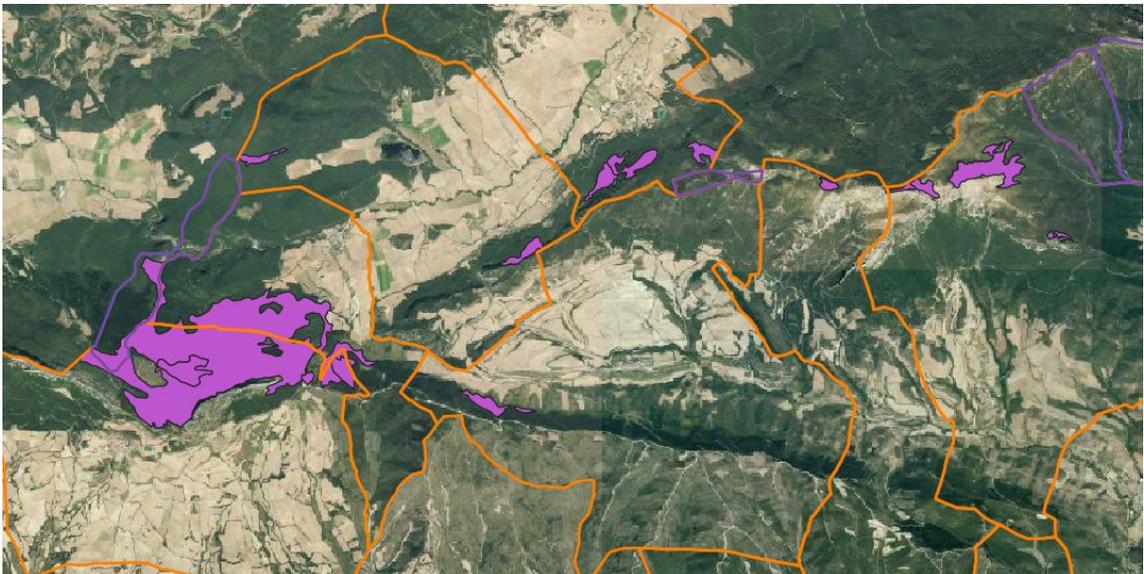


## Haya

El haya (*Fagus sylvatica*) abarca un total de 423,88 ha en la zona de estudio, lo que supone un 6,47% del total. En su mayoría (>99%) se trata de masas en estado de fustal, salvo una pequeña masa en estado latizal en el municipio de Cabredo. En su mayoría las formaciones

arboladas son los hayedos, aunque ocasionalmente conforme mezcla de coníferas y frondosas autóctonas junto al pino laricio y bosques mixtos de frondosas autóctonas junto a carrascas y serbales. Los hayedos, aunque en su mayoría son prácticamente monoespecíficos, presentan en ocasiones especies acompañantes como los avellanos (*Corylus avellana*), carrascas y robles pubescentes (*Quercus pubescens*). La distribución espacial de la especie en la zona de estudio es septentrional, situándose en su mayoría entre los municipios de Lapoblación-Meano y Marañón, así como en las cotas más altas de la ‘Sierra de Codés’ (municipios de Cabredo, Genevilla, Azuelo y Torralba del Río).

Imagen 4.9.- Situación de las hayas en la zona de estudio. Consultar Plano 2.



Las formaciones arbustivas bajo cubierta son principalmente los brezales de mesófilos a xerófilos y hiercolares, puros o mixtos, así como bujedos de *Buxus sempervirens* y orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dom. *Rosaceae*).

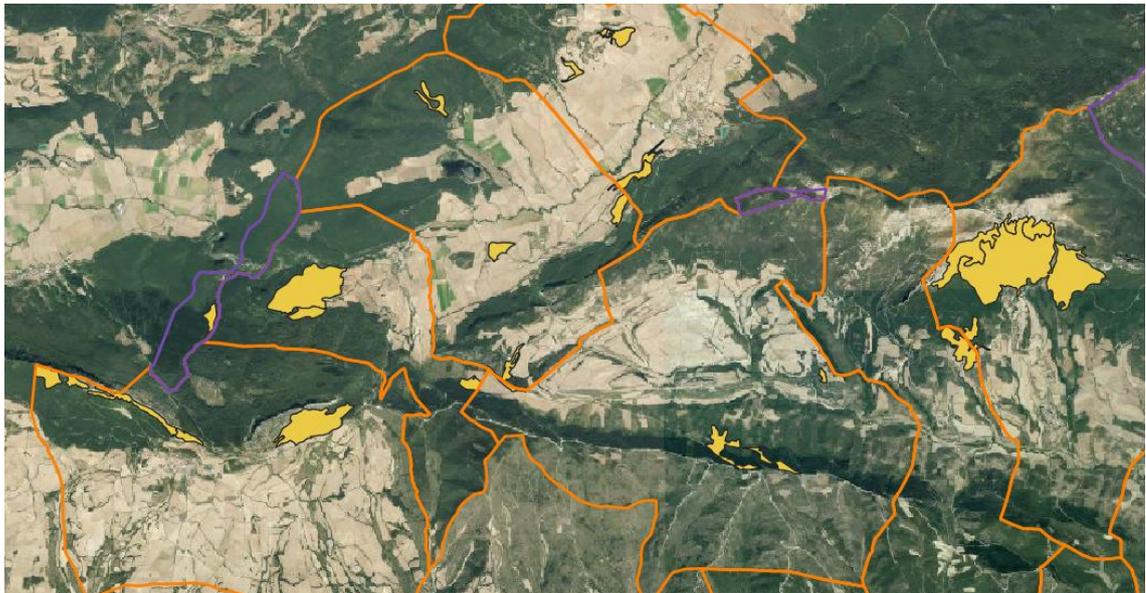
### **Roble peloso**

El roble pubescente o roble peloso (*Quercus pubescens* es el nombre científico aceptado en la actualidad, anteriormente *Quercus humilis*), es la sexta especie en el lugar en cuanto a representación por superficie. Con un total de 325,58 ha, no cuenta en el lugar con masas en estado de repoblado, estando sus otras tres clases naturales de edad bien repartidas.

En cuanto a su distribución, es concentrada en el extremo noroeste del estudio, pudiéndose encontrar en los municipios de Lapoblación-Meano, Marañón, Cabredo, Genevilla,

Aguilar de Codés, Azuelo y Torralba. Sus formaciones arboladas en la zona son de dos tipos: robledales puros de roble pubescente y bosques mixtos de frondosas autóctonas junto a carrascas, quejigos y marojos.

Imagen 4.10.- Situación del roble peloso en la zona de estudio. Consultar Plano 2.

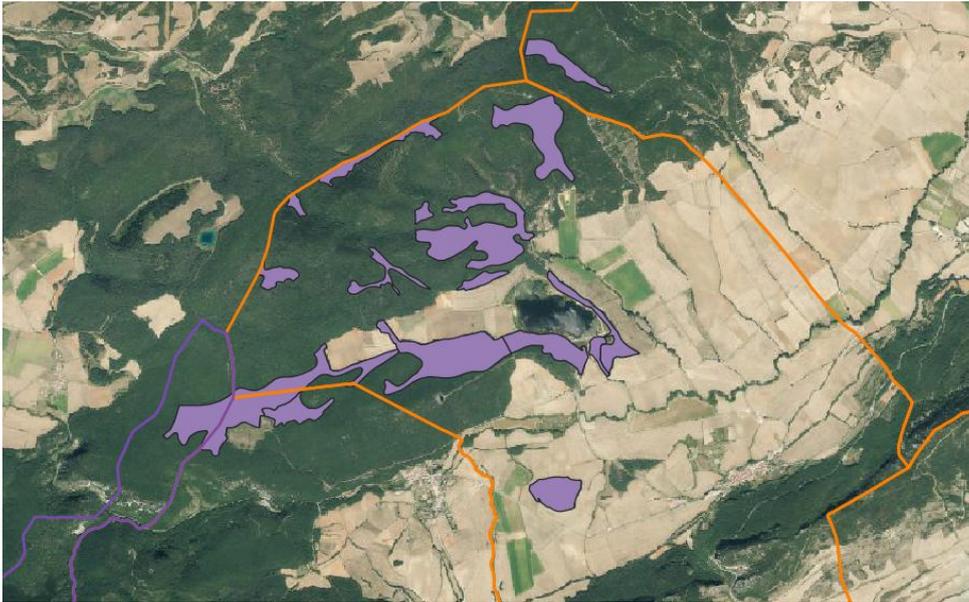


En cuanto a las formaciones arbustivas bajo cubierta, destacan las orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dom. *Rosaceae*), así como bujedos de *Buxus sempervirens*, brezales de mesófilos a xerófilos y hiercolares, puros o mixtos. De forma más singular es posible encontrar masas con argomales (tojares) atlánticos o subatlánticos (*Ulex* spp.)

### **Roble marojo**

El roble marojo o rebollo (*Quercus pyrenaica*) cuenta con un total de 119,92 ha en la zona de estudio. Todas ellas se encuentran en estado latizal, ubicadas principalmente en el municipio de Cabredo, aunque también en Marañón y Genevilla. En Cabredo se encuentra la RN Peñalabeja, que compone una muestra representativa de bosque de marojo maduro.

Imagen 4.11.- Situación de los marojales en la zona de estudio. Consultar Plano 2.



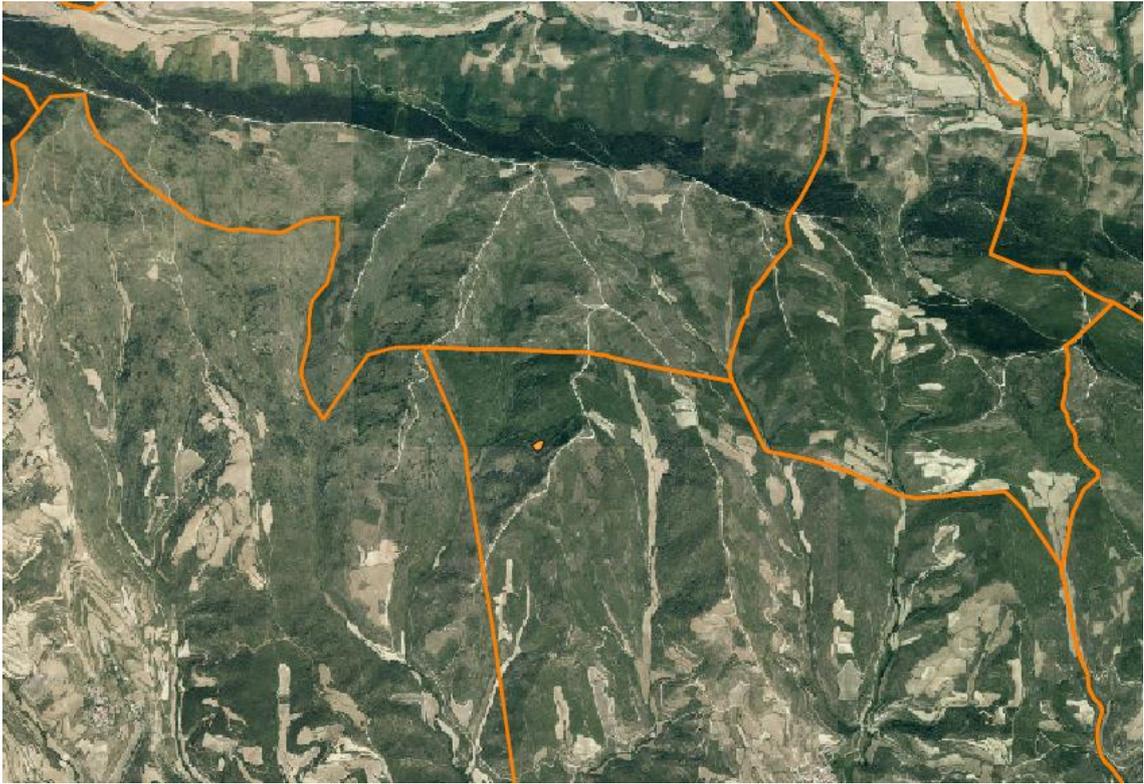
En general en Navarra los marojales han visto muy reducida su superficie por la intervención humana, por lo que hay pocos bosques con altura y extensión de alguna consideración. Principalmente en la zona se puede encontrar formando marojales acompañados de otras especies como encinas, enebros o robles pubescentes, así como bosques mixtos de frondosas autóctonas junto a encinas y robles pubescentes.

El estrato arbustivo principal son los brezales de mesófilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos, aunque también es posible encontrar otras formaciones como orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dom. *Rosaceae*), argomales (tojares) atlánticos o subatlánticos (*Ulex* spp.) y bujedos de *Buxus sempervirens*.

### **Pino silvestre**

El pino silvestre, albar o royo (*Pinus sylvestris*) constituye en Navarra, tras el haya, la segunda masa forestal. En cambio, en la zona de estudio su representación es muy escasa, siendo inferior a media hectárea. Esta masa, situada en el municipio de Aras, y más concretamente en el barranco del río Longar, se encuentra en estado fustal. Su origen posiblemente natural, se remonte a comienzos del siglo pasado.

Imagen 4.12.- Situación del pino silvestre en la zona de estudio. Consultar Plano 2.



### ESPECIES PRINCIPALES

Conocida la distribución e importancia relativa de las especies en términos de superficie ocupada, se escogieron las cuatro especies principales de la zona de estudio como especies objetivo. Entre estas especies principales (pino carrasco, encina, pino laricio y quejigo) componen el 87% de la superficie forestal arbolada del proyecto, y siendo las que determinarán si la producción actual y futura de la zona de estudio es suficiente para los objetivos propuestos. A continuación, se van a definir de manera exhaustiva las características propias de las especies de mayor interés para la realización de este estudio.

#### **PINO CARRASCO (*Pinus halepensis*)**

Conífera de distribución circunmediterránea, adaptada a los climas secos (especie xerófila) y que requiere abundante radiación solar (especie heliófila). Pudiendo alcanzar hasta 25 metros de longitud, su tronco es macizo y tortuoso, con corteza blanquecina en ejemplares jóvenes que posteriormente torna a marrón. Sus hojas se disponen como acículas emparejadas de 6-12 centímetros de longitud, flexibles y de color verde amarillento. Los conos masculinos

son alargados y amarillos, mientras que los femeninos son ovalados, pedunculados y miden entre 5-12 centímetros. Las semillas aladas son de pequeño tamaño. Su floración se produce entre marzo y mayo. El crecimiento y maduración de las piñas dura 2 años y después de este periodo unas se abren y otras esperan latentes en el árbol a abrirse tras el paso del fuego (Carácter pirófito).

Se desarrolla desde el nivel del mar a los 2600 m.s.n.m. en el Atlas Marroquí, a pesar de que su óptimo ecológico esté por debajo de los 800. Edáficamente, tiene preferencia por suelos calizos, pero puede adaptarse a sustratos pobres o yesosos. No tolera el encharcamiento ni la salinidad en el sustrato. Se trata de una especie pionera, con gran carácter colonizador en terrenos desnudos, degradados, tras el paso de incendios o en terrenos agrícolas abandonados. Adaptado a climas mediterráneos semiáridos con temperaturas anuales 12-16 °C, es buen resistente a la sequía, con requerimientos hídricos anuales mínimos de unos 350 mm (EUFORGEN, 2008). En la Tabla 4.2 y en la Tabla 4.3 se muestran las características tanto físicas como mecánicas del *Pinus halepensis*.

Tabla 4.2.- Características físicas del *Pinus halepensis*. Fuente: (Peña, 2014)

PARÁMETRO	valor mínimo	valor medio	valor máximo	interpretación
Densidad normal	0.485	0.548	0.619	Semipesada
Dureza radial	3.06	3.39	3.73	Semiblanda
Cota dureza radial.	9.29	9.67	10.05	Fuerte
Dureza tangencial	1.41	2.50	3.40	Semiblanda
Cota dureza tangencial.	5.51	8.23	7.70	Normal
Contracción volumétrica total	10	12.5	16.4	Media
Cont. Lineal radial	4.70	4.705	4.71	Media
Cont. Lineal tangencial	7.54	7.62	7.70	Media
Punto de saturación de la fibra %		32		-
Coefficiente de contracción volumétrica	0.31	0.37	0.43	algo nerviosa
Higroscopicidad	0.0030	0.0031	0.0034	Normal

Tabla 4.3.- Características mecánicas del *Pinus halepensis*. Fuente: (Peña, 2014)

PARÁMETRO	mínimo	medio	máximo	Interpretación
Flexión estática. Carga de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	926	1231	1595	mediana
Cota de flexión	21.3	23.0	29.5	grande
Cota de tenacidad	2.4	2.7	3.0	mediana
Cota de rigidez	17.3	26.5	39.0	elástica
Módulo de elasticidad	-	101500	-	-
Flexión dinámica trabajo unitario (kgm/cm <sup>2</sup> )	0.09	0.24	0.36	baja
Cota dinámica	0.73	1.27	3.24	resilente
Compresión paralela a la fibra. (kg/cm <sup>2</sup> )	379	463	532	mediana
Cota de calidad estática	7.1	8.37	9.3	inferior
Hienda (kg/cm)	0.16	12.72	13.80	baja
Cota de laminabilidad	0.18	0.23	0.25	median. laminable
Tracción perp. A la fibra. Radial (kg/cm <sup>2</sup> )	23	25	26	baja
Cota de adherencia	0.42	0.47	0.47	muy adherente
Tracción perp. A la fibra. Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	20	23	29	baja
Cota de adherencia	0.36	0.42	0.53	median. adherente
Compresión tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	102	107	112	
Cota de calidad	1.8	1.85	1.9	
Compresión radial (kg/cm <sup>2</sup> )	108	110.5	113	
Cota de calidad	1.9	1.95	2.0	

### CARRASCA (*Quercus ilex* subsp. *ballota*)

Árbol caducifolio de distribución mediterránea. Su temperamento es de media luz.

Su ecología varía en función de las dos subespecies presentes:

- *Q. ilex* subsp. *ballota* o *rotundifolia*: especie xerófila, con requerimientos hídricos anuales superiores a los 300 mm. Se desarrolla tanto en suelos calizos como en silíceos, en altitudes que rondan de los 0-1400 metros. Es gran resistente a la continentalidad, soportando inviernos fríos y veranos calurosos. Sus hojas, son ovales o espinosas, con un peciolo de 5 mm de longitud, con 5 a 8 pares de nervios. Es típica de toda la península, siendo la más apreciada por su producción de bellota.

- *Q. ilex* subsp. *ilex*: especie higrófila, requiere más de 600 mm anuales. Se desarrolla en suelos calizos desde el nivel del mar hasta los 1000 m de altitud (termófila). Es propia de climas templados y litorales, sin heladas. Sus hojas son lanceoladas y con peciolo hasta 1 cm,

tienen de 7 a 14 pares de nervios secundarios. Es propia del cantábrico y costa catalana y valenciana.

En las tablas adyacentes (Tabla 4.4 y Tabla 4.5) se pueden apreciar las características de su madera, tanto físicas como mecánicas.

Tabla 4.4.- Características físicas de la encina. Fuente: (Peña, 2014)

	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Desv. Típica	Interpretación
Densidad normal (Peso espec. aparente)(gr/cm <sup>3</sup> )	0.967	1.000	1.045	0.033	Muy Pesada
Dureza radial		14.32			Muy Dura
Cota de dureza		12.82			Fuerte
Dureza tangencial	3.00	7.85	9.60	3.233	Dura
Cota de dureza	3.09	7.45	9.24	2.924	Normal
Contracción volumétrica total	10.4	18.62	23.6	5.828	Grande
Contracción lineal tangencial	4.30	6.70	9.11	3.401	
Contracción lineal radial	3.13	4.45	5.78	1.874	
Punto de saturación de la fibra	30	33.3	38	4.163	Normal
Coefficiente de contracción volumétrica	0.34	0.55	0.80	0.234	Nerviosa
Coefficiente contracción tangencial	0.14	0.22	0.30	0.113	
Coefficiente contracción radial	0.10	0.14	0.19	0.064	
Relación c.c.tang./c.c.radl	1.4	1.57	1.58	-	
Higroscopicidad	0.0015	0.0044	0.0065	0.002	Fuerte

Tabla 4.5.- Características mecánicas de la madera de encina. Fuente: (Peña, 2014)

	Mínimo	Medio	Máximo	Desv. Típica	Interpretación
Flexión estática. (kg/cm <sup>2</sup> )	1025	1517	1901	374.872	Mediana
Cota de flexión	11.8	14.9	17.3	2.447	Mediana
Cota de rigidez	13.0	21.8	33.9	9.847	Elástica
Cota de tenacidad	2.3	2.6	3.1	0.341	Mediana
Modulo de elasticidad	121000	136750	152500	222747	
Trabajo unitario (kg*m/cm <sup>2</sup> )	0.53	0.89	1.35	0.342	Median. resistente
Cota dinámica	0.52	0.82	1.29	0.33	Media
Compresión paralela a la fibra. (kg/cm <sup>2</sup> )	467	591	746	126.34	Inferior
Cota de calidad estática	4.5	5.8	7.0	1.1	Inferior
Hienda. Resistencia a rotura (kg/cm)	29.16	31.33	32.91	1.94	Grande
Cota estática	0.29	0.31	0.32		Poco laminable o hendible
Tracción perp. fibra (radial) (kg/cm <sup>2</sup> )		51			Grande
Cota de calidad		0.51			Muy adherente
Tracción perp. fibra (tangenc.). (kg/cm <sup>2</sup> )	39	41	44	2.16	Mediana
Cota de calidad		0.41			Media
Compresión perp. fibra (radial) (kg/cm <sup>2</sup> )	224	270	315	64.35	
Cota de calidad	2.3	2.6	3.0	0.495	
Compresión perp.fibra (tangial) (kg/cm <sup>2</sup> )	202	243	285	58.69	
Cota de calidad	2.1	2.4	2.7	0.42	

## **PINO LARICIO (*Pinus nigra*)**

Árbol propio de las montañas mediterráneas secas del Sur de Europa, Asia y norte de África. En España ocupa zonas de altitud generalmente superior a los 500 m. en el Centro y mitad oriental. La mayor parte se encuentra en sustratos calizos, aunque se trata de una especie indiferente. Su temperamento es de media sombra y suele presentar problemas de regeneración. Las repoblaciones llevadas a cabo con la especie se realizan con diversas subespecies: *Pinus nigra* subsp. *laricio*, *Pinus nigra* subsp. *austriaca* y *Pinus nigra* subsp. *corsicana*.

En la Península Ibérica está presente la subsp. *salzmanii*, que presenta dos variedades o ecotipos:

- *pyrenaica*: propia del prepirineo y montañas catalanas. Se desarrolla a altitudes de 500-1400 m, con carácter calcícola y necesidades hídricas de 500 mm. Mal resistente a la continentalidad.

- *hispanica*: propia del sistema ibérico, sistema central y montañas del sureste peninsular. Se desarrolla en altitudes de 800-2000 m (orófilo). Acepta tanto terreno calizo como silíceo. Resiste inviernos fríos.

Se trata de un árbol elevado, que suele llegar hasta los 30-40 m. de altura, llegando excepcionalmente a los 50 m. El tronco es recto, con corteza grisácea bastante lisa en los jóvenes y dividida en grandes espejuelos brillantes, gris-plateados y muy característicos, en los adultos. Su crecimiento es de los más lentos de los pinos españoles. Su producción anual suele oscilar entre los 2 y 3.5 m<sup>3</sup>/ha. En la Tabla 4.6 y Tabla 4.7 se pueden apreciar tanto las características físicas como mecánicas de la especie.

Tabla 4.6.- Características físicas del pino laricio. Fuente: (Peña, 2014)

PARÁMETRO	Mínimo	Medio	Máximo	Interpretación.
Densidad normal (peso específico aparente) (gr/cm <sup>3</sup> )	0.491	0.576	0.656	semipesada
Dureza radial	2.24	2.48	2.91	semiblanda
Cota de dureza	5.48	5.95	6.28	pequeña
Dureza tangencial	1.16	2.34	3.28	semiblanda
Cota de dureza	4.61	6.85	10.01	normal
Contracción volumétrica total	11.6	13.3	16.7	media
Contracción lineal tangencial	5.64	6.60	7.56	
Contracción lineal radial	2.81	3.51	4.49	
Punto de saturación de la fibra	30	33	39	normal
Coefficiente de contracción volumétrica	0.25	0.40	0.47	algo nerviosa
Coefficiente contracción tangencial	0.17	0.20	0.23	
Coefficiente contracción radial	0.09	0.11	0.15	
Relación c.c.tang./c.c.radl	1.66	1,82	2.33	
Higroscopicidad	0.0023	0.0032	0.0038	normal

Tabla 4.7.- Características mecánicas del pino laricio. Fuente: (Peña, 2014)

PARÁMETRO	Mínimo	Medio	Máximo	Interpretación
Flexión estática. Carga de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	1012	1169	1334	mediana
Cota de flexión	18.8	20.6	23.6	grande
Cota de rigidez	17.4	25.2	34.7	elástica
Cota de tenacidad	2.3	2.5	2.7	mediana
Modulo de elasticidad	83500	96500	103500	-
Trabajo unitario (kg*m/cm <sup>2</sup> )	0.17	0.25	0.33	baja
Cota dinámica	0.65	0.76	0.87	frágil
Compresión paralela a la fibra (kg/cm <sup>2</sup> )	374	456	506	alta
Cota de calidad estática	6.8	7.9	9.1	mediana
Hienda. Resistencia a rotura (kg/cm)	7.75	9.77	11.67	baja
Cota estática	0.13	0.17	0.20	poco laminable
Tracción perpend. a la fibra (radial)(kg/cm <sup>2</sup> )	21	22	24	baja
Cota de calidad	0.36	0.38	0.42	medianamente adherente
Tracción perp. a la fibra (tangenc.) (kg/cm <sup>2</sup> )	20	23	27	pequeña
Cota de calidad	0.35	0.40	0.47	medianamente adherente
Compresión perp. a la fibra (radial) (kg/cm <sup>2</sup> )	79	88	101	
Cota de calidad	1.2	1.4	1.5	
Compresión perp a la fibra (tang.) (kg/cm <sup>2</sup> )	88	99	102	
Cota de calidad	1.4	1.6	1.7	

## **QUEJIGO (*Quercus faginea*)**

Especie de necesidad hídricas inferiores a 400 mm (xerófila), y de hojas marcescentes. Se desarrolla en suelos calizos o silíceos por toda la península ibérica salvo la cornisa cantábrica. Sus hojas son dentadas y coriáceas, con yemas rojizas.

Forma dos tipos de bosques en función del suelo:

- Calcícolas: Al degradarse da lugar a matorrales con *Genista scorpius*, *Salvia lavandulifolia* y *Lavandula latifolia*.

- Silicícolas: Al degradarse dan lugar a jarales de *Cistus ladanifer*.

Cuenta también con tres subespecies:

- *Quercus faginea* subsp. *faginea*: distribuida por casi toda la Península y Baleares.

- *Quercus faginea* subsp. *broteroi*: distribuida por el suroccidente peninsular, desarrollándose en barrancos húmedos y en terreno silíceo.

- *Quercus faginea* subsp. *alpestris*: distribuida en sierras andaluzas altas y calizas hasta los 1800 m de altitud.

Su madera, muy nerviosa, pesada y dura, tiene aplicaciones clásicas similares a la encina.

### **b. Metodología**

En este apartado se abordará la metodología seguida en el estudio para la caracterización de la biomasa actual y potencial en la zona. Para ello, este apartado se abordará en dos partes.

En primer lugar, se desarrollará la metodología abordada para la caracterización de la biomasa actual en la zona. Posteriormente, se hará el mismo ejercicio para la estimación de la biomasa potencial. El objetivo de dicho apartado es la explicación y aclaración de los pasos seguidos para abordar ambos propósitos.

#### **i. Caracterización de la biomasa actual**

En primer lugar y tras la situación del sector forestal en la zona (apartado Sector forestal) se procedió a la realización de un inventario de las masas objetivo en la zona de estudio.

A partir de los datos obtenidos del MFE25 (Tabla 4.1) se seleccionaron una serie de montes modelo que servirían de ejemplo para cada una de las clases naturales de edad de cada

especie. En esta selección, se descartaron las masas en estado de repoblado debido a su distancia temporal frente a un futuro aprovechamiento económicamente rentable. De esta manera se abordó la selección de montes modelo para las clases naturales de edad de monte bravo, latizal y fustal de las cuatro principales especies de la zona (*Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Pinus nigra* y *Quercus faginea*, en orden de representación), concluyendo un total de 11 montes seleccionados, dado que el quejigo (*Quercus faginea*) no presenta masas en estado de monte bravo.

#### DISEÑO Y TOMA DE DATOS: INVENTARIO

Estos once montes seleccionados fueron objeto de inventario para la obtención de datos reales y su posterior extrapolación a la superficie total del proyecto. La elección de dichos montes se realizó en función de su extensión y clase natural de edad a través de una comparativa en el visor de Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (Navarra G. d., 2025), realizando el muestreo en las masas que pudieran representar de una forma más fidedigna las características del global. De esta forma, se seleccionaron las masas que figuran en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8.- Montes modelo seleccionados objeto de muestreo para su inventariación. Fuente: MFE25

Especie	Clase natural de edad	Localización	Superficie (ha)
<i>Pinus halepensis</i>	Fustal	Bargota	17,90
	Latizal	Torres del Río, Sansol y El Busto	10,91
	Monte bravo	Bargota	26,22
<i>Quercus ilex</i>	Fustal	Azuelo	125,78
	Latizal	Cabredo	38,89
	Monte bravo	Cabredo	16,09
<i>Pinus nigra</i>	Fustal	Azuelo	10,13
	Latizal	Marañón	54,72
	Monte bravo	Azuelo	27,33
<i>Quercus faginea</i>	Fustal	Lapoblación- Meano	2,24
	Latizal	Lapoblación- Meano	96,09

A continuación, se enumera el material utilizado en el proceso de inventario de las masas seleccionadas (Imagen 4.13):

- Dispositivo móvil con sistema operativo versión Android 10 QKQ1.200114.002
- Aplicación gratuita del Instituto Geográfico Nacional ‘Mapas de España’, que permitió localizar las parcelas de inventario *in situ*
- Aplicación Excel para utilizar un estadillo previamente preparado para la toma de datos
- Ortofotos en papel con la situación de las parcelas
- Forcípula manual Haglöf Mantax Blue, con divisiones de 1 mm y apertura máxima de 50 cm
- Cinta Pi para los diámetros mayores de 50 cm no medibles con la forcípula
- Cinta métrica de fibra de vidrio ‘IRONSIDE’ con bastidor de 30 m para el replanteo de las parcelas
- Mochila, agenda, bolígrafo y material accesorio

*Imagen 4.13.- Material principal empleado en el proceso de inventario. De izquierda a derecha: forcípula, mochila y cinta métrica. Fotografía propia (21/8/24).*



En las masas seleccionadas se realizó un inventario por muestreo aleatorio sistemático mediante malla cuadrada, realizando en cada punto de muestreo una parcela circular de radio fijo.

A la hora del diseño del inventario se ha establecido un error máximo de muestreo (E%) del 20 % con una probabilidad fiducial del 95 %. Además, se ha utilizado un valor de 2 de la

“t” de Student y se ha estimado de manera subjetiva y general para todos los montes modelo una variabilidad de la población o coeficiente de variación (CV %) del 40 %. Posteriormente a la fase de inventario, se realiza un cálculo de la intensidad de muestreo para comprobar la suficiencia o en su defecto la falta de las parcelas estimadas en función de los resultados obtenidos, lo cual será desarrollado más adelante. El cálculo de las parcelas de muestreo de cada monte se realizó de la siguiente manera:

Mediante las siguientes ecuaciones: [ec.1], [ec.2], [ec.3] y [ec.4] se calcula el número de parcelas de inventario necesarias para el error de muestreo establecido y el lado de la malla cuadrada correspondiente.

$$n = \frac{t * CV_{\%}^2}{E_{\%}^2} \quad [\text{ec.1}]$$

Donde  $n$  es el número de parcelas,  $t$  es el valor de la  $t$  de Student,  $CV$  el coeficiente de variación estimado y  $E$  es el error de muestreo establecido (%). El número de parcelas se redondea al número entero superior más próximo. Sobre la [ec.1] se debe realizar una comprobación [ec.2].

$$\frac{n}{N} \leq 0,05 \rightarrow \text{Población infinita} \quad [\text{ec.2}]$$

Donde  $n$  es el número de parcelas y  $N$  el cociente entre la superficie objeto de inventario y la superficie de una parcela.

En el caso de que no se cumpla la [ec.2], nos encontramos frente a una población finita por lo que se debe corregir el número de parcelas añadiendo un sumando en el divisor de la fórmula [ec.1] para el cálculo del número de parcelas quedando esta como [ec.3].

$$n = \frac{t * CV_{\%}^2}{E_{\%}^2 * \frac{t^2 * CV_{\%}^2}{N}} \quad [\text{ec.3}]$$

El lado de la malla cuadrada necesaria vendría definido por la ecuación[ec.4].

$$l_m = \sqrt{\frac{S_m}{n}} \quad [\text{ec.4}]$$

Donde  $S$  es la superficie objeto de inventario en  $m^2$  y  $n$  el número de parcelas obtenido con la ecuación [ec.1] o [ec.3], según en que caso nos encontremos (población finita o infinita), obteniendo el lado de malla en metros.

De esta forma se realizó el cálculo para todos los montes anteriormente seleccionados (Tabla 4.8), obteniendo los datos básicos para el replanteo del inventario. Con estos datos se realizó un plano para cada caso en la herramienta QGIS (Planos del 4.1 al 4.11 ) y se realizó el inventario en campo.

Una vez en campo, se utilizó la herramienta Mapas de España para encontrar las coordenadas del centro de las parcelas de muestreo obtenidas en QGIS, pues permitió la ubicación de la coordenada sin necesidad de depender de la cobertura. Las parcelas de campo tienen un diseño circular con 7 metros de radio. En el inventario de campo se anotaron los datos de diámetro normal (d.n., también denominado diámetro a la altura del pecho (dap) o dbh por sus siglas en inglés, diameter at breast height) realizando la media de dos medidas en cruz a 1,30 m de la base. El levantamiento del inventario se realizó contabilizando los pies con un diámetro superior a los 7,5 cm y sin tener en cuenta los árboles muertos en pie. La mayoría de las masas modelo resultaron ser masas monoespecíficas salvo los montes modelo de *Quercus ilex* latizal y monte bravo (forma masas mixtas con *Quercus faginea*) y el monte modelo de *Quercus faginea* latizal (forma masas mixtas con *Quercus pyrenaica*).

#### ANÁLISIS DEL INVENTARIO FORESTAL

Una vez inventariados los once montes modelo se procesaron los datos para la obtención de diversos parámetros:

- Diámetro normal promedio por parcela (mm): se realizó la media aritmética de los diámetros normales de los pies incluidos en cada parcela. Posteriormente se calculó la media aritmética de las parcelas correspondientes a cada especie y clase natural de edad, obteniendo un diámetro normal medio de cada tipo de monte.

- Densidad promedio (pies/ha): se realizó la media aritmética de los pies/ha en cada parcela y posteriormente la media aritmética de la media de las parcelas, para sacar una densidad promedio de cada monte modelo.

- Ocupación específica (%): para la diferenciación de masas puras de las mixtas se realizó un cálculo de la ocupación específica por parcela y posteriormente se hizo la media aritmética de las parcelas, para la obtención de un dato de ocupación específica para cada monte modelo.

- Altura (m): utilizando una relación altura-diámetro específica para cada especie y tipo de masa (Veloso y otros, 2025) se predijo la altura en el momento de la toma de datos de cada pie inventariado.

- Biomasa aérea total (WT, expresado en t/ha): a través de los modelos de biomasa ajustados para distintas especies forestales de España (Montero et al., 2005), se estimó la biomasa aérea total utilizando parámetros específicos de su especie y parcela. Posteriormente se calculó el promedio para cada monte modelo.

#### COMPROBACIÓN INTENSIDAD MUESTREO

Tras la obtención de los datos de los inventarios y su posterior procesado, se realizó un cálculo de la intensidad muestral a modo de comprobación de la adecuación del número de parcelas de muestreo calculadas utilizando la biomasa por parcela (t/ha). En este análisis estadístico se analizó si el número de parcelas muestreadas era superior al número de parcelas establecido en función de la intensidad de muestreo, concluyendo las parcelas muestreadas como suficientes o en su defecto indicando el número de parcelas adicionales a muestrear. Para ello se establecían los datos de superficie del rodal (o monte muestreado en nuestro caso, en ha), superficie de la parcela (al ser una parcela circular de radio fijo:  $\text{Superficie parcela} = \pi \cdot r^2$ , en ha), el nivel de probabilidad fiducial (95% en nuestro caso, se escribe como 0,95) y el límite error de inventario establecido (20% en nuestro caso, se escribe como 0,2). A partir de estos valores introducidos, se realiza el cálculo de variables estadísticas como la media, varianza, desviación típica, coeficiente de variación y el error límite de inventario. Posteriormente se obtiene de una tabla t de Student el valor de la t-Student para un valor de  $e/2=0,1$ ; con los grados de libertad correspondientes (n-1). A partir de estos datos, se calcula la intensidad de muestreo. En el caso de confirmar un muestreo suficiente, se realizan algunos cálculos estadísticos para arrojar más información acerca del muestreo realizado (error de muestreo absoluto y relativo, intervalo de confianza para la media, total de la población e intervalo de confianza para el total).

De esta forma, tras realizar la comprobación estadística, se obtuvieron los datos de biomasa aérea total en la zona de estudio, desglosadas por las cuatro especies principales (*Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Pinus nigra* y *Quercus faginea*) y a su vez desglosadas en tres clases naturales de edad (monte bravo, latizal y fustal). Con estos datos, se conocía la masa (t/ha) a gestionar en cada caso, y con una simple multiplicación por la superficie de cada una de ellas (ha) el dato de biomasa total aérea existente en el monte a fecha de la toma de datos en toneladas.

## ii. Estimación de la biomasa potencial

Tras calcular la biomasa actual en la zona de estudio se procedió a realizar una estimación de la biomasa potencial. Esto nos permitirá conocer la dimensión de los aprovechamientos futuros en la zona aplicando una selvicultura adaptada a cada especie y clase natural de edad. Esta estimación se realizó de dos formas:

- Por un lado, se calculó mediante las Supertarifas forestales de Navarra el Incremento Anual de Volumen con Corteza (IAVC, expresado en  $\text{dm}^3/\text{pie}\cdot\text{año}$ ), utilizando las ecuaciones que me muestran a continuación y que se eligen en función de la especie y la forma de cubicación del árbol:

$$\text{Mod.19} \quad IAVC = a + b \cdot d \cdot n. + c \cdot d \cdot n.^2 + d \cdot d \cdot n.^3 \quad [\text{ec.5}]$$

$$\text{Mod.21} \quad IAVC = c \cdot d \cdot n.^2 + d \cdot d \cdot n.^3 \quad [\text{ec.6}]$$

donde d.n. expresa el diámetro normal en milímetros (mm).

Además del parámetro IAVC y el modelo, se clasifican las ecuaciones en función de las seis formas de cubicación establecidas por el 4º Inventario Forestal Nacional (IFN4):

- Forma 1: Árboles fusiformes prácticamente en todo su fuste, con troncos maderables, limpios y derechos de más de 6 m, flecha inferior al 1% de su longitud, veta no torcida y diámetro normal mayor de 20 cm.

- Forma 2: Árboles que cumplan las cuatro condiciones siguientes: ser fusiformes, tener troncos maderables de 4 o más metros, ramificarse por la parte superior y no pertenecer a la forma 1.
- Forma 3: Árboles fusiformes pequeños, en los que el diámetro del fuste de 75 mm queda por debajo de los 4 m de altura.
- Forma 4: Árboles cuyo tronco principal se ramifica antes de los 4 m de altura y que pertenezcan a algunas de las siguientes especies 007, 012, 016, 023, 041, 042, 043, 044, 045, 046, 047, 048, 049, 055, 056, 057, 066, 067, 071, 072, 074, 075, 079, 094, 243, 244, 245, 255, 256, 257, 294, 355, 356, 357, 455, 456, 457, 557, 657, 757, 857. Donde el código 043 corresponde a *Quercus pyrenaica*, el 044 a *Quercus faginea* y el 045 a *Quercus ilex* subsp. *ballota*.
- Forma 5: Árboles cuyo tronco principal es tortuoso, está dañado o es muy ramoso, por lo que no admite la clasificación en formas 1, 2 o 3. También pies de altura de fuste menor de 4 m si son de especies diferentes a las de los códigos 4 y 6.
- Forma 6: Árboles descabezados o trasmochos a los que se les ha cortado la parte superior del tronco y las ramas en puntos próximos a su inserción en el tronco y que pertenezcan a algunas de las siguientes especies: 041, 042, 043, 055, 056, 071, 072, 094, 243, 255, 256, 294, 355, 356, 455, 456.

A pesar de que cada monte modelo se definió bajo una forma de cubicación, esta clasificación no supuso ningún cambio en el modelo utilizado ni en los parámetros éste. Primeramente, se calculó el IAVC del árbol promedio de cada monte modelo ( $\text{dm}^3/\text{pie}\cdot\text{año}$ ) y, tras su multiplicación por la densidad promedio (pies/ha), se obtuvieron valores de crecimiento anual en volumen con corteza en  $\text{dm}^3$  anuales. Para su conversión a valores de crecimiento anuales de biomasa se empleó la densidad normal media de cada especie obtenida de Peña (2014a, 2014b), figuran en la Tabla 4.2, Tabla 4.4 y Tabla 4.6.

- Por otro lado, se realizó una simulación de gestión forestal de las masas mediante SIMANFOR. SIMANFOR es un sistema de apoyo para la simulación de alternativas de manejo forestal sostenible, disponible en su página web ([www.simanfor.es](http://www.simanfor.es)) y de uso gratuito (Bravo et al., 2025). Esta web permite simular diferentes alternativas de gestión forestal sostenible sobre una misma masa forestal con el fin de conocer cuál de ellas satisface las necesidades del usuario. SIMANFOR incluye modelos de dinámica forestal multinivel (desde árbol individual hasta masa forestal) para distintas especies y localizaciones, incluyendo las circunstancias presentes en este estudio. Esta web sigue el siguiente esquema de trabajo:

- En primer lugar, se debe subir el inventario realizado que deseamos proyectar a la plataforma.
- En segundo lugar, se deben explorar los modelos disponibles y seleccionar el modelo de proyección que vayamos a emplear a la web. En nuestro caso hemos elegido el modelo de proyección titulado “Masas mixtas de España” (SIMANFOR. Modelo de crecimiento de árbol individual independiente de la distancia para masas mixtas de España., 2025) por tratarse de un modelo parametrizado para las especies y zona de estudio objetivo. Este modelo utiliza las ecuaciones de Rodríguez (Rodríguez de Prado et al., Competition and climate influence in the basal area increment models for Mediterranean mixed forests., 2022) para estimar el crecimiento en área basimétrica, (Rodríguez de Prado et al., Species mixing proportion and aridity influence in the height-diameter relationship for different species mixtures in Mediterranean forests., 2022) para la estimación de la altura, y (Ruiz-Peinado et al., New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species., 2011), (Ruiz-Peinado et al., Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species., 2012) para la estimación de la biomasa. Ecuaciones adicionales han sido utilizadas para estimar el resto de las variables de interés forestal, que pueden consultarse en la documentación del modelo.
- Posteriormente se crea un nuevo escenario de gestión forestal, donde seleccionamos el inventario y modelo elegidos y posteriormente detallamos los pasos a seguir en nuestra simulación. Estos pasos pueden ser “proyecciones”, con un salto temporal de 5 años y que permiten estimar la evolución de nuestra masa, o “cortas”, que nos permiten intervenir en la masa empleando distintos tipos de corta (cortas por lo alto, por lo bajo y sistemáticas), con distintas intensidades y periodicidad.

Imagen 4.14.- Detalles de un escenario en SIMANFOR. En este caso, se trata del escenario de gestión empleado para masas de *Pinus nigra fustal*.

Nombrepnig\_fust\_gestion

Corta porvenir	45% N	▼
Proyección	50-55	▼
Proyección	55-60	▼
Proyección	60-65	▼
Corta porvenir	35% N	▼
Proyección	65-70	▼
Proyección	70-75	▼
Proyección	75-80	▼

En este estudio se van a plantear simulaciones en un escenario de gestión a 30 años vista. En nuestro caso, además de las proyecciones (crecimiento de la masa sin intervención) se va a proponer un modelo de gestión diferente para cada especie y clase natural de edad. Para ello se seleccionaron diversos itinerarios selvícolas para los montes modelo y se ajustaron dichos itinerarios a las necesidades reales de la masa en términos de intensidad de las intervenciones, pues muchas de ellas carecían de gestión previa. De esta forma no sólo se estima el crecimiento de biomasa como en el apartado anterior, si no que se puede simular el crecimiento de las masas en función del itinerario selvícola escogido, teniendo un mayor detalle del estado final de nuestra masa y la cantidad de biomasa extraída. Los gráficos expuestos con los resultados de las simulaciones han sido creados con R (R: A Language and Environment for Statistical Computing., 2021).

### **SELVICULTURA APLICADA**

Los itinerarios selvícolas escogidos fueron los siguientes:

- En el caso de *Pinus nigra* se tomó la selvicultura de referencia de la Junta de Castilla y León (Del Río et al., 2006). El manual ofrece diferentes itinerarios selvícolas en función de la calidad de estación del rodal. En nuestro caso, al ser un estudio de referencia para una extensión muy grande, se consideró la elección del Índice de Sitio (SI) promedio. El manual ofrecía selviculturas para los SI 12, 15, 18 y 21. Por tanto se seleccionó el SI

18 como el que podría representar de mejor manera los crecimientos de las masas en la zona.

De esta forma, el esquema selvícola a aplicar en las masas de *Pinus nigra*, para un IS 18 es el siguiente:

1.-  $\approx$ 10-15 años: clareo selectivo con criterio de selección negativo cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha, acompañado de podas bajas en todos los pies.

2.- 30 años\_ 1ª clara semisistemática con selección de árboles de porvenir entre calles. Poda hasta 5,5-6m de los 300-400 mejores pies/ha.

3.- 40 años: 2ª clara con selección de árboles de porvenir.

4.- 50 años: 3ª clara con selección de árboles de porvenir.

3.- 65 años: 4ª clara con selección de árboles de porvenir.

4.- Turno: 60-80 años

Como los datos tomados en el inventario se desvían de las masas tipo reflejadas en el manual anterior por la falta de gestión previa, la intensidad de las cortas se ha ajustado para cada clase natural de edad en función de los valores iniciales. Además, la aplicación necesita la asignación de una edad a la masa para el comienzo de la simulación, lo que se hizo a través del visor IDENA. La plataforma web del geoportal de Navarra permite la visualización de la información a través del visualizador de mapas IDENA. De esta forma, se cargan de forma simultánea las diversas ortofotos disponibles (desde la PseudoOrtofoto B/N 1/2.500 (1927-1934), hasta la Ortofoto de máxima actualidad). Tras comparar las diferentes Ortofotos del visor, se asignaron edades a las masas y se procedió a realizar la simulación. Los escenarios selvícolas adaptados y simulados en SIMANFOR fueron los siguientes:

- *Pinus nigra* monte bravo: se desarrolla el itinerario desde los 30 años a los 60. Se trata de una masa sin intervención previa.

A los 30 años se realiza una clara semisistemática, representando la clara sistemática (apertura de calles) el 25% de la densidad (N) y la clara por lo bajo el 35% de N.

A los 40 años se realiza una corta por lo bajo del 35% de N.

A los 50 años se realiza una corta por lo bajo del 30% de N.

- *Pinus nigra latizal*: se desarrolla el itinerario desde los 40 años hasta los 70.  
 Se trata de una masa de 40 años en densidades muy elevadas y sin ningún tratamiento selvícola hasta la fecha. El itinerario selvícola ajustado es el siguiente:  
 A los 40 años se realiza una clara semisistemática, representando la clara sistemática (apertura de calles) el 25% de N y la clara por lo bajo el 35% de N.  
 A los 50 años se realiza una clara de selección de árboles de porvenir del 40% de N.  
 A los 65 se realiza una clara de selección de árboles de porvenir del 50%.
  - *Pinus nigra fustal*: se desarrolla el itinerario desde los 50 años asignados a la masa hasta los 80 años del turno. Se trata de una masa con gestión activa para producción maderera. El itinerario selvícola ajustado es el siguiente:  
 A los 50 años se realiza una clara de selección de árboles de porvenir del 45% N.  
 A los 65 años se realiza una clara de selección de árboles de porvenir del 45% N.  
 A los 80 años llega el turno de la masa.
- En el caso de *Pinus halepensis* se tomó los itinerarios selvícolas para las masas repobladas de Pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) en Aragón (Ponce & Hernández Jiménez, 2019). Los itinerarios selvícolas propuestos se clasifican en función del objetivo de la repoblación: protector, productor, aumento de la biodiversidad. En nuestro caso se eligieron itinerarios selvícolas para masas de objetivos de aumento de la biodiversidad, ya que se adecuan de mejor manera al caso de estudio. Además, estos itinerarios selvícolas se realizan en función de la densidad de la masa a los 20 años, dando a escoger entre dos opciones: 1500 pies/ha y 2500 pies/ha. El modelo escogido se denomina BD\_CX50\_T45, y presenta ambos itinerarios de densidad a los 20 años. Además, ofrece diferentes itinerarios selvícolas en función de la calidad de estación del rodal. En nuestro caso, el diámetro normal promedio se aproximaba más al SI 10, por tanto, se le seleccionó como el que podría representar de mejor manera los crecimientos de las masas en la zona. De esta forma, el esquema selvícola a es el siguiente:

Primera clara mixta fuerte con peso del 50% (25% de clara baja más 25% por lo alto: en total 50% N y 50% área basimétrica (G)). Dos claras más moderadas sistemáticas (peso del 20% de N). La primera clara se aplica a los 45 años y la rotación es de 20 años.

Como los datos tomados en el inventario se desvían de las masas tipo reflejadas en el manual, estos se han ajustado para cada clase natural de edad en función de los valores iniciales. La edad del monte se determinó usando el mismo método que en el caso anterior. Los escenarios selvícolas adaptados y simulados en SIMANFOR fueron los siguientes:

- *Pinus halepensis* monte bravo: se desarrolla el itinerario desde los 25 años a los 55. Se trata de una masa sin intervención.

A los 45 años se realiza una extracción fuerte mezclando clara por lo alto y clara baja (25%N por lo bajo + 25%N por lo alto).

- *Pinus halepensis* latizal: se desarrolla el itinerario desde los 35 años a los 65. Se trata de una masa sin intervención. Primera clara mixta fuerte con peso del 45%N a los 45 años (25%N de clara baja más 20%N por lo alto: en total 45% N y 40% G). Una clara más moderada sistemática (peso del 35%N) a los 55 años. Una clara moderada por lo bajo (peso del 30%N) a los 65 años.

- *Pinus halepensis* fustal: se desarrolla el itinerario desde los 95 años a los 125.

A los 95 años se realiza una corta de regeneración mediante árboles padre extrayendo el 50 % de N. A los 110 años se corta el 50% de N y a los 125 al final del turno se corta el 100% de N dejando el regenerado.

- En el caso de *Quercus ilex* se tomó los Modelos de gestión para los bosques de encina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) y carrasca (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) desarrollados por el Centre de la Propietat Forestal (Vericat Grau et al., 2011). En nuestro caso, se tratan masas de estructura regular con una densidad elevada de pies, lo cual se adecuaba mejor a los modelos selvícolas de calidades elevadas que a los de calidades medianas o bajas. Se decidió optar por modelos selvícolas de resalveos de conversión, alcanzando una estructura de fustal sobre cepa, desarrollando masas obtenidas a partir de tallares que a su vez originan gran cantidad de recursos madereros, los cuales son de gran utilidad en nuestro caso de estudio. Por ello se seleccionó el modelo selvícola QII03 del manual. Este modelo, diseñado para masas

regulares de encina de calidades de estación alta, propone un modelo de gestión que se divide en tres fases:

En la fase inicial o fase de selección de tallos (se realiza  $\approx 10$  años), se reduce la densidad inicial (que inicialmente es  $>5000$  pies/ha) a unos 1500 pies/ha, dejando en pie aquellos de diámetro mayor, mejor conformación y de fuste más vertical. Se deben eliminar todos los pies  $<2,5$  cm, respetando aquellos de origen de semilla.

En la segunda fase, se producen aclareos bajos sucesivos cada 10-15 años. La primera clara baja ( $\approx 30$  años) se realiza con un peso máximo del 20-30% de G y extrayendo como máximo unas 30 t/ha. La FCC no debe bajar del 70% para no generar un aclareo excesivo indeseado y favorecer el desarrollo del matorral. La densidad se reduce aproximadamente hasta los 1000 pies. Posteriormente se realizan aclareos bajos sucesivos, cada 10-15 años aproximadamente, con un peso máximo de 20-30% de G y extrayendo como máximo unas 30 t/ha. Se podrá realizar siempre que el G supere los 30 m<sup>2</sup>/ha. La FCC no debe bajar del 70%. La densidad se reducirá gradualmente hasta llegar a unos 250 pies/ha en torno a los 100 años. Estos aclareos son opcionales en función de que sean autofinanciables. Se pueden espaciar asumiendo que a partir de los 15 años actuará un cierto grado de mortalidad natural y la masa puede quedar vulnerable a secadas.

La tercera fase o fase de regeneración se puede realizar por corta a hecho o por selección de pies. En todo caso, es necesario retrasarla al máximo (alrededor de 100 años o más) para mantener una estructura resistente al fuego de copas durante la máxima proporción del turno. Se obtienen alrededor de 100 t/ha.

Como los datos tomados en el inventario se desvían de las masas tipo reflejadas en el manual, estos se han ajustado para cada clase natural de edad en función de los valores iniciales. La edad del monte se determinó usando el mismo método que en el caso anterior. Los escenarios selvícolas adaptados y simulados en SIMANFOR fueron los siguientes:

- *Quercus ilex* monte bravo: se desarrolla el itinerario desde los 15 años a los 45. Se trata de una masa sin intervención previa.

A los 15 años se reduce la densidad de la masa a  $\approx 3250$  pies/ha, lo que supone una corta de  $\approx 50\%$  de N.

A los 30 años se realiza una clara por lo bajo del 50%N, alcanzando una densidad de  $\approx 1600$  pies/ha. (Máximo 20-30%G).

A los 45 años se realiza una clara por lo bajo, 20-30% G.

- *Quercus ilex* latizal: se desarrolla el itinerario desde los 30 años a los 60. Se trata de una masa sin intervención.

A los 30 años se realiza una clara por lo bajo hasta alcanzar una densidad de  $\approx 1000$  pies/ha. (Máximo 20-30%G).

A los 45 años se realiza una clara por lo bajo, 20-30% G.

A los 60 años se realiza una clara por lo bajo, 20-30% G.

- *Quercus ilex* fustal: se desarrolla el itinerario desde los 60 años a los 90.

A los 60 años se realiza una clara por lo bajo hasta alcanzar una densidad de  $\approx 600$  pies/ha. Clara  $\approx 40\%N$  (Máximo 20-30%G).

A los 75 años se realiza una clara por lo bajo, 25% G. Densidad  $\approx 450$  pies/ha.

A los 90 años se realiza una clara por lo bajo, 25% G. Densidad  $\approx 350$  pies/ha.

En el caso de *Quercus faginea* se tomó los Modelos de gestión para los bosques de roble de hoja pequeña (*Quercus faginea*) y roble pubescente (*Quercus pubescens*) desarrollados por el Centre de la Propietat Forestal (Vericat Grau et al., 2011). En nuestro caso, se tratan masas de estructura regular con una densidad elevada, por lo que nos acercamos más a los modelos de calidades de estación elevadas que a los modelos de calidades de estación baja. Combinando producción de leñas y el aumento de la resistencia a los incendios, se encuentra el modelo QF02 que encaja a la perfección con las masas de estudio. Fijando un turno  $\approx 100$  años, este modelo selvícola se divide en tres fases. La primera fase es la de selección de tallos, en la cual se reduce la densidad inicial (puede ser  $>5000$  pies/ha) a  $\approx 1200$  pies/ha a los 10-15 años. Posteriormente, a los 40-50 años se reduce la densidad a  $\approx 800$  pies/ha, mediante una clara por lo bajo que supondrá un máximo del 20-30% G. Esta clara se podrá realizar siempre que  $G > 25 \text{ m}^2/\text{ha}$ . La corta de regeneración se realizará en el turno de la masa ( $\approx 100$  años), y podrá realizarse mediante matarrasa o mediante reserva de pies. En caso de realizarse mediante reserva de pies en dos cortas, en la primera se realizará una corta dejando una  $G \approx 5 \text{ m}^2/\text{ha}$  y una FCC  $< 20\%$ , en un conjunto de pies con una distribución lo más homogénea posible y que también facilite el desembosque en el corte final. Hay que dejar los pies en cepas donde no se corta ningún pie (se dejan cepas enteras). Unos 10

años después, se realiza conjuntamente la corta final + selección de tallos, donde se extraen los pies adultos remanentes y se realiza la selección de tallos según los criterios citados. Entre esta clara por lo bajo y la corta de regeneración se podrá incluir otra clara por lo bajo en función de la autofinanciabilidad de la misma. En esta clara opcional, se reduce la densidad a  $\approx 500$  pies/ha, suponiendo un máximo del 20-30% de G, siempre y cuando el G extraído sea  $>25\text{m}^2/\text{ha}$ .

Como los datos tomados en el inventario se desvían de las masas tipo reflejadas en el manual, estos se han ajustado para cada clase natural de edad en función de los valores iniciales. La edad del monte se determinó usando el mismo método que en el caso anterior. Los escenarios selvícolas adaptados y simulados en SIMANFOR fueron los siguientes:

- *Quercus faginea* monte bravo: no existen en la zona de estudio masas con estas características.
- *Quercus faginea* latizal: se desarrolla el itinerario desde los 30 años a los 60. Se trata de una masa sin intervención.
  - Se realiza una primera clara por lo bajo a los 30 años del 40%N.
  - Se realiza una segunda clara por lo bajo a los 45 años del 30%N.
- *Quercus faginea* fustal: se desarrolla el itinerario desde los 60 años a los 90. Se trata de una masa sin intervención.
  - Se realiza una primera clara por lo bajo a los 60 años del 30%N.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al igual que en el apartado anterior, los resultados y la discusión de estos han sido divididos en dos secciones para presentar la caracterización de la biomasa actual y potencial por separado, debido a que representan momentos temporales diferentes e información que debe interpretarse de manera separada antes de discutir su importancia conjunta.

### i. Caracterización de la biomasa actual

En primer lugar, para la caracterización de la biomasa actual fue necesario el diseño de un muestreo para la elaboración de un inventario de los montes modelo seleccionados (Tabla 4.8). De esta forma, los resultados del diseño del muestreo aleatorio sistemático mediante malla cuadrada, realizando en cada punto de muestreo una parcela circular de radio fijo fueron los siguientes:

Tabla 5.1.- Características del muestreo en función del monte modelo. Elaboración propia.

		Superficie	n, [ec.1]	n/N	Población
<i>P.halepensis</i>	FUSTAL	17,902	16	0,894	FINITA
	LATIZAL	10,91	16	1,467	FINITA
	M.BRAVO	26,224	16	0,610	FINITA
<i>Q.ilex</i>	FUSTAL	10,131	16	1,579	FINITA
	LATIZAL	54,729	16	0,292	FINITA
	M.BRAVO	27,338	16	0,585	FINITA
<i>P.nigra</i>	FUSTAL	125,78	16	0,127	FINITA
	LATIZAL	38,891	16	0,411	FINITA
	M.BRAVO	16,092	16	0,994	FINITA
<i>Q.faginea</i>	FUSTAL	2,237	16	7,152	FINITA
	LATIZAL	96,086	16	0,167	FINITA

En la Tabla 5.1 se observa cómo el resultado de todas las poblaciones es finito, resultando necesario la elaboración de un total de 101 parcelas de muestreo. El monte que más parcelas de muestreo requería fue el de *Quercus ilex* en estado fustal situado en Azuelo, aunque tres de las parcelas se desestimaron debido a la inaccesibilidad de estas, pues estaban situadas en paredes y riscos verticales de la Sierra de Codés. En cambio, el monte que menos parcelas requirió fue el de *Quercus faginea* en estado fustal situado en Lapoblación-Meano, debido a su reducida extensión (2,24 ha). Tras la elaboración de los cálculos expuestos, éstos fueron

utilizados en la herramienta QGIS para la elaboración de planos que facilitasen la ubicación de las parcelas de muestreo (Planos del 4.1 al 4.11).

Conocidas las coordenadas de las parcelas de muestreo y con los planos de QGIS elaborados, se realizaron las salidas de campo necesarias para realizar la toma de datos. Identificando la especie y tomando los valores de su d.n. en cruz, se obtuvo distinta información de interés de las masas estudiadas.

El primer análisis comprendió la ocupación específica de las masas, permitiendo distinguir las masas puras de aquellas que formasen masas mixtas con otras especies. Tanto el pino carrasco como el pino laricio formaban masas monoespecíficas por su origen de repoblación, si bien es cierto que en las masas de pino carrasco se están desarrollando especies acompañantes en el sotobosque (no figuran al ser pies no inventariables, d.n. < 7,5 cm). Estas especies acompañantes son principalmente quercíneas como la encina (*Quercus ilex*), el quejigo (*Quercus faginea*) y la coscoja (*Quercus coccifera*), así como enebros comunes (*Juniperus communis*), enebros rojos (*Juniperus oxycedrus*) y de manera más excepcional serbales (*Sorbus* spp.). De esta forma las repoblaciones de pino carrasco en la zona están cumpliendo sobradamente sus objetivos de repoblaciones de función protectora, facilitando la dispersión de otras especies en su interior a pesar de su espesura.

En el caso de las masas de pino laricio sucede un desarrollo similar, aunque el aprovechamiento de la masa pueda afectar a este fenómeno. De la misma manera que en las masas de carrasco, se están desarrollando en el sotobosque las especies mencionadas en el caso anterior, aunque su viabilidad posiblemente se vea truncada cuando llegue el turno de la masa.

Las masas mixtas en el estudio se corresponden con las masas naturales de encina y quejigo, aunque en estas especies en estado fustal formen masas monoespecíficas. En el caso del monte de encina en estado fustal situado en Azuelo (Plano 4.7) la encina ha tenido un desarrollo vegetativo muy fuerte con el paso de los años, llegando al cierre de copas y a una FCC del 100%. De esta forma, la masa dificulta en gran manera el desarrollo de especies acompañantes en el sotobosque, aunque de manera puntual se puedan ver pies mayormente no inventariables de especies como enebros (*Juniperus* spp.), serbales (*Sorbus* spp.) y otras quercíneas (*Quercus* spp.). El mismo caso es el de la masa de quejigo en estado fustal situado en Lapoblación-Meano, en el cual el desarrollo de copas de los quejigos limita la llegada de luz solar al suelo, impidiendo de tal forma el desarrollo vigoroso de otras especies. En esta masa, predominan en el sotobosque especies espinosas de la familia *Rosaceae*, ya que estos quejigos

se desarrollan en una superficie de 2,24 ha que se sitúan circundantes al río Buempajera. Estas orlas espinosas ocupan gran parte del suelo situado debajo de la proyección de las copas, lo cual unido a la total FCC provoca el desarrollo único de los quejigos maduros.

Las masas mixtas de encina (latizal y monte bravo, situadas ambas en Cabredo, Plano 4.8 y Plano 4.9), se desarrollan junto a pies de roble marojo (*Quercus pyrenaica*), siendo en una de las parcelas predominante el marojo frente a la encina. Cabe destacar que estas masas mixtas se sitúan colindantes a la Reserva Natural de Peñalabeja, lugar de protección de las masas maduras de este roble en Navarra (Plano 2).

En el caso de la masa mixta de quejigo en estado latizal situada en Lapoblación-Meano (Plano 4.11), esta mezcla se produce con la encina (*Quercus ilex*). En la medición en diferentes parcelas, esta segunda ocupación de la encina oscila en valores de entre el 0 y el 30%, resultando una media de en torno al 10%.

Otras variables de gran interés recogidas en el inventario fueron el diámetro normal (mm) y la densidad (pies/ha). Al haber masas mixtas en el estudio se realizaron dos tipos de tablas:

- Por un lado, se realizaron tablas resumen en las que se incluía los valores promedio de las parcelas sin importar las especies implicadas (Tabla 5.3).

- Por otro lado, como para los cálculos de IAVC era necesaria la utilización del d.n. de una especie en concreto, se realizaron divisiones de los datos en las masas mixtas, ofreciendo tanto los datos de la especie de primera ocupación como los datos de la especie de segunda ocupación (Tabla 5.2).

Como se puede apreciar en la Tabla 5.3, los valores de diámetro promedio de pino carrasco son en general para las tres clases naturales de edad consideradas, ligeramente menores que los de la otra conífera considerada en el estudio, el pino laricio. Esta diferencia se debe principalmente a dos factores: el suelo y el clima. En condiciones de tiempo similares, las masas de pino laricio alcanzan mayores crecimientos que las masas de pino carrasco, dado que las de este último están situadas en terrenos mucha más pobres y secos, mientras que las masas de pino laricio se sitúan en terrenos de mayor fertilidad y en su mayoría con orientación norte, además de estar situadas en municipios con unas condiciones pluviométricas superiores. En general, el resto de los montes muestreados de coníferas presentan parcelas muy similares, debido a la gran similitud de las condiciones edafoclimáticas en todo el rodal.

En el caso de las quercíneas, las parcelas en estado fustal presentan diámetros que rondan de los 18 a los casi 25 cm de diámetro en el caso de la encina, y de 26 a 28 cm en el caso del quejigo. En la masa de encina en estado fustal, cabe destacar la presencia de pies extraordinariamente grandes de manera salteada, dado el historial silvopastoril comentado en la Imagen 4.3 e Imagen 4.4. Esta diferencia no es tan marcada en el monte de muestreo, pero aun así el suceso es el mismo: el abandono progresivo de paisajes antiguamente silvopastoriles ha conllevado a la lignificación de las masas y a su cierre de copas, dando lugar a masas muy densificadas y con altos volúmenes por hectárea.

*Imagen 5.1.- Encina con un diámetro superior a 50 cm, impide su medida con forcípula.*



La encina de la Imagen 5.1 refleja el suceso comentado, antiguos árboles trasmochos destinados a la producción de bellota y ramón para ganado conforman en la actualidad árboles imponentes de gran diámetro, en este caso superior a 50 cm impidiendo su medida con la forcípula y quedando esta truncada en el fuste, obligando en estos casos a utilizar la cinta pi para obtener su diámetro normal.

En el caso de las masas mixtas, es visible como en general la desviación media entre parcelas es bastante inferior. Esto se debe principalmente a la densidad de estas masas. La gran espesura de la masa condiciona el crecimiento de esta, limitando por igual a los pies de ambas

especies y teniendo estos un crecimiento muy parejo. En el caso de las masas mixtas de encina con marojo es mayor el diámetro promedio del marojo, lo cual es cierto tanto para las masas en estado latizal como para las masas en estado de monte bravo. Por el contrario, en las masas mixtas de quejigo y encina, es casi un 50% mayor el diámetro promedio de los quejigos frente al de las encinas. Esto se debe al carácter de rebrote de las encinas, que origina numerosos chirpiales de una misma cepa los cuales tienen una gran competencia entre sí, limitando su crecimiento. Como esto no sucede en el quejigo, este puede tener un crecimiento más concentrado en un solo pie y alcanzar mayores diámetros en el mismo intervalo temporal.

La densidad de las masas no sigue en algunos casos un orden lineal lógico. Es decir, en el caso de los pinos, las masas tienen una mayor densidad de pies en estado de latizal que en estado de monte bravo. Este hecho se debe a diferentes condiciones en las masas, no teniendo toda la misma gestión forestal ni puntos de partida similares.

Las masas de pino carrasco en estado de monte bravo tienen su origen en repoblaciones de finales de la década de los 90 y comienzos de los 2000. El marco de plantación es en ocasiones cuadrado (2,5x2,5) y en otras rectangular (2x3), alcanzando densidades que rondan los 1600 pies por hectárea. Por el contrario, las masas de esta especie en estado de latizal tienen un marco de plantación menor, lo cual origina masas con una espesura mayor. Ambas masas no han recibido tratamientos selvícolas aún, por lo que su espesura tan solo ha cambiado en aquellos pies que hayan perecido por causas naturales. En el caso de las masas en estado fustal, éstas sí que han ido teniendo intervenciones de diverso tipo a lo largo de los años, reduciendo su espesura hasta valores de en torno a 1100 pies/ha en el caso del monte muestreado (Plano 4.1). De esta forma y como se verá más adelante, el itinerario selvícola simulado en SIMANFOR deberá ser ajustado a las condiciones actuales de la masa así como a su clase natural de edad.

En el caso de los pinares de laricio, el acontecimiento es el mismo aunque menos marcado. El resultado de espesura en las masas en estado latizal es mayor que en las de estado de monte bravo, estando ambas masas sin recibir tratamientos selvícolas hasta la fecha. Al igual que las masas de carrasco en estado fustal, se ha ido reduciendo la densidad progresivamente hasta  $\approx 1100$  pies/ha.

Tanto en las masas mixtas de encina y quejigo como en las de quejigo y marojo, sí se aprecia un cambio gradual de disminución de la densidad conforme vamos avanzando hacia masas con una clase natural de edad superior. La densidad en algunos casos (principalmente en

las masas de *Quercus ilex* en estado de monte bravo) llega a estar muy disparada hasta alcanzar parcelas con densidades superiores a los 7000 pies/ha. Para alcanzar los resalveos necesarios para su conversión a monte alto, será necesario reducir drásticamente esta densidad. Estas masas, al tener un origen natural y no provenir de repoblaciones, sí que presentan una mayor variabilidad entre parcelas, pues las condiciones edafoclimáticas varían así como la gestión localizada del espacio. Es decir, hay parcelas en las masas mixtas muestreadas en las que eran visibles tocones que indican la presencia de algún tipo de gestión (extracción de leñas seguramente) y hay otras parcelas más inaccesibles en las que no ocurría esto, dando lugar a diferencias de densidad considerables en el mismo muestreo.

La diferencia de ocupación por especies representa la mezcla que presentan ambas quercíneas en cada caso. En el caso de la encina, presenta una mayor densidad en monte bravo respecto a latizal, presentando además esta masa mayor ocupación del quejigo. Tanto es así, que en la primera parcela de muestreo resultó ser más abundante el quejigo que la encina. En la masa mixta de quejigo con encina, la mezcla es muy pequeña y heterogénea, dando lugar a parcelas que no presentan pies de encina y otras en las que la encina representa más del 30%. Seguramente, este porcentaje tan elevado en una parcela se deba a la presencia de varias cepas de encina con numerosos chirpiales en cada una, lo cual provoca la gran abundancia concentrada de pies.

Una vez definidas las características de las masas en cuanto a densidad, diámetro normal y ocupación, se procedió al cálculo de la biomasa total aérea (Montero et al., 2005). Para ello, en el caso de las masas mixtas, se calculó por separado la biomasa total aérea que componía cada especie y posteriormente se sumó, para poder calcular así la biomasa total aérea del rodal

Tabla 5.2.- Parámetros de las masas de muestreo con dos ocupaciones.

			N (pies/ha)	d.n. (cm)	WT (t/ha)
<i>Q.ilex + Q.pyrenaica</i>	O1: <i>Q.ilex</i>	LATIZAL	2144	134,2	141,9
		M.BRAVO	4201	80,4	74,6
	O2: <i>Q.pyrenaica</i>	LATIZAL	528	168,9	52,3
		M.BRAVO	2317	93,1	49,0
<i>Q.faginea + Q.ilex</i>	O1: <i>Q.faginea</i>	LATIZAL	1843	147,9	92,1
	O2: <i>Q.ilex</i>	LATIZAL	568	100,5	17,1

Tabla 5.3.-Parámetros de los montes muestreados.

		T (años)	N (pies/ha)	d.n. (cm)	Ocupación (%)	WT (t/ha)
<i>P.halepensis</i>	FUSTAL	95	1137	20,4	100,00	110,0
	LATIZAL	35	2365	14,3	100,00	104,8
	M.BRAVO	25	1633	9,7	100,00	30,9
<i>Q.ilex + Q.pyrenaica</i>	FUSTAL	60	1246	20,6	100,00	225,7
	LATIZAL	30	2672	14,2	80,10	194,2
	M.BRAVO	15	6518	8,4	65,13	123,6
<i>P.nigra</i>	FUSTAL	50	1065	23,0	100,00	177,5
	LATIZAL	40	2073	15,0	100,00	118,2
	M.BRAVO	30	1933	11,4	100,00	54,8
<i>Q.faginea + Q.ilex</i>	FUSTAL	60	844	27,2	100,00	198,2
	LATIZAL	30	2049	14,4	91,88	98,3
	M.BRAVO					

Observando la Tabla 5.3, podemos afirmar que cuanto mayor es la clase natural de edad, mayor es la biomasa total aérea para todos los casos muestreados. Cabe destacar en el caso del pino carrasco, cómo este valor difiere en tan solo dos toneladas por hectárea si comparamos los estados de fustal y latizal. Esto se debe a la gran densidad que presenta la masa en estado latizal, provocando una biomasa aérea muy elevada para dicha clase natural de edad. El mismo hecho ocurre en las masas de *Pinus nigra* en estado latizal que alcanzan densidades  $\approx 2000$  pies/ha, dando lugar a su vez a grandes valores de biomasa aérea.

Si comparamos las masas en estado fustal de ambos pinos, podemos observar como el pino laricio presenta mucha más biomasa en la misma clase natural de edad, a pesar de tener una densidad ligeramente inferior. Las características productivas de la especie, así como su mayor diámetro normal, explican este hecho.

Una vez calculada la biomasa total para cada parcela de cada monte muestreado, se realizó el análisis estadístico del muestreo para ver la exactitud de este (Tabla 5.4).

Tabla 5.4.- Resultados estadísticos del muestreo.

DATOS DE CAMPO PARA CÁLCULO DE INTENSIDAD DE MUESTREO												
Especie principal	<i>P. halepensis</i>			<i>Q. ilex</i>			<i>P. nigra</i>			<i>Q. faginea</i>		
	Fustal	Latizal	Monte bravo	Fustal	Latizal	Monte bravo	Fustal	Latizal	Monte bravo	Fustal	Latizal	Monte bravo
Superficie rodal (ha)	17,9	10,9	26,2	125,8	38,9	16,1	10,1	54,7	27,3	2,2	96,1	-
Nº parcelas máximas (N)	570	709	1704	8171	2527	1046	659	3556	1776	146	6242	-
Nº parcelas muestreadas (n)	7	5	7	11	8	3	5	12	8	2	11	-
Tipo de población (1 – f)	0,988	0,993	0,996	0,999	0,997	0,997	0,992	0,997	0,995	0,986	0,998	-
Media (t/parcela)	109,9	104,8	30,9	225,7	194,2	123,6	177,4	118,2	54,8	198,1	98,3	-
Desviación típica (t/parcela)	33,0	11,0	4,7	56,3	30,8	22,5	24,0	18,5	8,9	4,1	16,5	-
Intensidad de muestreo	4,7	0,6	1,2	2,9	1,3	3,0	1,1	1,1	1,3	0,1	1,3	-

Como se puede apreciar en la Tabla 5.4 la intensidad de muestreo realizada fue superior a la estadísticamente necesaria, con lo cual se dieron por válidos los datos obtenidos y se procedió con el estudio.

## ii. Estimación de la biomasa potencial

Tras la estimación de la biomasa actual, se procedió al cálculo de la biomasa potencial en los municipios de estudio. Esta caracterización de la biomasa potencial se realizó tanto mediante el cálculo del Incremento Anual del Volumen con Corteza (IAVC) de las Supertarifas Forestales de Navarra, así como mediante el simulador SIMANFOR y la selvicultura propuesta para cada especie y clase natural de edad.

### CARACTERIZACIÓN MEDIANTE LAS SUPERTARIFAS FORESTALES DE NAVARRA

Como se puede observar en la tabla los valores de IAVC calculados se transformaron a valores de incremento anual de biomasa con corteza (IAWC) a través de las densidades ( $\text{g/cm}^3$ ) expuestas en la Tabla 4.2, Tabla 4.4 y Tabla 4.6. Como se puede observar en la tabla los valores de IAVC ( $\text{dm}^3/\text{pie}\cdot\text{año}$ ) son superiores para las coníferas respecto a las frondosas para cualquier clase natural de edad. Como era previsible, esto es así debido a la mayor velocidad de crecimiento de los pinos. Estas diferencias en el desarrollo se deben a las diferencias estratégicas tanto ecológicas como fisiológicas entre ambas familias de especies. Por un lado, los pinos (*Pinus* spp.) son especies pioneras en la sucesión ecológica, adaptadas a la colonización de áreas abiertas o perturbadas gracias a su capacidad de germinar y crecer en suelos pobres, con alta tolerancia a la luz directa y menor demanda hídrica. Por otro lado, los robles (*Quercus* spp.) suelen ser especies de clímax, caracterizados por tener un crecimiento más lento así como mayores requerimientos de nutrientes y sombra, características que le permiten establecerse en etapas más avanzadas de la sucesión ecológica.

Tabla 5.5.- Resultados totales de IAVC e IAWC.

		IAVC (m <sup>3</sup> /ha*año)	IAWT (t/ha*año)	Superficie (ha)	IAVC (m <sup>3</sup> /año)	IAWT (t/año)
<i>P.HALEPENSIS</i>	FUSTAL	4,7	2,6	133,0	623,7	367,9
	LATIZAL	4,3	2,3	157,7	671,3	378,4
	M.BRAVO	0,8	0,4	1591,1	1249,4	684,7
<i>Q.ILEX + Q.PYRENAICA</i>	FUSTAL	2,8	2,8	1123,3	3131,4	3131,4
	LATIZAL	3,2	3,2	861,0	2744,9	2744,9
	M.BRAVO	3,1	3,1	16,1	50,1	50,1
<i>P.NIGRA</i>	FUSTAL	3,5	2,0	226,9	783,0	451,0
	LATIZAL	6,1	3,5	281,5	1708,2	983,9
	M.BRAVO	1,5	0,9	100,3	155,2	89,4
<i>Q.FAGINEA + Q.ILEX</i>	FUSTAL	2,7	2,7	5,1	14,0	14,0
	LATIZAL	2,8	2,8	577,7	1592,9	1592,9
	M.BRAVO	-	-	-	-	-
TOTAL		35,5	26,3	5073,7	12743,4	10462,5

En total en la superficie de estudio, se estima un incremento de la biomasa anual superior a las 10.000 toneladas de madera (Tabla 5.5), incluyendo las 4 especies principales y las especies de segunda ocupación (en los casos de masas mixtas).

Analizando más profundamente los resultados obtenidos, observamos como la encina, a pesar de representar una superficie similar a la del pino carrasco (2011,2 ha frente a las 2204,6 ha del pino carrasco, Tabla 4.1), alcanza un valor para el IAVC (m<sup>3</sup>/año) de más del doble (2563,7 m<sup>3</sup>/año del pino carrasco frente a las 5926,4 m<sup>3</sup>/año de la encina). Esta gran diferencia entre las dos principales especies en la zona de estudio se debe a que más del 85% de la superficie de pino carrasco en la zona se encuentra en los estados de repoblado y monte bravo (14,6% y 72,2% respectivamente), mientras que más del 98,7 % de la superficie de encina en la zona de estudio se encuentra en los estados de latizal y fustal (42,8% y 55,9% respectivamente). Como la encina se encuentra en la zona de estudio en clases naturales edades más avanzadas que el pino carrasco, a pesar de tener un crecimiento anual menor, sus IAVC son superiores a los de éste.

Comparando nuevamente al pino carrasco pero esta vez con el pino laricio, observamos incrementos anuales de volumen con corteza similares (2563,7 m<sup>3</sup>/año y 2646,4 m<sup>3</sup>/año respectivamente), lo cual resalta al comparar la representación por superficie (33,7% frente a 13,4%). Esta gran diferencia en el IAVC respecto a la superficie es debido al mayor IAVC (dm<sup>3</sup>/pie\*año) del pino laricio, siendo mayor respecto del pino carrasco en casi un 190% en la clase natural de edad de fustal, de casi un 160% mayor en latizal y del 250% en monte bravo. El pino laricio en estado fustal destaca por ser el monte que mayores IAVC (dm<sup>3</sup>/pie\*año) presenta, seguido del pino carrasco en estado fustal y la encina en estado fustal, respectivamente. Por el contrario, la masa que presenta un menor IAVC (dm<sup>3</sup>/pie\*año) es la masa de encina en estado de monte bravo, dado el lento crecimiento de la especie así como su pequeño d.n. (80,39 cm).

En el estudio de la Tabla 5.5 cabe destacar también como la masa más densa (*Quercus ilex* en monte bravo con 6.517,7 pies/ha) es la masa penúltima en lo que a IAVC (m<sup>3</sup>/año) respecta, debido a su pequeña superficie.

Tabla 5.6.- Biomasa existente en pie expresada en kilotonnes (Kt; 1 kilotón equivales a 10<sup>3</sup> toneladas) en la zona de estudio.

BIOMASA EXISTENTE EN PIE (Kt)			
	Total	Género (%)	Especie %
<i>P.halepensis</i>	80,36	24,63	12,61
<i>P.nigra</i>	76,64		12,02
<i>Q.ilex</i> + <i>Q.pyrenaica</i>	422,71	75,37	66,31
<i>Q.faginea</i> + <i>Q.ilex</i>	57,81		9,07
TOTAL	637,52	100,00	100,00

Analizando la Tabla 5.6 podemos observar cómo más de tres cuartos de la biomasa en pie existente en el proyecto (expresada en kilotonos, Kt) es aportada por las frondosas consideradas (encina y quejigo), correspondiéndose ésta principalmente con la encina, que representa más de dos tercios de la biomasa en pie existente en el proyecto. Por orden de importancia, y muy distantes de la encina, se encuentran ambas coníferas (pino carrasco y laricio), que representan algo más de un 12% de la biomasa en pie cada una, siendo muy parejas. Algo menor es la biomasa en pie representada por el quejigo, siendo esta algo superior al 9%. De esta tabla, se concluye la gran importancia actual de la encina en la zona de estudio, siendo con mucha diferencia la especie más abundante en cuanto a biomasa en pie.

Cabe destacar la diferencia de biomasa en pie (Tabla 5.6) con la superficie en la zona de estudio (Figura 4.1), pues se presentan grandes diferencias. El pino carrasco, que es la especie de mayor representación por superficie (33,67%), representa tan sólo el 12,61% de la biomasa en pie. La encina, segunda en el ranking de representación por superficie (30,72%), representa en cambio más del 66% de la biomasa en pie.

Las otras dos especies, por el contrario no presentan tanta diferencia, pues el pino laricio representa el 13,42% de la superficie y el 12,02% de la biomasa en pie, y el quejigo por su parte el 8,90% de la superficie y el 9,07% de la biomasa en pie.

Tabla 5.7.- Incremento anual de biomasa (t/año) en la zona de estudio.

	IAW total en el proyecto (t/año)		
	Total	Género (%)	Especie %
<i>P.halepensis</i>	1.394,38	27,93	13,34
<i>P.nigra</i>	1.524,35		14,58
<i>Q.ilex + Q.pyrenaica</i>	5.926,41	72,07	56,70
<i>Q.faginea + Q.ilex</i>	1.606,87		15,37
TOTAL	10.452,02	100,00	100,00

En la Tabla 5.7 se puede observar la representación por especie del incremento anual de biomasa en la zona de estudio, expresado en toneladas anuales. En comparación con los valores de biomasa en pie (Tabla 5.6), podemos observar como las coníferas presentan un decrecimiento en su representación, en beneficio de las coníferas. Como se explicó en apartados anteriores, el mayor crecimiento y desarrollo de las coníferas respecto de las frondosas explica este suceso.

En total, se estima un valor de biomasa en pie superior a los 600 kilotonnes en la superficie de estudio, o lo que es lo mismo, más de 600 millones de kilogramos de madera. Realizando la suma de todas las superficies comprendidas por las cuatro especies principales (pino carrasco, pino laricio, encina y quejigo) en las clases naturales de edad consideradas (monte bravo, latizal y fustal) se estima un incremento anual del volumen con corteza (IAVC) de más de 12.000 m<sup>3</sup> anuales, lo que se corresponde con un incremento anual de biomasa superior a las 10.000 toneladas.

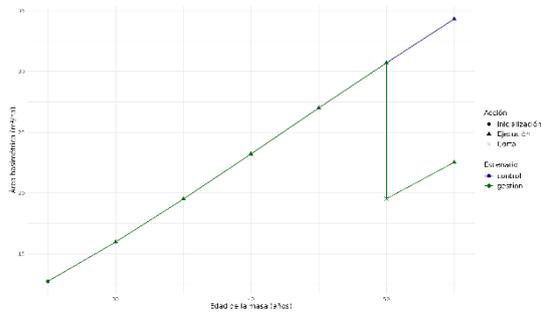
#### CARACTERIZACIÓN MEDIANTE SIMANFOR

En el caso de SIMANFOR, se propusieron una serie de itinerarios selvícolas en función de cada especie. Cada uno de estos itinerarios se ajustó a las necesidades reales de las masas, obteniendo de tal forma resultados de los tratamientos selvícolas para cada especie y clase natural de edad.

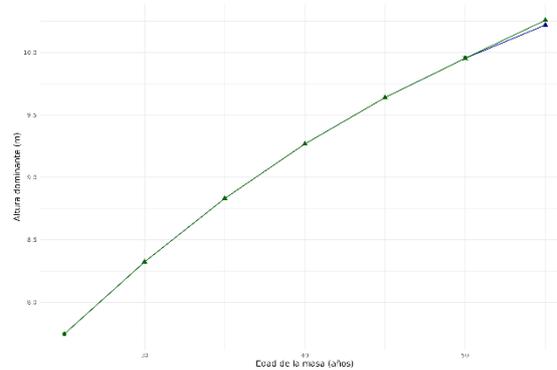
## PINO CARRASCO

Para el caso de *Pinus halepensis* en monte bravo se obtuvieron los siguientes resultados

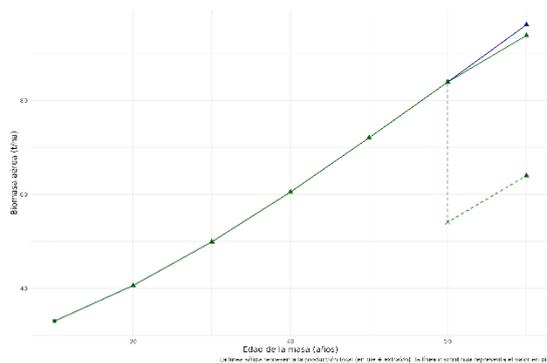
### Área basimétrica



### Altura dominante



### Biomasa aérea



### Resumen biomasa aérea tras 30 años de simulación:

- Acumulada en monte sin gestión: 96,1 t/ha
- Acumulada en monte con gestión: 93,8 t/ha
- Extraída mediante gestión: 19,9 t/ha

La masa parte de una  $G < 10 \text{ m}^2/\text{ha}$ , presentando un gran crecimiento hasta un  $G > 30 \text{ m}^2/\text{ha}$  en el año 50, año en el que se realiza el primer claro. En este claro se reduce la  $G < 20 \text{ m}^2/\text{ha}$ , presentando un posterior crecimiento hasta el final de la simulación.

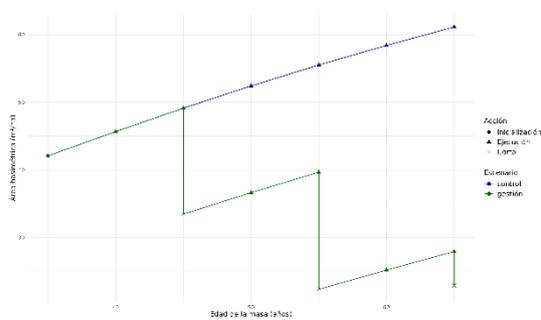
La evolución de la altura dominante refleja como la gestión favorece a este parámetro selvícola al retirar de la masa los pies peor conformados y dominados en la masa, reduciendo la competencia de los restantes y favoreciendo su crecimiento en altura.

En cuanto a la biomasa aérea, se inicia la simulación con un valor superior a las 30 t/ha, presentando un crecimiento hasta superar las 80 t/ha a los 50 años. En este año y tras el primer

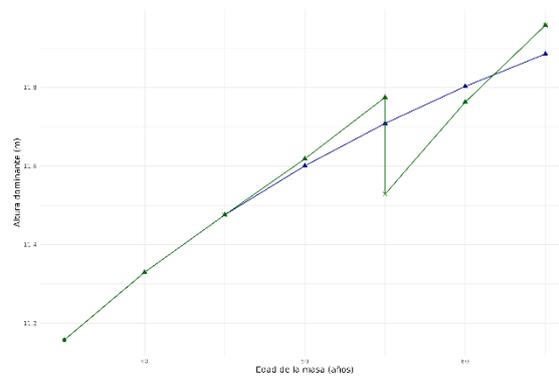
clareo, se reduce este valor a algo más de 50 t/ha. En total durante el período de simulación, la biomasa extraída es de 19,9 t/ha.

Para el caso de *Pinus halepensis* en latizal se obtuvieron los siguientes resultados

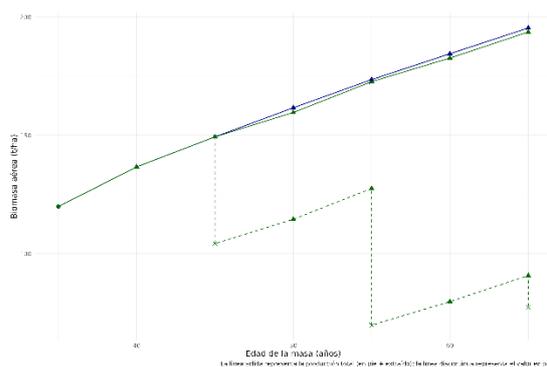
### Área basimétrica



### Altura dominante



### Biomasa aérea



Resumen biomasa aérea tras 30 años de simulación:

- Acumulada en monte sin gestión: 195,4 t/ha
- Acumulada en monte con gestión: 193,7 t/ha
- Extraída mediante gestión: 106,2 t/ha

La masa parte de una  $G > 40 \text{ m}^2/\text{ha}$ , ascendiendo en este valor hasta un valor de  $G$  próximo a  $50 \text{ m}^2/\text{ha}$  en el año 45, año en el que se realiza el primer clareo. En este clareo se reduce la  $G < 35 \text{ m}^2/\text{ha}$ , presentando un posterior crecimiento hasta casi  $40 \text{ m}^2/\text{ha}$ , donde tras la segunda clara se ve reducido nuevamente a valores de  $G > 20 \text{ m}^2/\text{ha}$ . Tras la siguiente proyección, la  $G$  alcanza casi los  $30 \text{ m}^2/\text{ha}$ , reduciéndose en la última clara a una  $G < 25 \text{ m}^2/\text{ha}$ . En el escenario control en cambio, el crecimiento de la masa dispararía el valor de  $G > 60 \text{ m}^2/\text{ha}$ .

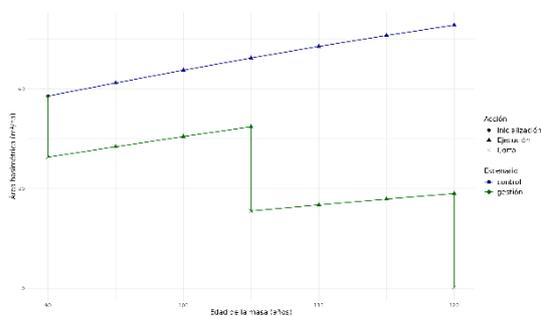
La evolución de la altura dominante refleja como la gestión favorece el parámetro selvícola al retirar de la masa los pies peor conformados y dominados en la masa. Tras la segunda clara, se reduce la  $H_o \approx 11,5 \text{ m}$ , siendo en este momento mayor la  $H_o$  en el escenario

de control que en el de gestión. Al final de la simulación, la Ho es mayor en el escenario de gestión, tras presentar esta un crecimiento superior al reducir la competencia.

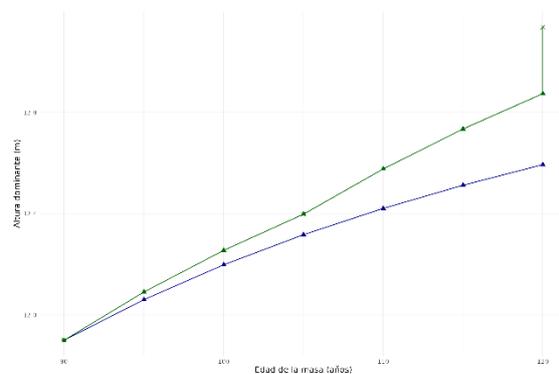
En cuanto a la biomasa aérea, se inicia la simulación con un valor algo inferior a las 125 t/ha, presentando un crecimiento hasta alcanzar casi las 150 t/ha a los 50 años. En este año y tras el primer clareo, se reduce este valor a algo más de 100 t/ha. Previamente a la clara posterior la biomasa alcanza un valor de biomasa aérea >125 t/ha, viéndose reducida a un valor >75 t/ha tras la misma. En la siguiente corta, el valor es <100t/ha antes de la ejecución y >75 después de ejecutarla. En total durante el período de simulación, la biomasa extraída es de 106,2 t/ha.

Para el caso de *Pinus halepensis* en fustal se obtuvieron los siguientes resultados

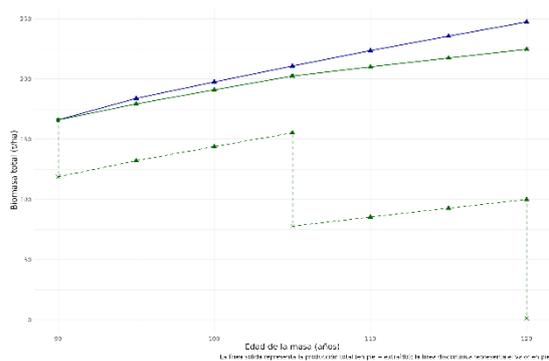
### Área basimétrica



### Altura dominante



### Biomasa aérea



### Resumen biomasa aérea tras 30 años de simulación:

- Acumulada en monte sin gestión:  
194,7 t/ha
- Acumulada en monte con gestión:  
176,6 t/ha
- Extraída mediante gestión: 175,5 t/ha

La masa parte de una  $G < 40 \text{ m}^2/\text{ha}$  rediciéndose a un valor  $> 25 \text{ m}^2/\text{ha}$  tras el primer clareo en el año 0. La masa experimenta un crecimiento hasta superar los  $30 \text{ m}^2/\text{ha}$ , y se reduce en la segunda clara a  $G > 15 \text{ m}^2/\text{ha}$  en el año 105. En este año, con una  $N < 300 \text{ pies/ha}$ , se intenta la regeneración del rodal mediante árboles semillero, a pesar de que la fructificación a estas

edades es limitada, pues autores aseguran que las fructificaciones abundantes de *Pinus halepensis* se mantienen hasta los 70-80 años (O.N.F., 1992). Tras la simulación hasta los 120 años aumenta la G hasta algo menos de 20 m<sup>2</sup>/ha, donde en la corta final se extraen todos los pies, manteniendo todo el regenerado en caso de que lo hubiera, o en su defecto realizando una posterior plantación en su lugar.

La evolución de la altura dominante refleja como la gestión favorece el parámetro selvícola al retirar de la masa los pies peor conformados y dominados en la masa. Este cambio es especialmente visible tras la corta por lo bajo a los 105 años, donde la escasa densidad se centra en los mejores pies del rodal. La gráfica presenta un error en el año 120 ya que representa un valor de Ho superior a 13 metros tras la eliminación de todos los pies del rodal.

En cuanto a la biomasa aérea, se inicia la simulación con un valor algo inferior a las 175 t/ha, reduciéndose a menos de 100 tras la primera corta en el año 0. Hasta el año 105 este valor asciende a casi 125 t/ha, y se ve reducido nuevamente en la corta de ese año a  $\approx$  65 t/ha. En el año 120 el valor de la biomasa aérea es de 81 t/ha, lo que coincide con el valor de la última extracción al retirarse todos los pies del rodal. En total durante el período de simulación, la biomasa extraída es de 175,5 t/ha.

Tabla 5.8.- Extracciones totales de biomasa para pino carrasco por clase natural de edad en 30 años de simulación según SIMANFOR.

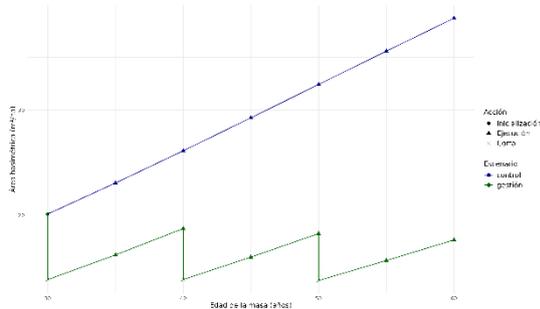
		Superficie (ha)	Extracción total (t/ha)	Extracción total (t)	Extracción anual (t/año)
<i>P.halepensis</i>	FUSTAL	132,9	19,9	2.644,7	88,2
	LATIZAL	157,7	106,2	16.747,7	558,3
	M.BRAVO	1951,2	175,5	342.435,6	11.414,5
			Total:	361.828,0	12.060,9

Si la gestión selvícola se lleva a cabo tal y como se ha planteado, según SIMANFOR la extracción total de biomasa para el pino carrasco en la zona de estudio asciende a un total de 361.828,0 toneladas en 30 años de simulación. Realizando una división entre los 30 años de simulación, se obtiene un valor de aporte de biomasa a la hipotética central de transformación de la biomasa de 12.060,9 toneladas anuales de madera de pino carrasco.

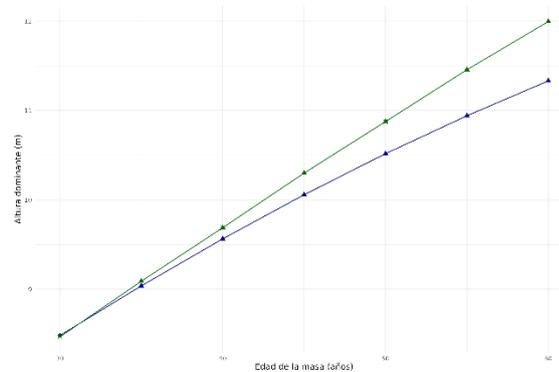
## PINO LARICIO

Para el caso de *Pinus nigra* en monte bravo se obtuvieron los siguientes resultados

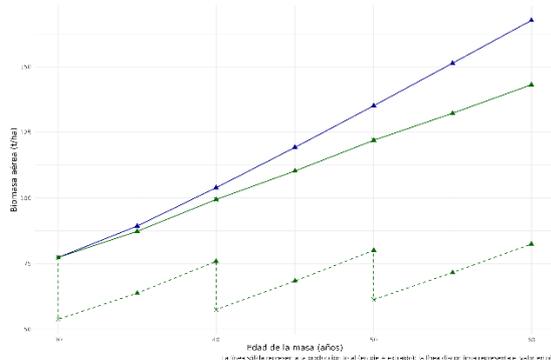
### Área basimétrica



### Altura dominante



### Biomasa aérea



Resumen biomasa aérea tras 30 años de simulación:

- Acumulada en monte sin gestión: 167,7 t/ha
- Acumulada en monte con gestión: 82,5 t/ha
- Extraída mediante gestión: 58,6 t/ha

La masa parte de una G de 20 m<sup>2</sup>/ha, presentando una evolución en forma de dientes de sierra (línea amarilla), típica en los montes gestionados. Tras cada actuación, al área basimétrica se reduce a valores algo inferiores a 10 m<sup>2</sup>/ha, recuperando valores cercanos a los 20 m<sup>2</sup>/ha antes de la nueva corta. En comparativa con el escenario sin gestión (línea morada) se aprecia como en este caso el crecimiento es sostenido e ininterrumpido en el tiempo, alcanzando valores cercanos a 40 m<sup>2</sup>/ha tras los 30 años de simulación.

La evolución de la altura dominante durante la simulación refleja como la gestión favorece el crecimiento de la masa, siendo superior el crecimiento en altura de la masa con gestión selvícola respecto al escenario control sin gestión.

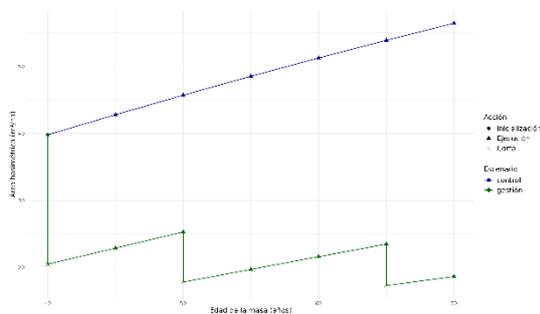
En la tabla se aprecia como la mayor acumulación total de biomasa aérea se produce en el escenario sin gestión frente al gestionado, debido a la extracción de pies a lo largo del tiempo.

Los valores de biomasa en el escenario de gestión se mantienen siguiendo el característico desarrollo en dientes de sierra, rondando valores de 75 t/ha en momentos previos a las cortas y reduciendo este valor a menos de 50 t/ha después de éstas, teniendo extracciones continuas de madera en el tiempo.

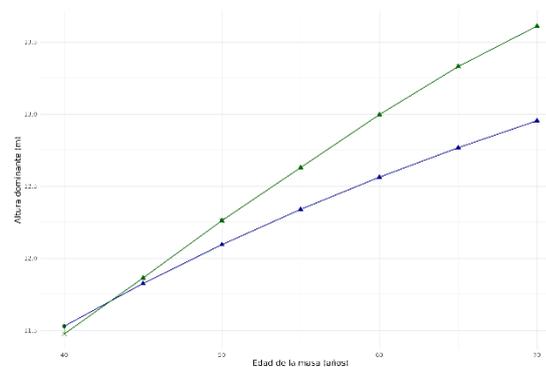
Las tres cortas realizadas en los 30 años de simulación en la masa suponen una biomasa extraída de 21,5 t/ha, 18,3 t/ha, y 18,8 t/ha, respectivamente. Entre las tres, suman un total de 58,6 t extraídas para el periodo de 30 años de simulación.

Para el caso de *Pinus nigra* en latizal se obtuvieron los siguientes resultados:

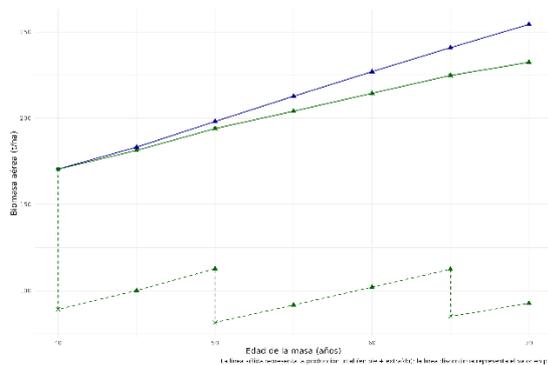
### Área basimétrica



### Altura dominante



### Biomasa aérea



Resumen biomasa aérea tras 30 años de simulación:

- Acumulada en monte sin gestión: 254,4 t/ha
- Acumulada en monte con gestión: 232,4 t/ha
- Extraída mediante gestión: 128,8 t/ha

Se inicia la simulación partiendo de un valor de  $G \approx 40 \text{ m}^2/\text{ha}$ , realizando una corta para disminuir esta densidad a algo menos de  $25 \text{ m}^2/\text{ha}$ . Posteriormente, se realizan las claras al alcanzar densidades de  $25 \text{ m}^2/\text{ha}$ , reduciéndose este valor a menos de  $20 \text{ m}^2/\text{ha}$  después de cada actuación.

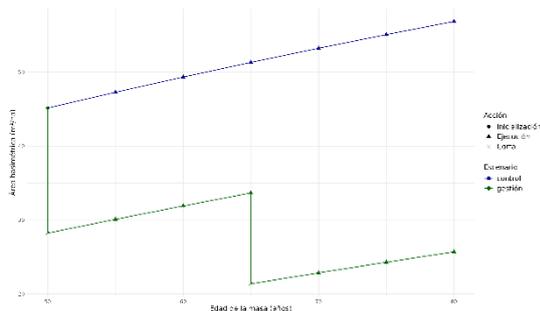
La evolución de la altura dominante durante la simulación refleja como la gestión favorece el crecimiento de la masa, siendo superior el crecimiento en altura en la masa con gestión selvícola respecto al escenario control sin gestión.

Al inicio de la simulación se parte con un valor de biomasa aérea  $\approx 175$  t/ha, el cual es excesivamente elevado, tras la primera clara se reduce en el año 0 de la simulación a un valor algo superior a 100 t/ha. Posteriormente, las claras oscilan en valores de biomasa aérea de 110 t/ha antes de las cortas y valores algo superiores a 80 t/ha después de las mismas.

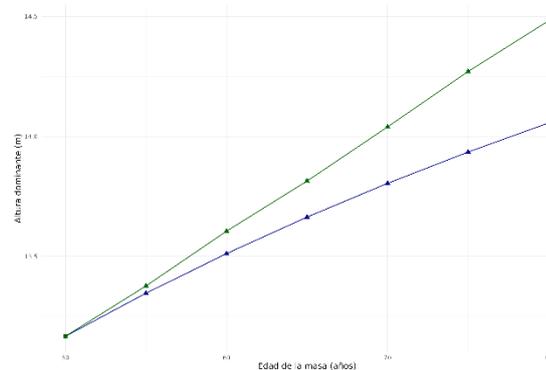
En este caso, las cortas tienen unos valores de 70,4 t/ha, 31,1 t/ha y 27,3 t/ha, respectivamente. Estos valores tan elevados se deben a la gran cantidad de biomasa en pie existente en el rodal, debido a la gran densidad del mismo y a su inexistente gestión hasta la fecha. En total, las tres cortas suponen un total de 128,8 toneladas por hectárea en 30 años de simulación.

Para el caso de *Pinus nigra* en estado fustal se obtuvieron los siguientes resultados:

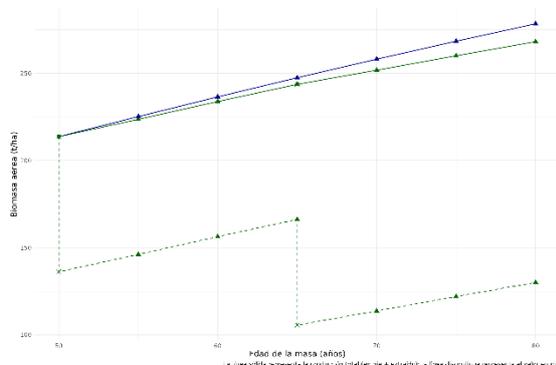
### Área basimétrica



### Altura dominante



### Biomasa aérea



Resumen biomasa aérea tras 30 años de simulación:

- Acumulada en monte sin gestión: 278,5 t/ha
- Acumulada en monte con gestión: 268,2 t/ha
- Extraída mediante gestión: 138,2 t/ha

Partiendo de una  $G \approx 45 \text{ m}^2/\text{ha}$ , se reduce en una primera corta esta densidad a un valor inferior a  $30 \text{ m}^2/\text{ha}$ . Posteriormente tras el crecimiento de la masa el  $G$  alcanza valores próximos a  $35 \text{ m}^2/\text{ha}$  antes de la siguiente corta, que se reducen a casi  $20 \text{ m}^2/\text{ha}$  tras la actuación selvícola. En caso de no realizar gestión el  $G$  alcanzaría valores superiores a  $55 \text{ m}^2/\text{ha}$ , hasta llegar al colapso de la masa.

La evolución de la altura dominante durante la simulación refleja como la gestión favorece el crecimiento de la masa, siendo superior el crecimiento en altura en la masa con gestión selvícola respecto al escenario control sin gestión.

Se parte de una situación inicial en la cual la biomasa aérea es superior a las  $210 \text{ t/ha}$ . Tras la primera actuación selvícola, se reduce este valor hasta  $136,2 \text{ t/ha}$ . El crecimiento posterior del rodal alcanza más de  $150 \text{ t/ha}$  nuevamente previa extracción, la cual reduce la biomasa aérea de la masa a casi  $100 \text{ t/ha}$ . De esta forma y con dos cortas a los 50 y 65 años de la masa, la biomasa aérea en pie al final de la simulación sería superior a las  $125 \text{ t/ha}$ .

En el escenario de no gestión la masa presenta un crecimiento desde las  $213 \text{ t/ha}$  a los 50 años hasta las  $278,5 \text{ t/ha}$  a los 80. En cambio, en el escenario de gestión selvícola propuesto se realizan dos claras en ese lapso temporal (la primera a los 50 años, extrayendo  $77,5 \text{ t/ha}$ , y la segunda a los 65 años, extrayendo  $60,7 \text{ t/ha}$ ), sumando un total de  $138,2 \text{ t/ha}$  extraídas en un espacio temporal de 30 años de simulación.

Tabla 5.9.- Extracciones totales de biomasa para pino laricio por clase natural de edad en 30 años de simulación según SIMANFOR.

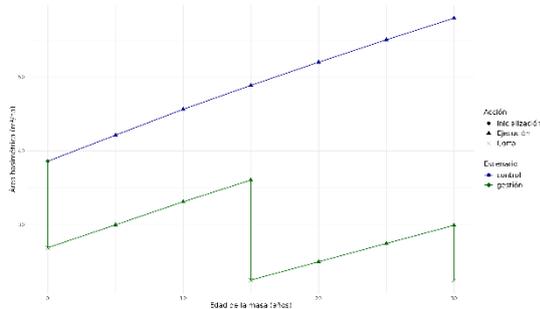
		Superficie (ha)	Extracción total (t/ha)	Extracción total (t)	Extracción anual (t/año)
<i>P.nigra</i>	FUSTAL	226,9	138,2	31.357,6	1.045,3
	LATIZAL	281,5	128,8	36.257,2	1.208,6
	M.BRAVO	100,3	58,6	5.877,6	195,9
			Total:	73.492,4	2.449,7

Si la gestión selvícola se lleva a cabo tal y como se ha planteado, según SIMANFOR la extracción total de biomasa para el pino laricio en la zona de estudio asciende a un total de  $73.492,4$  toneladas en 30 años de simulación. Realizando una división entre los 30 años de simulación, se obtiene un valor de aporte de biomasa a la hipotética central de transformación de la biomasa de  $2.449,7$  toneladas anuales de madera de pino laricio.

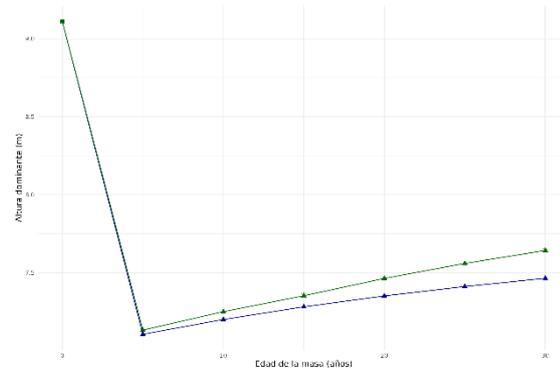
## CARRASCA

Para el caso de *Quercus ilex* en monte bravo se obtuvieron los siguientes resultados:

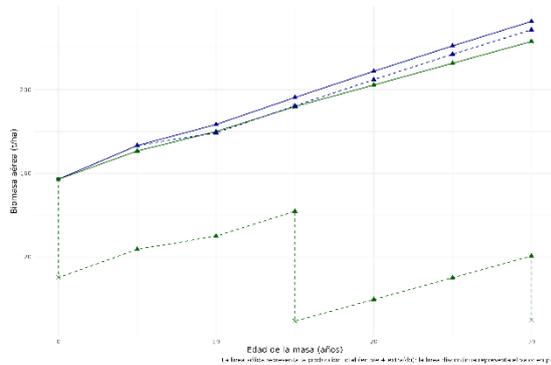
### Área basimétrica



### Altura dominante



### Biomasa aérea



Resumen biomasa aérea tras 30 años de simulación:

- Acumulada en monte sin gestión: 232,7 t/ha
- Acumulada en monte con gestión: 223,1 t/ha
- Extraída mediante gestión: 130,4 t/ha

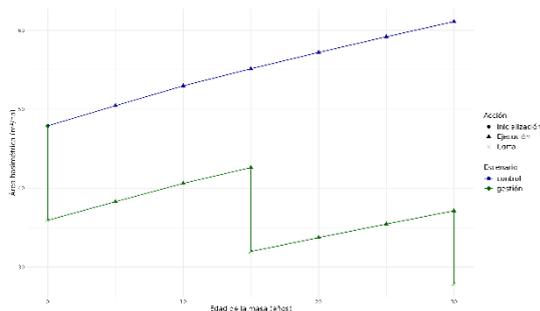
Se inicia la simulación partiendo de un valor de  $G \approx 40 \text{ m}^2/\text{ha}$ , realizando una corta para disminuir esta densidad a algo más de  $25 \text{ m}^2/\text{ha}$ . Posteriormente, se realiza una clara al alcanzar  $>35 \text{ m}^2/\text{ha}$  a los 15 años, reduciéndose este valor a  $<25 \text{ m}^2/\text{ha}$  tras esta segunda corta. Al alcanzar la masa un valor  $\approx 30 \text{ m}^2/\text{ha}$  a los 30 años se realiza la última corta de la simulación y se reduce el valor de área basimétrica a  $<25 \text{ m}^2/\text{ha}$ .

En el caso de la altura dominante, los tamaños del arbolado del inventario inicial se han salido del rango de valores para los que fue ajustado el modelo utilizado mediante SIMANFOR, por lo que los resultados han sido erróneos y poco informativos. Estas casuísticas son frecuentes, y se deben a que las condiciones (en este caso referentes al tamaño del árbol) de nuestro caso de estudio no han sido incluidas en el ajuste del modelo y, por tanto, su funcionamiento queda en entredicho. Este resultado provoca que las estimaciones de biomasa

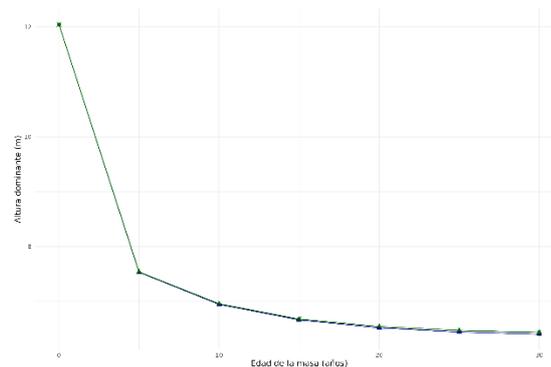
sean también erróneas, dado que en el cálculo de la biomasa intervienen la altura y el diámetro normal de los árboles, propagando así el error del cálculo de la altura a la biomasa. Por este motivo, la simulación realizada con SIMANFOR ha sido desechada y se han utilizados las Supertarifas Forestales de Navarra, cuyos resultados se han mostrado anteriormente, para estimar la biomasa potencial de las masas de monte bajo de carrasca.

Para el caso de *Quercus ilex* en latizal se obtuvieron los siguientes resultados:

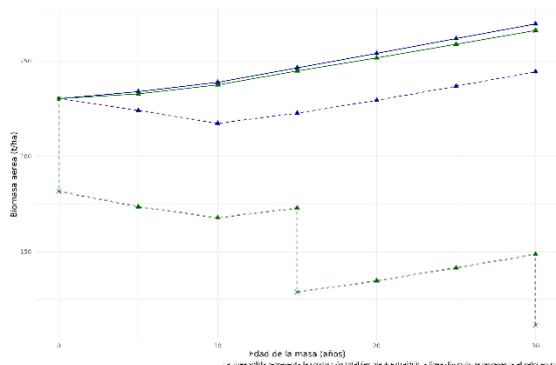
### Área basimétrica



### Altura dominante



### Biomasa aérea



Resumen biomasa aérea tras 30 años de simulación:

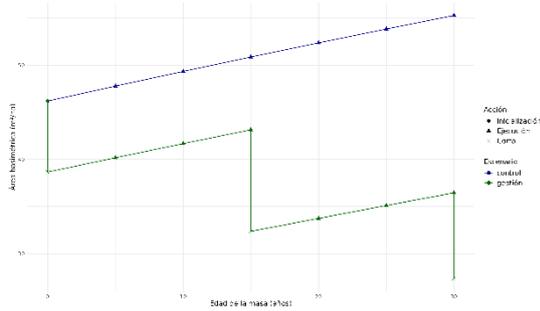
- Acumulada en monte sin gestión: 269,4 t/ha
- Acumulada en monte con gestión: 265,9 t/ha
- Extraída mediante gestión: 143,7 t/ha

Se inicia la simulación partiendo de un valor de  $G \approx 45-50 \text{ m}^2/\text{ha}$ , realizando una corta para disminuir esta densidad a algo más de  $35 \text{ m}^2/\text{ha}$  en el año 0. Posteriormente, se realiza una clara al alcanzar  $>40 \text{ m}^2/\text{ha}$  a los 15 años, reduciéndose a algo más de  $30 \text{ m}^2/\text{ha}$ . En la tercera y última corta del periodo simulado, se reduce el  $G$  de algo más de  $35 \text{ m}^2/\text{ha}$  a  $<30 \text{ m}^2/\text{ha}$ .

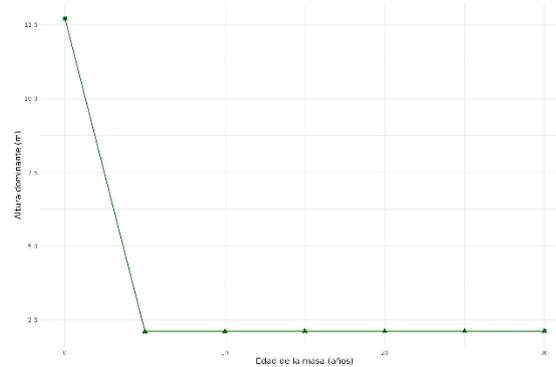
Tanto para el modelado de la altura dominante como para la biomasa aérea total los valores se salen de los rangos de las ecuaciones, por lo que sus resultados son erróneos.

Para el caso de *Quercus ilex* en fustal se obtuvieron los siguientes resultados:

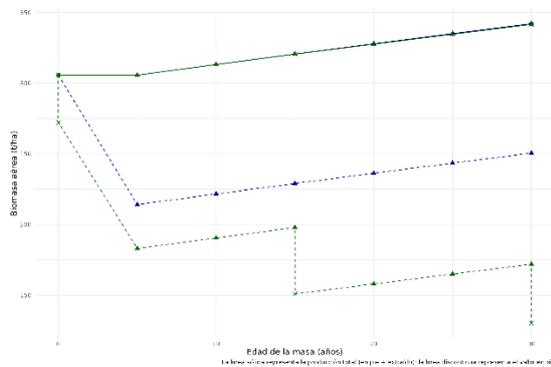
### Área basimétrica



### Altura dominante



### Biomasa aérea



Resumen biomasa aérea tras 30 años de simulación:

- Acumulada en monte sin gestión: 342,1 t/ha
- Acumulada en monte con gestión: 341,5 t/ha
- Extraída mediante gestión: 211,5 t/ha

Se inicia la simulación partiendo de un valor de  $G \approx 45-50 \text{ m}^2/\text{ha}$ , realizando una corta para disminuir esta densidad a algo menos de  $30 \text{ m}^2/\text{ha}$  en el año 0. Posteriormente, se realiza una clara al alcanzar  $>40 \text{ m}^2/\text{ha}$  a los 15 años, reduciéndose a algo más de  $30 \text{ m}^2/\text{ha}$ . En la tercera y última corta del periodo simulado, se reduce el  $G$  de algo más de  $35 \text{ m}^2/\text{ha}$  a  $<30 \text{ m}^2/\text{ha}$ .

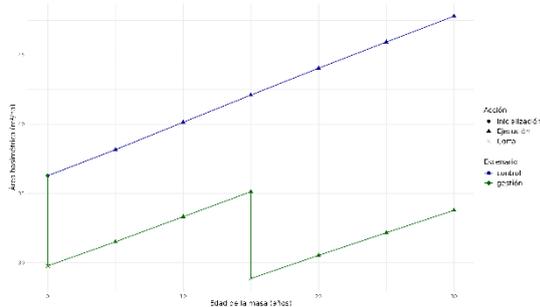
Tanto para el modelado de la altura dominante como para la biomasa aérea total los valores se salen de los rangos de las ecuaciones, por lo que sus resultados son erróneos.

Las simulaciones de SIMANFOR en carrasca no han resultado satisfactorias para los tres montes muestreados, dado que ofrecen valores de biomasa aérea erróneos, por tanto la estimación de biomasa potencial se valorará en función del incremento anual de biomasa calculado mediante las Supertarifas Forestales de Navarra.

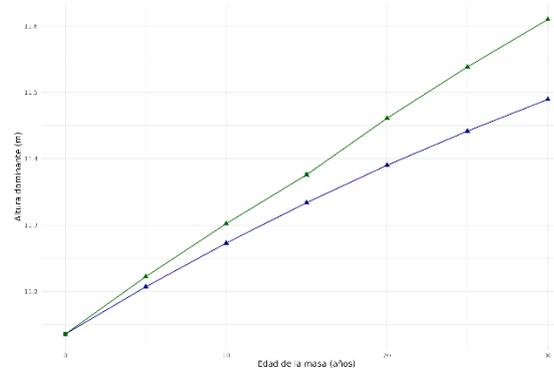
## QUEJIGO

Para el caso de *Quercus faginea* en latizal se obtuvieron los siguientes resultados:

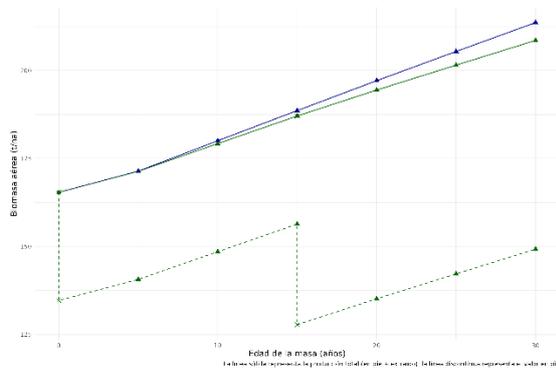
### Área basimétrica



### Altura dominante



### Biomasa aérea



Resumen biomasa aérea tras 30 años de simulación:

- Acumulada en monte sin gestión: 213,6 t/ha
- Acumulada en monte con gestión: 208,6 t/ha
- Extraída mediante gestión: 59,4 t/ha

Se inicia la simulación partiendo de un valor de  $G > 35 \text{ m}^2/\text{ha}$ , realizando una corta para disminuir esta densidad a algo menos de  $30 \text{ m}^2/\text{ha}$  en el año 0. Posteriormente, se realiza una clara al alcanzar  $>35 \text{ m}^2/\text{ha}$  a los 15 años, reduciéndose a algo más de  $30 \text{ m}^2/\text{ha}$ . Al final del periodo simulado, aumenta el  $G$  a casi  $35 \text{ m}^2/\text{ha}$ .

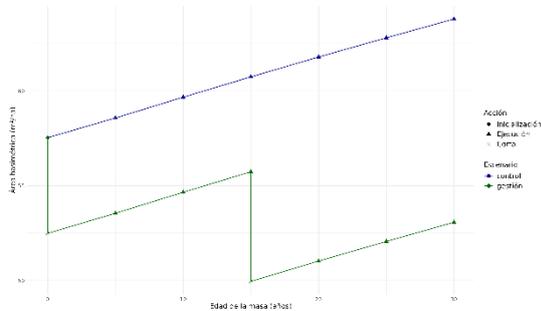
La evolución de la altura dominante durante la simulación refleja como la gestión favorece el crecimiento de la masa, siendo superior el crecimiento en altura en la masa con gestión selvícola respecto al escenario control sin gestión.

La biomasa aérea parte de un valor  $> 160 \text{ t/ha}$  y tras la primera clara en el año 0 se reduce a  $< 140 \text{ t/ha}$ . Tras su crecimiento hasta superar las  $150 \text{ t/ha}$  en el año 15, se realiza una segunda corta hasta reducir este valor  $\approx 125 \text{ t/ha}$ . Al final del periodo simulado, la masa presenta

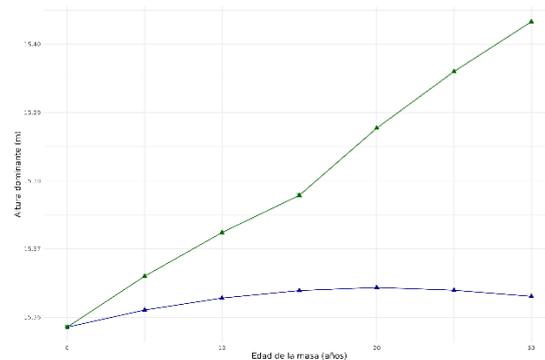
casi 150 t/ha de biomasa aérea. En total del periodo de 30 años simulados, el valor de biomasa aérea extraída asciende a 59,4 t/ha.

Para el caso de *Quercus faginea* en fustal se obtuvieron los siguientes resultados:

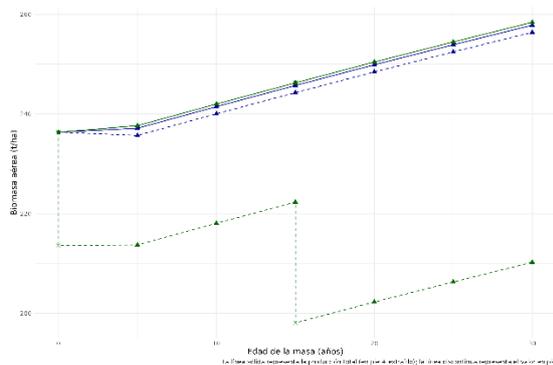
### Área basimétrica



### Altura dominante



### Biomasa aérea



Resumen biomasa aérea tras 30 años de simulación:

- Acumulada en monte sin gestión: 257,8 t/ha
- Acumulada en monte con gestión: 258,4 t/ha
- Extraída mediante gestión: 46,9 t/ha

Se inicia la simulación partiendo de un valor de  $G \approx 57 \text{ m}^2/\text{ha}$ , realizando una corta para disminuir esta densidad a una  $G \approx 52 \text{ m}^2/\text{ha}$  en el año 0. Posteriormente, se realiza una clara al alcanzar  $>55 \text{ m}^2/\text{ha}$  a los 15 años, reduciéndose a algo menos de  $50 \text{ m}^2/\text{ha}$ . Al final del periodo simulado,  $G$  supera los  $52 \text{ m}^2/\text{ha}$ .

Tanto para el modelado de la altura dominante como para la biomasa aérea total los valores se salen de los rangos de las ecuaciones, por lo que sus resultados son erróneos.

Tabla 5.10.- Extracciones totales de biomasa para quejigo por clase natural de edad en 30 años de simulación según SIMANFOR

		Superficie (ha)	Extracción total (t/ha)	Extracción total (t)	Extracción anual (t/año)
<i>Q.faginea</i>	LATIZAL	577,66	59,4	34.313,0	1.143,8
			Total:	34.313,0	1.143,8

La simulación de SIMANFOR en quejigo fustal no ha resultado satisfactoria, dado que ofrece valores de biomasa aérea erróneos, por tanto la estimación de biomasa potencial se valorará en función del incremento anual de biomasa calculado mediante las Supertarifas Forestales de Navarra.

Si la gestión selvícola se lleva a cabo tal y como se ha planteado, según SIMANFOR la extracción total de biomasa para el quejigo latizal en la zona de estudio asciende a un total de 73.492,4 toneladas en 30 años de simulación. Realizando una división entre los 30 años de simulación, se obtiene un valor de aporte de biomasa a la hipotética central de transformación de la biomasa de 2.449,7 toneladas anuales.

Para las masas más desarrolladas de encina y carrasca correspondientes a las masas de fustal, las simulaciones realizadas con SIMANFOR no han sido satisfactorias. En este caso la masa toma unos valores de altura que están fuera de los rangos para los que fueron ajustadas las ecuaciones originales de crecimiento en área basimétrica (Rodríguez de Prado et al., 2022a) y estimación de la altura (Rodríguez de Prado et al., 2022b) provocando así un funcionamiento erróneo del modelo, especialmente en lo que al cálculo de la altura se refiere. En este caso, al ser la altura un dato de entrada para el cálculo de la biomasa se ha decidido descartar los resultados obtenidos de estas simulaciones de SIMANFOR. Como herramienta alternativa se han utilizado los valores de IAWC obtenidos de las Supertarifas Forestales de Navarra para estimar la biomasa potencial del monte a 30 años vista, pudiendo así tener una idea general de los valores de biomasa futuros para estas masas.

En conclusión las simulaciones realizadas en SIMANFOR han resultado satisfactorias para siete de los once montes muestreados, siendo completamente satisfactorias para el pino carrasco (principal especie en superficie, segunda en cuanto a biomasa en pie y tercera en cuanto a crecimiento anual de biomasa), para el pino laricio (tercera especie en superficie, tercera en cuanto a biomasa en pie y segunda en cuanto a crecimiento anual de biomasa) y parcialmente

para quejigo (cuarta especie en superficie, cuarta en biomasa en pie y cuarta en crecimiento anual de biomasa).

El resultado no satisfactorio en el caso del quejigo fustal no es especialmente notorio en cuanto a importancia puesto que los montes de esta especie en la clase natural de edad latizal representan más del 99% de la superficie.

En el caso de la encina, el resultado de SIMANFOR no ha sido satisfactorio para los tres casos considerados, lo cual si tiene una relevancia destacada pues la encina representa el 30,7% de la superficie forestal arbolada del proyecto. La encina es con una notable diferencia sobre el resto, la especie con mayor cantidad de biomasa en pie (casi 2/3 sobre el total) y la que mayor incremento anual de biomasa presenta, representando el 56,7% del crecimiento total (Tabla 5.5).

Según las simulaciones de SIMANFOR para los siete casos satisfactorios, la aportación anual media de los escenarios gestionados mediante la selvicultura aplicada asciende a un total de 15.654,4 toneladas anuales. Este valor, resulta de dividir las extracciones totales para el periodo simulado (30 años) entre el periodo transcurrido. Este es un valor orientativo que no representa la aportación real anual que recibiría la planta de transformación, pero sirve como dato de referencia para calcular una extracción promedio anual que podría recibir la planta. Conocida la biomasa actual y potencial del monte, sería necesario realizar un plan de ordenación forestal que permitiera ordenar en el espacio y en el tiempo los aprovechamientos forestales, dando una mayor prioridad a las masas que requieren de una gestión más urgente (por ejemplo las masas de pino carrasco en latizal) y asegurando un abastecimiento continuo en el tiempo que permita el funcionamiento de la planta de manera ininterrumpida.

Según el periódico ‘Público’, la necesidad de leña de una vivienda unifamiliar para pasar un invierno es aproximadamente de 3.000 kilogramos (Bayona, 2025). Tomado este dato como referencia, la biomasa obtenida tras las simulaciones exitosas de SIMANFOR sería suficiente para abastecer a más de 5.000 hogares anualmente. Recordemos que en la zona de estudio habitan aproximadamente 1700 personas (Tabla 2.1), que a una media de 2,5 habitantes/vivienda (Instituto Nacional de Estadística, 2020) suponen un total de 680 hogares. De esta forma, el suministro de biocombustible se estima muy superior a la demanda actual, pudiendo incluso llegar a suponer una fuente de ingresos muy importante en la zona y abasteciendo a municipios circundantes como podrían ser Viana (4.413 habitantes), Mendavia (3.535 habitantes) o Los Arcos (1.191 habitantes).

Como se ha comentado, las extracciones anuales de biomasa serían muy superiores dado que no se están teniendo en cuenta las extracciones de la encina, que son las de mayor valor. Además, en la zona de estudio hay más especies forestales arboladas que las cuatro estudiadas, por lo cual el aporte anual en caso de aprovechar todas las especies sería mayor. Otro factor que juega a favor de la creación de la central es que en el estudio no se ha tenido en cuenta la clase natural de edad repoblado debido a su distancia temporal con aprovechamientos económicamente rentables y de gran volumen, pero en un futuro estas masas tendrían su importancia y deberían de ser consideradas. Así, la biomasa disponible real debería ser mayor a la estimada a través de este trabajo exploratorio.

En cambio, hay que tener en cuenta también que los destinos industriales de la madera extraída no deberían ceñirse únicamente a su utilización como biocombustibles, dado que este producto es el que menor valor alcanza en el mercado. En el caso del pino carrasco, se deben valorar destinos de mayor valor económico como el cánter/sierra, la sierra gruesa, postes o estacas y el desarrollo de manera limitada debido a la baja calidad general de la madre. La madera de pino laricio podría destinarse para cánter, sierra gruesa, sierra fina, desenrollo y para su uso en exteriores como traviesas no ferroviarias y postes. En el caso de la encina, se debe valorar la sierra fina, la tornería y la tonelería. La madera de quejigo podría destinarse para sierra fina, tornería y ebanistería, postes, durmientes no ferroviarios y tonelería. Cabe destacar el uso industrial en la tonelería, especialmente si se apostase por la tonelería de calidad, dado que en los municipios de tradición vitivinícola de la zona hay cierta inquietud por la situación del sector. Esta estrategia de marketing permitiría hacer una diferenciación en el producto al incluir una tonelería de calidad “Km 0”, haciendo único al producto frente a la competencia e incrementando el valor añadido al aportar por una gestión forestal sostenible en la zona. El hecho de emplear madera para estos usos supondría una mayor rentabilidad económica del monte y de los aprovechamientos forestales, en detrimento del aporte de biomasa a la central. Por otro lado, en los cálculos realizados no se ha descontado la biomasa de ramas finas y posibles pérdidas que pueden tener lugar en el aprovechamiento, que aun suponiendo un porcentaje pequeño del valor global tendrían su impacto en el abastecimiento de la central de biomasa.

Por último, es importante resaltar que este trabajo ha contemplado el cálculo de la biomasa actual y potencial de los montes objeto de estudio mediante modelos forestales de cálculo y simulaciones de gestión. Si bien estas herramientas permiten tener un mayor conocimiento del estado actual y la evolución del monte, sus resultados deben tomarse como

orientativos para apoyar a la toma de decisiones, no utilizando el valor resultante como verdad absoluta.

## **6. CONCLUSIONES**

Los municipios participantes en el proyecto ‘Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés’ se sitúan en un enclave natural con un potencial productivo de biomasa más que suficiente para la implantación de una planta de biocombustible común, autoabastecida por los recursos madereros que se desarrollan en las masas forestales de los propios municipios. La biomasa extraída mediante los aprovechamientos forestales planteados en la selvicultura de referencia a 30 años vista son muy superiores a la necesidad teórica demandada de biomasa que se podría producir en la zona para calentar los hogares en invierno. Por ello, se concluye que el potencial productivo de biomasa de la Sierra de Codés es muy elevado, siendo técnicamente viable la creación de una planta de biocombustible autoabastecida por la producción propia Sierra de Codés. La creación de dicha central supondría una importante dinamización económica de la zona, creando puestos de trabajo en el entorno rural y supondría una mejora en la gestión forestal de la zona.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Administración Local de Navarra. (1987). *Ley Foral 6/1987*. Pamplona.
- Administración Local de Navarra. (1990). *Ley Foral 6/1990, de 2 de julio*. Pamplona.
- Administración Local de Navarra. (2000). *Acuerdo del Gobierno de 15 de mayo*.
- APPA, A. d. (2022). *Estudio del Impacto Macroeconómico de las energías renovables en España*. Madrid.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- AveBiom. (20 de 1 de 2025). *Avebiom*. AveBiom: <https://www.avebiom.org/biomasanews/avebiom/la-bioenergia-en-espana-durante-2024>
- Bayona, E. (11 de 4 de 2025). *Público*. Público: [https://www.publico.es/sociedad/miles-familias-han-lanzado-comprar-lena-estufas-abaratar-factura-energetica.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.publico.es/sociedad/miles-familias-han-lanzado-comprar-lena-estufas-abaratar-factura-energetica.html?utm_source=chatgpt.com)
- Bravo, F., Montero, G., & Del Río, M. (1997). *Índices de densidad de las masas forestales*.
- Bravo, F., Ordóñez, C., Vázquez-Veloso, A., & Michalakopoulos, S. (2025). *SIMANFOR cloud Decision Supportsystem: Structure, content, and aplicaciones*.
- Centro Tecnológico Forestal de Cataluña. (11 de 2 de 2025). *CTFC*. Biomasa forestal: una alternativa sostenible al petróleo: <https://blog.ctfc.cat/es/biomasa-forestal-una-alternativa-sostenible-al-petroleo/>
- Comisión Europea. (2006). *Decisión 2006/613/CE de 19 de julio*.
- Del Río Gaztelurrutia, M., López Senespleda, E., & Montero González, G. (2006). *Manual de gestión para masas procedentes de repoblación de Pinus pinaster Ait., Pinus sylvestris L., y Pinus nigra Arn. en Castilla y León*.
- Energía de Castilla y León*. (2 de 4 de 2025). Energía de Castilla y León: <https://energiacastillayleon.com/2025/01/>
- Espacios Naturales Protegidos de Navarra*. (10 de 2 de 2025). Yesos de la ribera estellesa, la estepa mediterránea: <https://espaciosnaturales.navarra.es/es/yesos-de-la-ribera-estellesa>
- Espacios Naturales Protegidos de Navarra*. (10 de 2 de 2025). Sierra de Codés, entre rocas y carrascas: <https://espaciosnaturales.navarra.es/es/sierra-de-codes>
- EUFORGEN. (2008). *Guía técnica para la conservación genética y utilización del pino halepensis (Pinus halepensis) y el pino brutia (Pinus brutia)*.
- Gamo Forestal*. (10 de 2 de 2025). Biomasa forestal: Una fuente de energía renovable clave en la economía circular: <https://garmoforestal.com/biomasa-forestal-una-fuente-de-energia-renovable-clave-en-la-economia-circular/>

- Gobierno de España. (2019). *Marco estratégico de energía y clima*.
- Gobierno de España. (2022). *Anuario de Estadística Forestal*. Madrid.
- Gobierno de Navarra. (2017). *Decreto Foral 46/2017 de 24 de mayo*. Pamplona.
- Gobierno de Navarra. (2021). *Estrategia de lucha contra la despoblación en Navarra*. Pamplona.
- Gobierno de Navarra. (2023). *Áreas críticas para la conservación de la avifauna esteparia en Navarra*. Pamplona.
- Gobierno de Navarra. (2025). *IDENA*. Geoportal de Navarra: <https://geoportal.navarra.es/es/idena>
- Gregorio, M. d. (2019). *Biomasa en España. Generación de valor añadido y análisis*.
- Harris, I., Osborn, T., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data* 2020 7:1, 7(1), 1-18.
- Hijmans, R., & Fick, S. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37, 4302-4315.
- Instituto Nacional de Estadística. (10 de 4 de 2020). *Boletín informativo del Instituto Nacional de Estadística*. Boletín informativo del Instituto Nacional de Estadística: [https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es\\_ES&c=INECifrasINE\\_C&cid=1259952645332&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios/INECifrasINE\\_C/PYSDetalleCifrasINE#:~:text=El%20n%C3%BAmero%20de%20hogares%20en,3%20%25%20de%20la%20poblaci%C3%B3n](https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INECifrasINE_C&cid=1259952645332&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios/INECifrasINE_C/PYSDetalleCifrasINE#:~:text=El%20n%C3%BAmero%20de%20hogares%20en,3%20%25%20de%20la%20poblaci%C3%B3n).
- Jefatura del Estado. (1973). *Ley 1/1973 de 1 de marzo, por la que se aprueba la Compilación del Derecho Civil Foral de Navarra*. BOE.
- Mapa Forestal de España (MFE 50)*. (2 de 2025). Mapa Forestal de España (MFE 50): <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50.html>
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., & Muñoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles*. Madrid.
- Navarra.okdiario*. (13 de 2 de 2025). Navarra se encuentra a la cabeza de España en la certificación forestal sostenible de sus bosques: <https://navarra.okdiario.com/articulo/sociedad/navarra-cabeza-certificacion-forestal-sostenible-sello-bosques/20200726144149332455.html>
- Noticias de Navarra*. (16 de 2 de 2025). El fuego de Aras quedó extinguido tras 22 horas de llamas en un espacio de mil hectáreas: <https://www.noticiasdenavarra.com/sociedad/2012/08/23/fuego-aras-queda-extinguido-22-3206074.html>
- O.N.F. (1992). *Le pin blanc: une espèce provençale en plein essor*.

- PEFC. (12 de 2 de 2025). <https://www.pefc.es/>
- PEFC España. (2014). *2ª Revisión Sistema Español de Certificación Forestal*.
- Peña, S. V. (2014). *Principales maderas de coníferas en España. Características, tecnología y aplicaciones*. Madrid.
- Peña, S. V. (2014). *Principales maderas de frondosas en España. Características, tecnología y aplicaciones*. Madrid.
- Ponce, R. A., & Hernández Jiménez, Á. (2019). *Itinerarios selvícolas para las masas repobladas de pino carrasco (Pinus halepensis Mill.) en Aragón*. Soria.
- R: *A Language and Environment for Statistical Computing*. (2021). R Core Team: <https://www.R-project.org/>
- Rodríguez de Prado, D., Riofrío, J., Aldea, J., Bravo, F., & Herrero, C. (2022). *Competition and climate influence in the basal area increment models for Mediterranean mixed forests*. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119955>
- Rodríguez de Prado, D., Riofrío, J., Aldea, J., Bravo, F., & Herrero, C. (2022). *Competition and climate influence in the basal area increment models for Mediterranean mixed forests*. *Forest Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119955>
- Rodríguez de Prado, D., Riofrío, J., Aldea, J., McDermott, J., Bravo, F., & Herrero, C. (2022). *Species mixing proportion and aridity influence in the height-diameter relationship for different species mixtures in Mediterranean forests*. *Forest Systems*. <https://doi.org/10.3390/f13010119>
- Rodríguez de Prado, D., Riofrío, J., Aldea, J., McDermott, J., Bravo, F., & Herrero, C. (2022). *Species mixing proportion and aridity influence in the height-diameter relationship for different species mixtures in Mediterranean forests*. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f13010119>
- Rothermel. (1962). *Modelos de combustible*.
- Ruiz-Peinado, R., Del Río, M., & Montero, G. (2011). *New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species*. *Forest Systems*. <https://doi.org/10.5424/fs/2011201-1164>
- Ruiz-Peinado, R., Montero, G., & Del Río, M. (2012). *Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species*. *Forest Systems*. <https://doi.org/10.5424/fs/2112211-02193>
- SIMANFOR. *Modelo de crecimiento de árbol individual independiente de la distancia para masas mixtas de España*. (2025). SIMANFOR: [https://github.com/simanfor/modelos/blob/main/espanol/arbol\\_individual/Masas\\_mixtas\\_Espana.pdf](https://github.com/simanfor/modelos/blob/main/espanol/arbol_individual/Masas_mixtas_Espana.pdf). <https://www.simanfor.es>

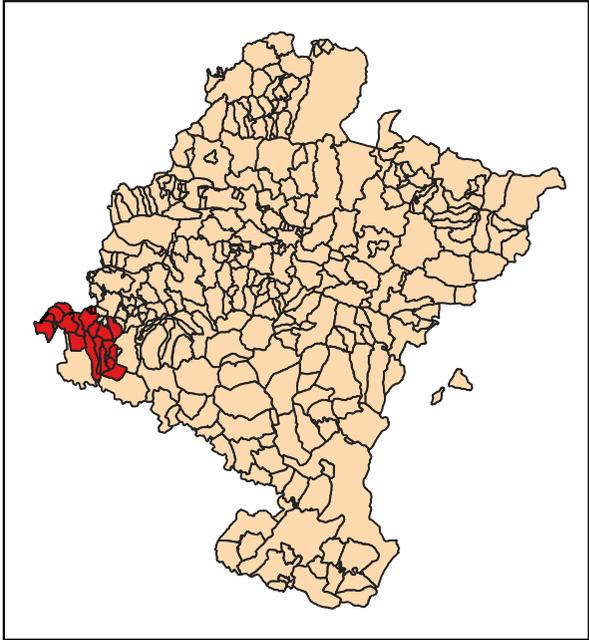
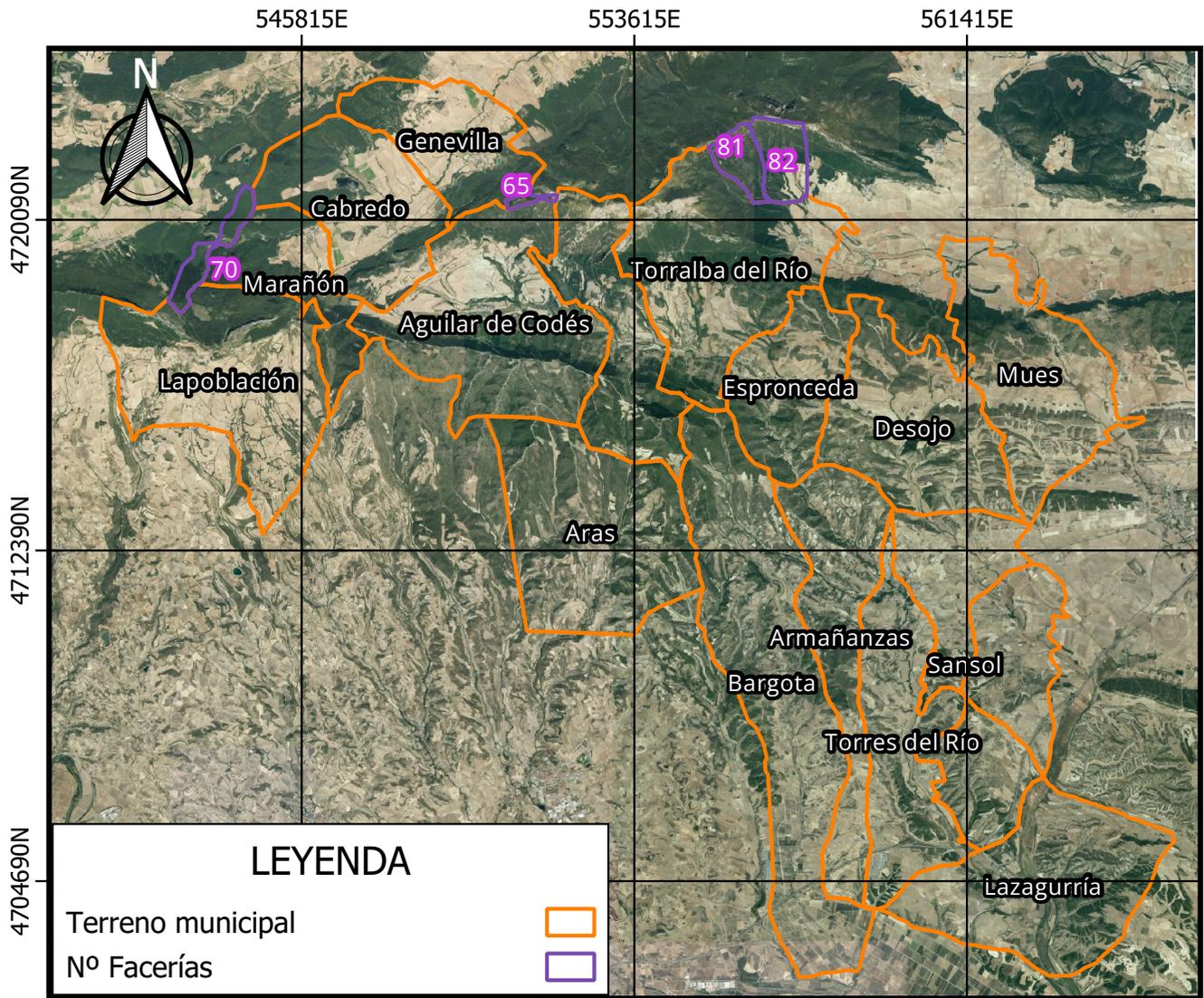
*Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés.* (15 de 2 de 2025). Tejiendo Caminos:  
<https://www.tejiendocaminos.com/>

Veloso, A. V., Yang, S. I., Bullock, B. P., & Bravo, F. (2025). *One model to rule them all: A nationwide height-diameter model for 91 Spanish forest species.*

Vericat Grau, P., Piqué Nicolau, M., Beltrán Barba, M., & Cervera, T. (2011). *MODELS DE GESTIÓ PER ALS BOSCOS D'ALZINA (Quercus ilex subsp. ilex) I CARRASCA (Quercus ilex subsp. ballota).*

Vericat Grau, Pau; Piqué Nicolau, Míriam ; Beltrán Barba, Mario; Cervera, Teresa. (2011). *MODELS DE GESTIÓ PER ALS BOSCOS DE ROURE DE FULLA PETITA (Quercus faginea) I ROURE MARTINENC (Quercus humilis = Quercus pubescens).*

## **8. ANEXO 1: PLANOS**



**INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:**

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

**LEYENDA**

Terreno municipal  
Nº Facerías



0 2,5 5 km



**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)**



**ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'**

TÍTULO DEL PROYECTO

Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés

PROMOTOR

1:160000

ESCALA

1

Nº PLANO

SITUACIÓN GENERAL DEL PROYECTO EN LA C.F. NAVARRA

ALUMNO/A:

Javier González Manzano

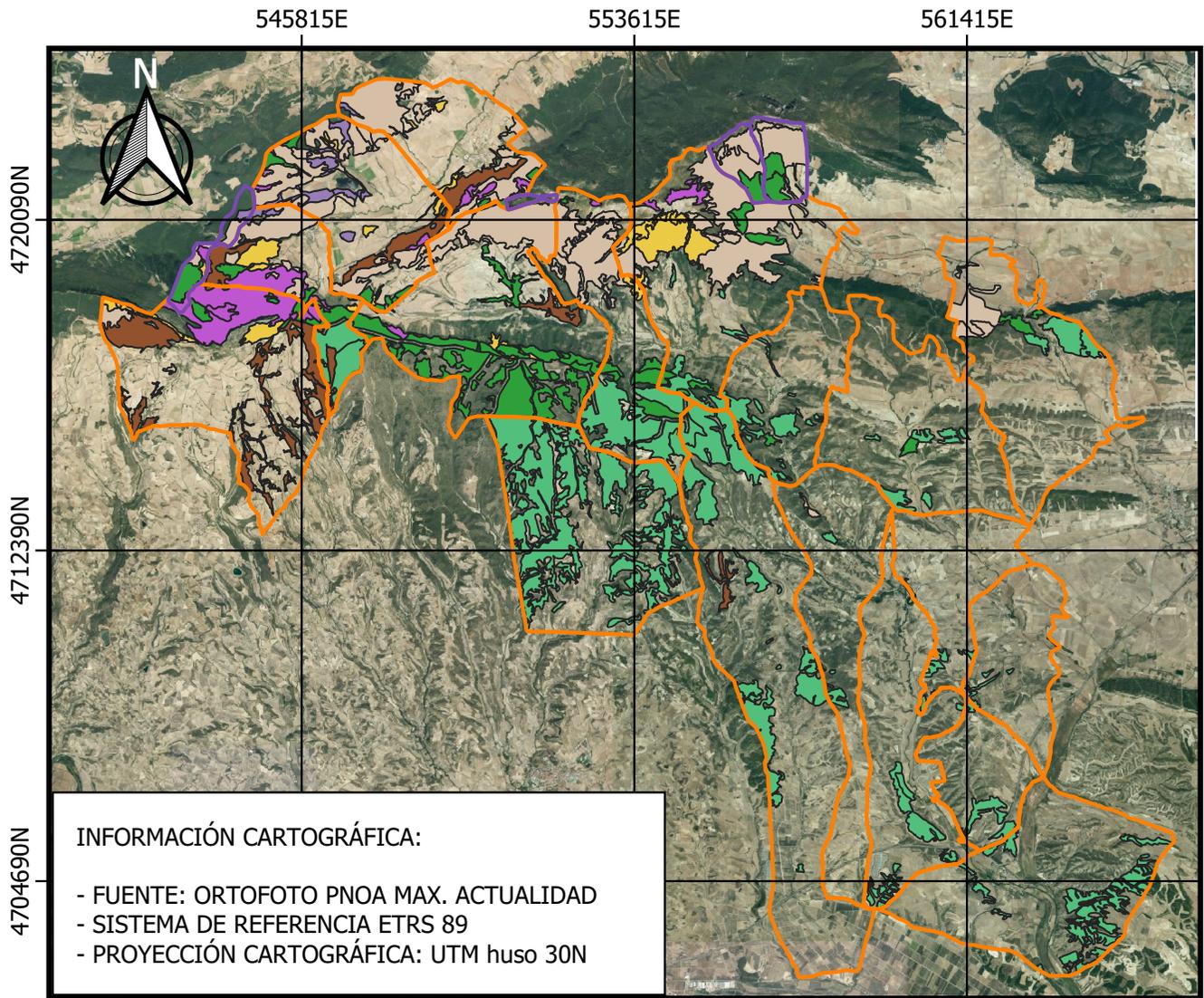
TÍTULO DEL PLANO

Ingeniería Forestal y del Medio Natural

FECHA: 25/03/25

TITULACIÓN

FIRMA



**INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:**

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

0 2,5 5 km



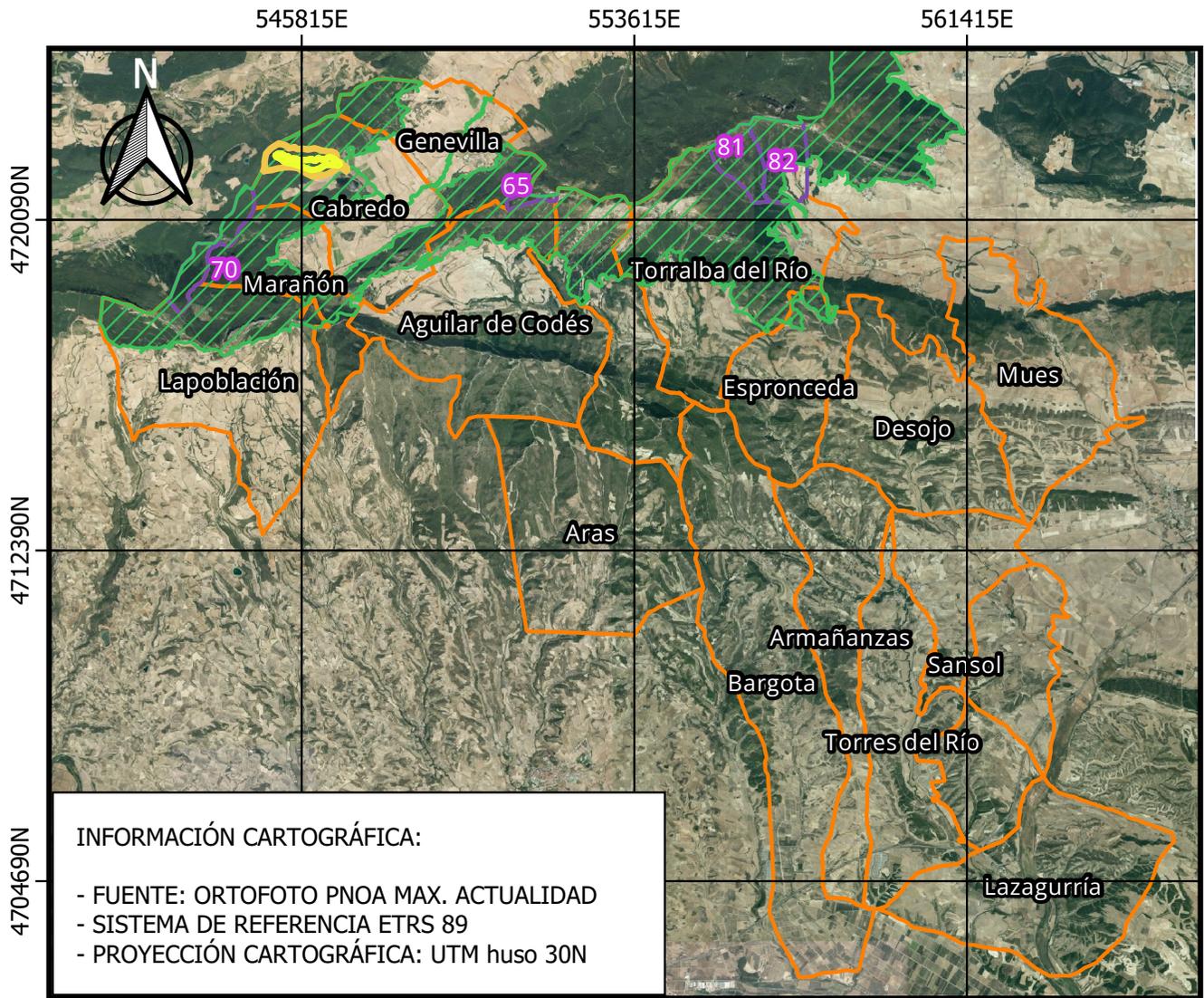
**LEYENDA**

Nº Facería	
Terreno municipal	
Pino carrasco	
Pino laricio	
Pino silvestre	
Encina	
Quejigo	
Roble marojo	
Roble pubescente	
Haya	

	<b>UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</b>		
	<b>E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)</b>		
<b>ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'</b>			
TÍTULO DEL PROYECTO			

Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés	1:16000	2
PROMOTOR	ESCALA	Nº PLANO

Composición forestal de los municipios	ALUMNO/A:
TÍTULO DEL PLANO	<b>Javier González Manzano</b>
Ingeniería Forestal y del Medio Natural	FECHA: 25/03/25
TITULACIÓN	FIRMA



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N



### LEYENDA

Nº Facería	
Terreno municipal	
Lugar de Importancia Comunitaria "Sierra de Codés"	
Reserva Natural Nº19 "Peñalabeja"	
Zona Periférica de Protección de la R.N. Nº19 Peñalabeja	

<b>UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</b> <b>E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)</b>		
<b>ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'</b>		
TÍTULO DEL PROYECTO		
Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés	1:16000	3
PROMOTOR	ESCALA	Nº PLANO
LIC "Sierra de Codés" y RN Nº19 "Peñalabeja"		ALUMNO/A:
TÍTULO DEL PLANO		<b>Javier González Manzano</b>
Ingeniería Forestal y del Medio Natural		FECHA: 25/03/25
TITULACIÓN		FIRMA

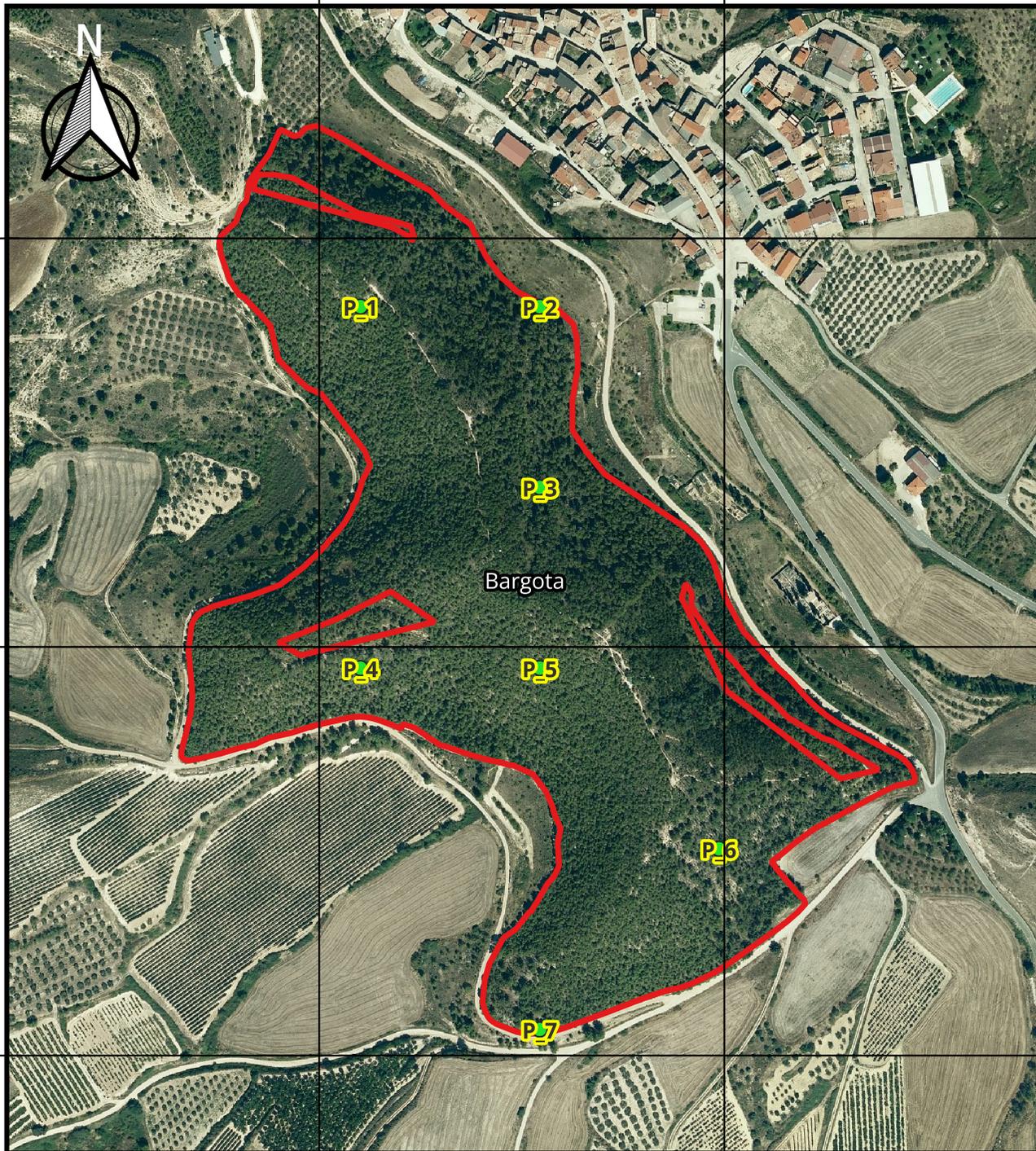
556335E

556665E

4712060N

4711730N

4711400N



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

LEYENDA

- Parcelas de muestreo 
- P.halepensis fustal 

0 50 100 m



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)



ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'

TÍTULO DEL PROYECTO

Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés

1:5000

4.1

PROMOTOR

ESCALA

Nº PLANO

MUESTREO PILOTO EN PINUS HALEPENSIS FUSTAL

ALUMNO/A:

Javier González Manzano

TÍTULO DEL PLANO

Ingeniería Forestal y del Medio Natural

FECHA: 25/03/25

TITULACIÓN

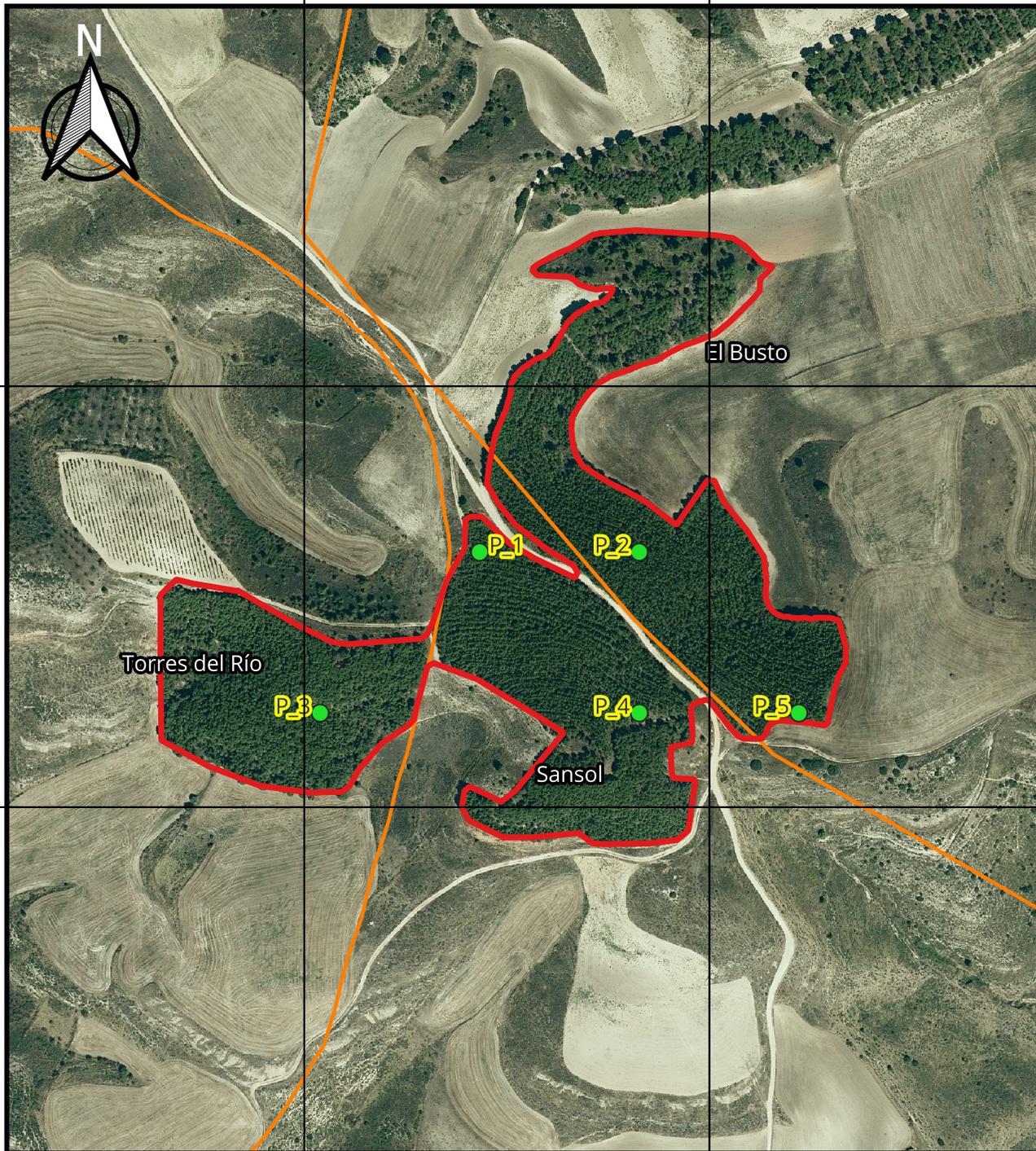
FIRMA

561285E

561615E

4708990N

4708650N



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

LEYENDA

- Parcelas de muestreo 
- P.halepensis latizal 

0 50 100 m



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)



ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'

TÍTULO DEL PROYECTO

Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés

1:5000

4.2

PROMOTOR

ESCALA

Nº PLANO

MUESTREO PILOTO EN PINUS HALEPENSIS LATIZAL

ALUMNO/A:

Javier González Manzano

TÍTULO DEL PLANO

Ingeniería Forestal y del Medio Natural

FECHA: 25/03/25

TITULACIÓN

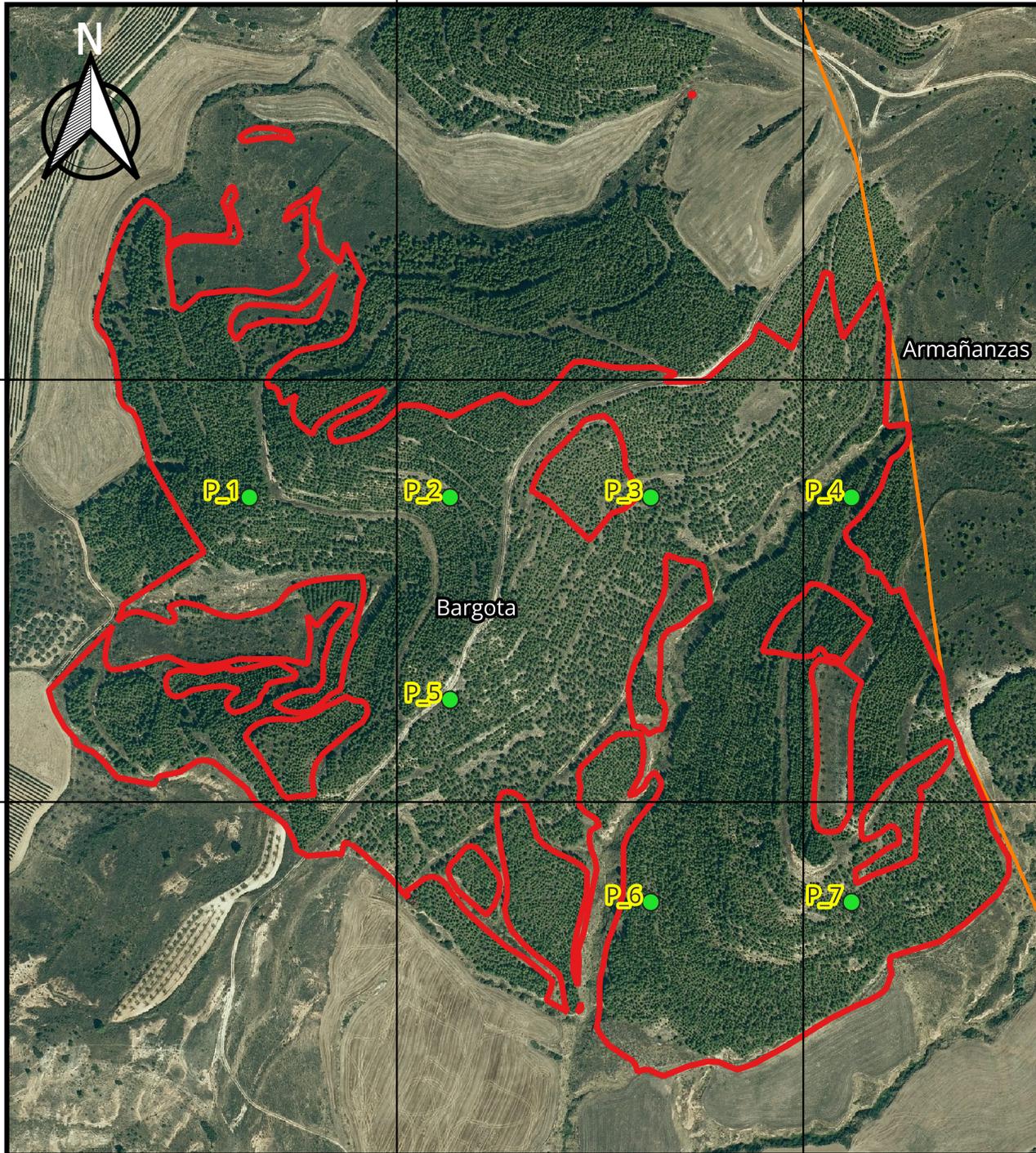
FIRMA

557655E

557985E

4709330N

4708990N



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

LEYENDA

- Parcelas de muestreo 
- P.halepensis monte bravo 

0 50 100 m



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)



ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'

TÍTULO DEL PROYECTO

Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés

1:5000

4.3

PROMOTOR

ESCALA

Nº PLANO

MUESTREO PILOTO EN PINUS HALEPENSIS MONTE BRAVO

ALUMNO/A:

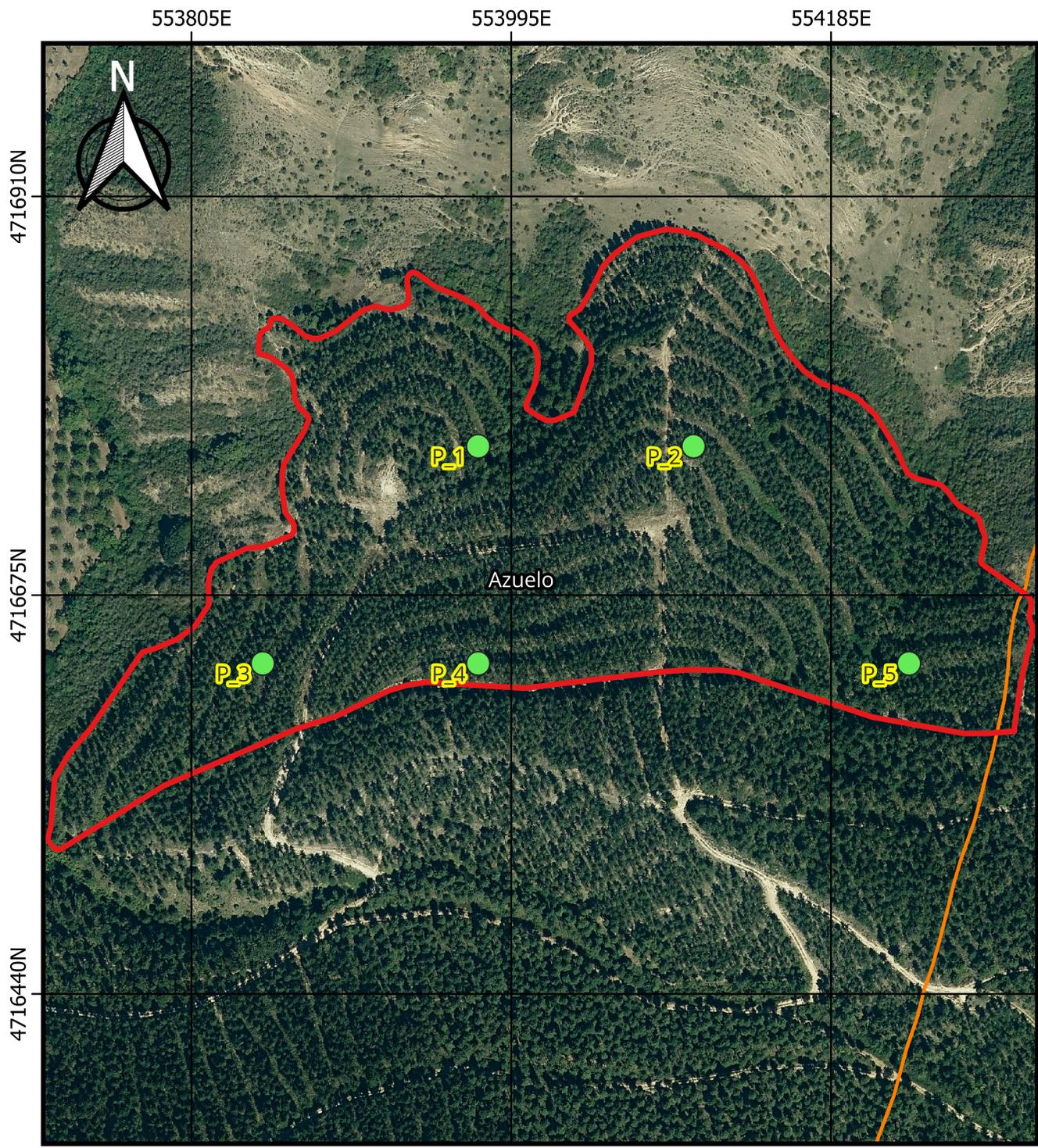
Javier González Manzano

Ingeniería Forestal y del Medio Natural

FECHA: 25/03/25

TITULACIÓN

FIRMA



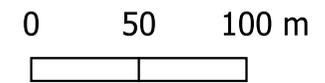
INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

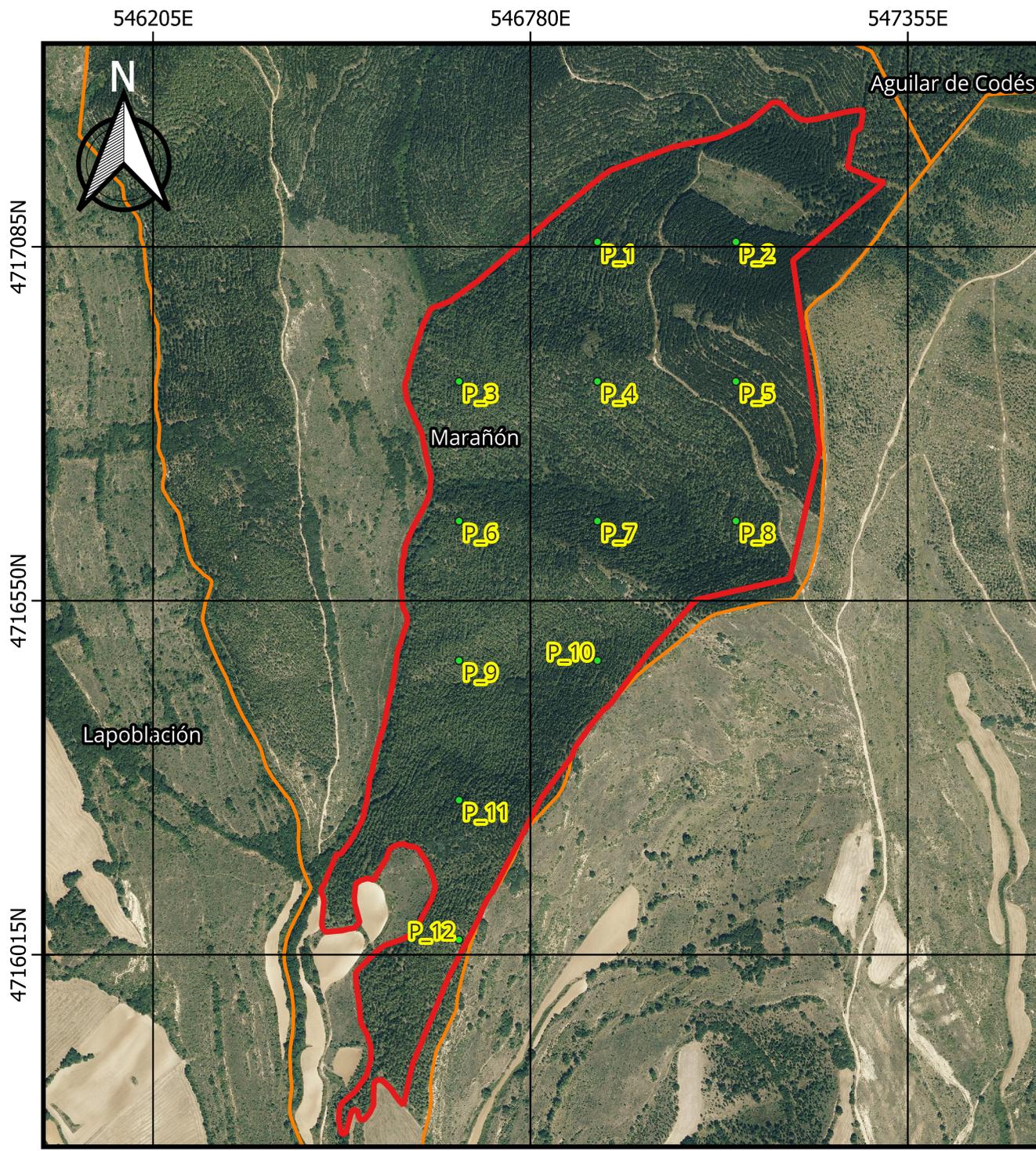
LEYENDA

Parcelas de muestreo ■

P.nigra fustal



<b>UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</b> <b>E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)</b>		
<b>ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'</b>		
TÍTULO DEL PROYECTO		
Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés	1:3500	4.4
PROMOTOR	ESCALA	Nº PLANO
MUESTREO PILOTO EN PINUS NIGRA FUSTAL		ALUMNO/A:
TÍTULO DEL PLANO		Javier González Manzano
Ingeniería Forestal y del Medio Natural		FECHA: 26/03/25
TITULACIÓN		FIRMA

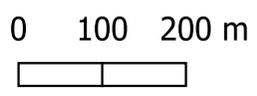


**INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:**

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

**LEYENDA**

- Parcelas de muestreo 
- P. nigra latizal 
- Terreno municipal 




**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)**


**ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'**

TÍTULO DEL PROYECTO \_\_\_\_\_

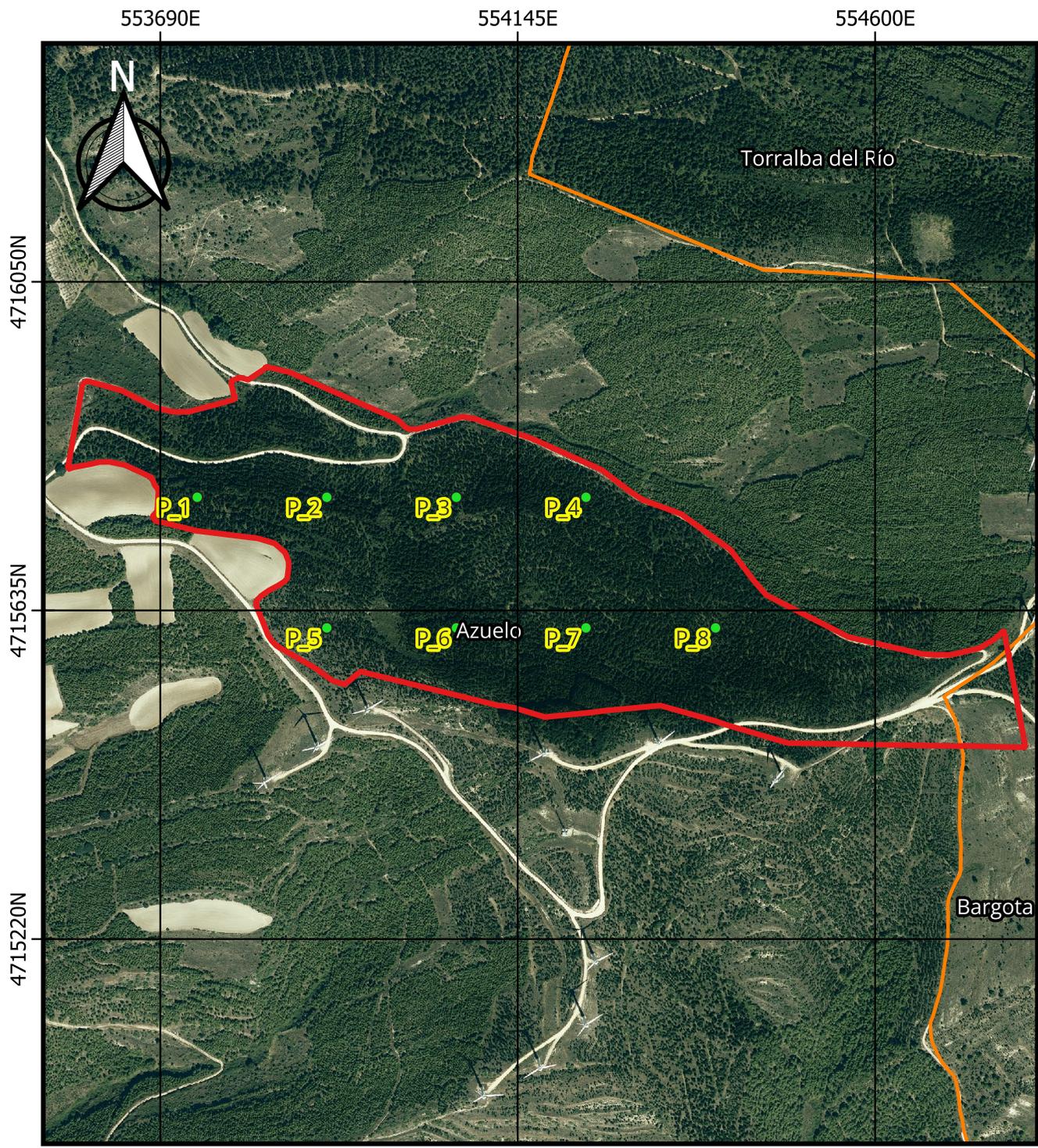
Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés 1:9000 4.5

PROMOTOR \_\_\_\_\_ ESCALA \_\_\_\_\_ N° PLANO \_\_\_\_\_

MUESTREO PILOTO EN PINUS NIGRA LATIZAL ALUMNO/A:

Ingeniería Forestal y del Medio Natural **Javier González Manzano**

TITULACIÓN \_\_\_\_\_ FECHA: 26/03/25 FIRMA \_\_\_\_\_

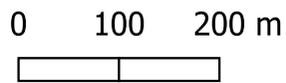


INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

**LEYENDA**

- Parcelas de muestreo 
- P.nigra monte bravo 
- Terreno municipal 




**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)**


**ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'**

TÍTULO DEL PROYECTO \_\_\_\_\_

PROMOTOR **Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés** ESCALA **1:7500** N° PLANO **4.6**

MUESTREO PILOTO EN PINUS NIGRA MONTE BRAVO ALUMNO/A: **Javier González Manzano**

Ingeniería Forestal y del Medio Natural TITULACIÓN FECHA: **26/03/25** FIRMA \_\_\_\_\_

552000E

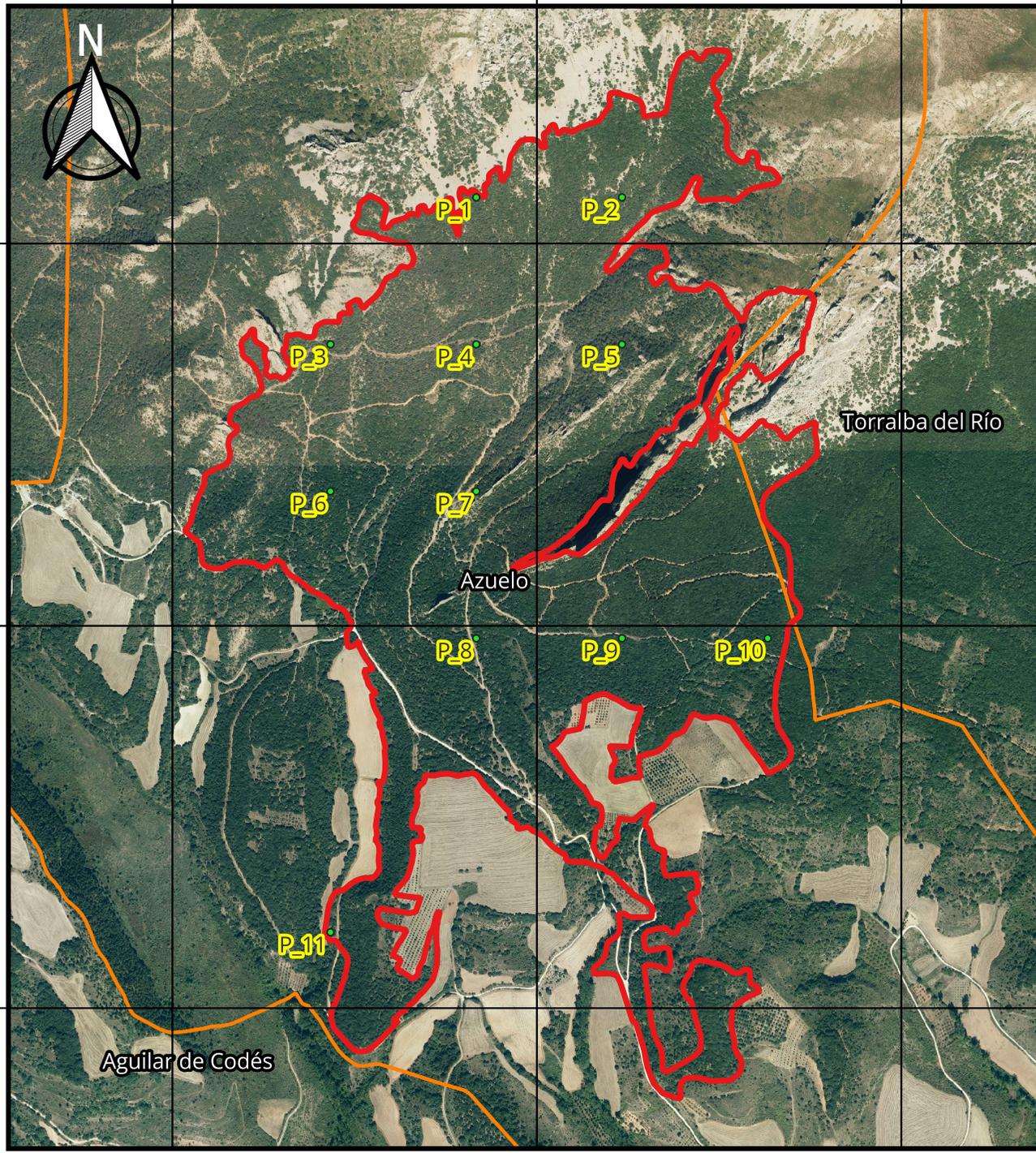
552745E

553490E

4719740N

4718965N

4718190N



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:

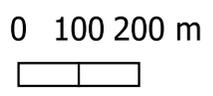
- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

**LEYENDA**

Parcelas de muestreo 

Q.ilex fustal 

Terreno municipal 




**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)**


**ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'**

TÍTULO DEL PROYECTO \_\_\_\_\_

Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés 1:12500 4.7

PROMOTOR \_\_\_\_\_ ESCALA \_\_\_\_\_ N° PLANO \_\_\_\_\_

MUESTREO PILOTO EN QUERCUS ILEX FUSTAL ALUMNO/A:  
 Javier González Manzano

Ingeniería Forestal y del Medio Natural FECHA: 26/03/25  
 TITULACIÓN \_\_\_\_\_ FIRMA \_\_\_\_\_

546005E

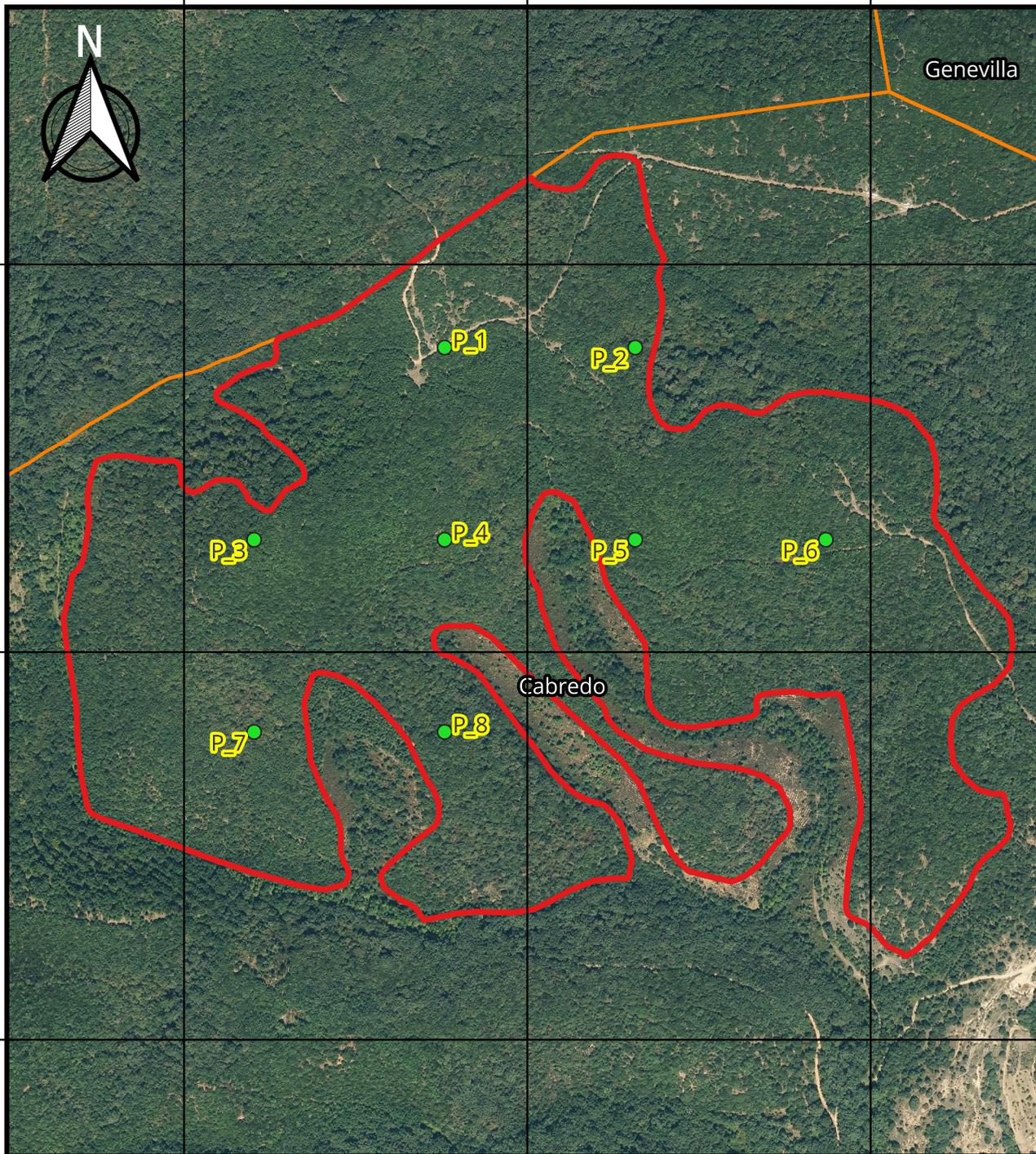
546340E

546675E

4722365N

4721990N

4721615N



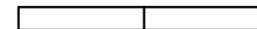
INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

LEYENDA

- Parcelas de muestreo 
- Q.ilex latizal 
- Terreno municipal 

0 100 200 m



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)



ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'

TÍTULO DEL PROYECTO

Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés

1:6000

4.8

PROMOTOR

ESCALA

Nº PLANO

MUESTREO PILOTO EN QUERCUS ILEX LATIZAL

ALUMNO/A:

Javier González Manzano

TÍTULO DEL PLANO

FECHA: 26/03/25

Ingeniería Forestal y del Medio Natural

TITULACIÓN

FIRMA

545775E

546105E

546435E

4721990N

4721615N

4721240N



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

LEYENDA

- Parcelas de muestreo 
- Q.ilex monte bravo 
- Terreno municipal 

0 100 200 m



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)



ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'

TÍTULO DEL PROYECTO

Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés

1:6500

4.9

PROMOTOR

ESCALA

Nº PLANO

MUESTREO PILOTO EN QUERCUS ILEX MONTE BRAVO

ALUMNO/A:

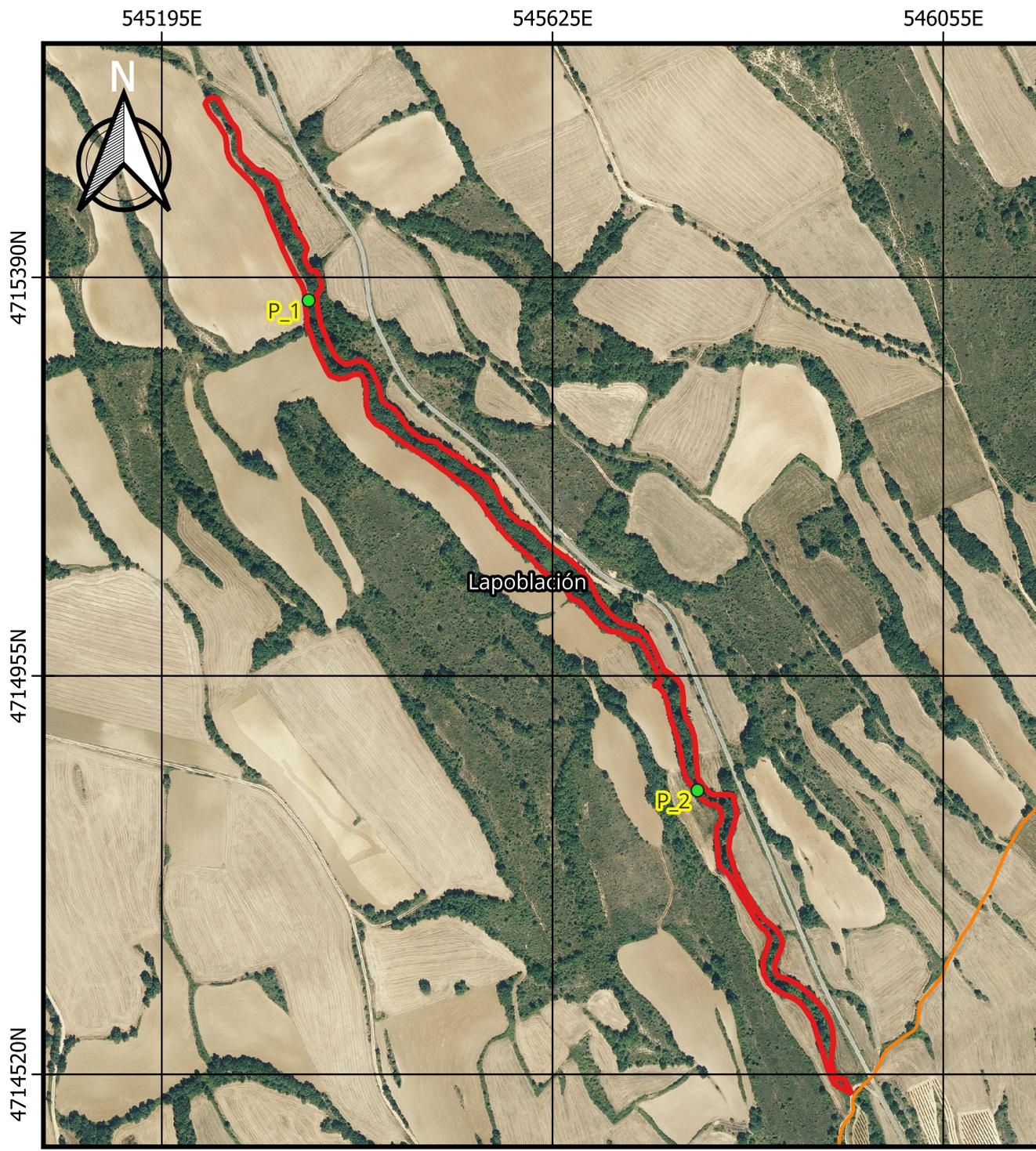
Javier González Manzano

Ingeniería Forestal y del Medio Natural

FECHA: 26/03/25

TITULACIÓN

FIRMA

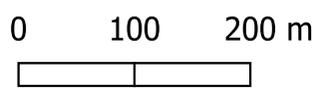


INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

**LEYENDA**

- Parcelas de muestreo 
- Q.faginea fustal 
- Terreno municipal 



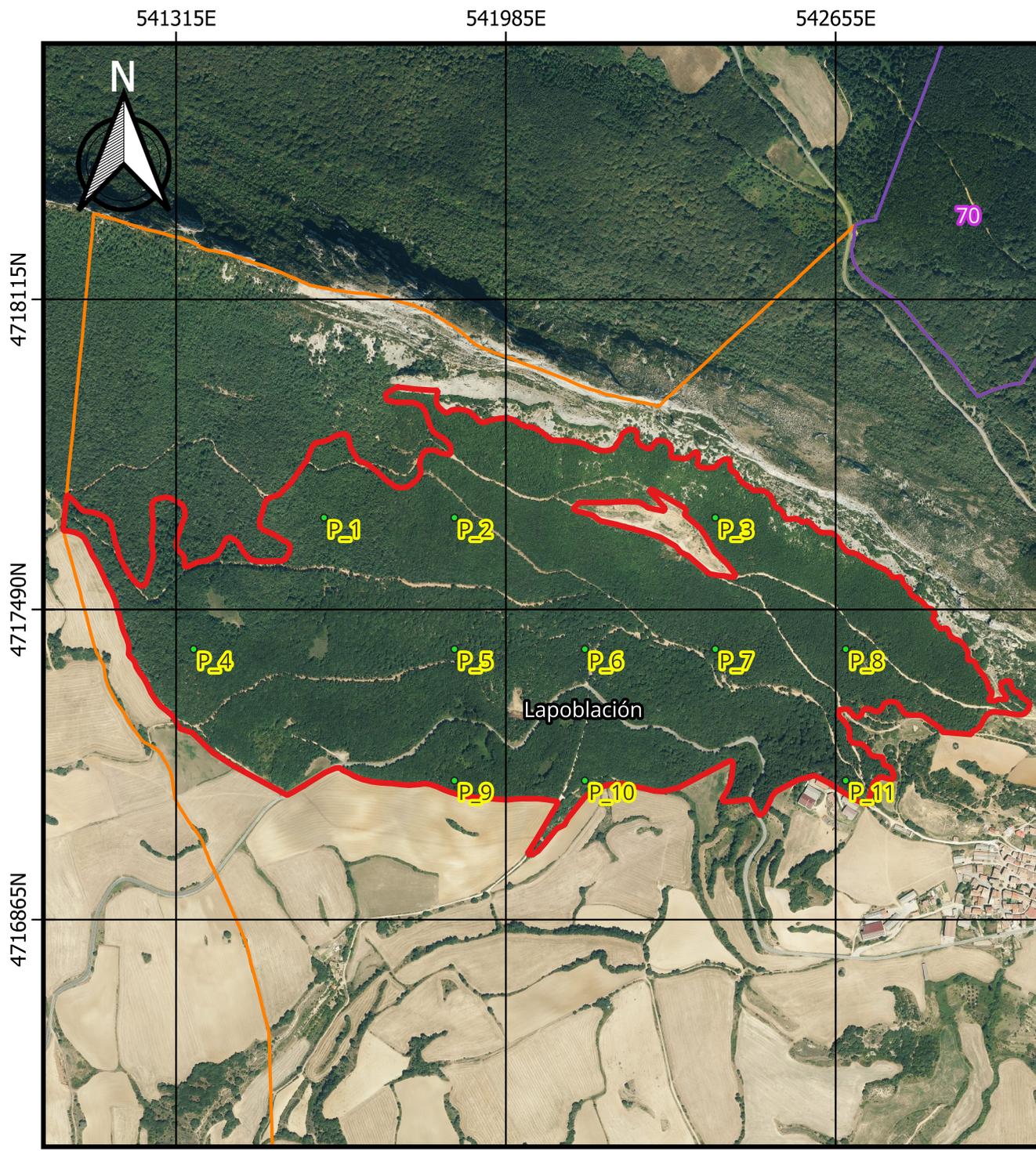

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)**


**ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'**

TÍTULO DEL PROYECTO \_\_\_\_\_

Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés 1:6500 4.10  
PROMOTOR \_\_\_\_\_ ESCALA \_\_\_\_\_ Nº PLANO \_\_\_\_\_

MUESTREO PILOTO EN QUERCUS FAGINEA FUSTAL ALUMNO/A:  
**Javier González Manzano**  
TÍTULO DEL PLANO \_\_\_\_\_ FECHA: 26/03/25 FIRMA \_\_\_\_\_  
Ingeniería Forestal y del Medio Natural TITULACIÓN \_\_\_\_\_

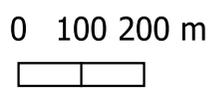


INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA:

- FUENTE: ORTOFOTO PNOA MAX. ACTUALIDAD
- SISTEMA DE REFERENCIA ETRS 89
- PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA: UTM huso 30N

**LEYENDA**

- Parcelas de muestreo 
- Q.faginea latizal 
- Terreno municipal 




**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS (PALENCIA)**


**ESTUDIO BIOMASA 'SIERRA DE CODÉS'**

TÍTULO DEL PROYECTO \_\_\_\_\_

Tejiendo Caminos en la Sierra de Codés 1:12000 4.11

PROMOTOR \_\_\_\_\_ ESCALA \_\_\_\_\_ Nº PLANO \_\_\_\_\_

MUESTREO PILOTO EN QUERCUS FAGINEA LATIZAL ALUMNO/A:

TÍTULO DEL PLANO \_\_\_\_\_ **Javier González Manzano**

Ingeniería Forestal y del Medio Natural FECHA: 26/03/25

TITULACIÓN \_\_\_\_\_ FIRMA \_\_\_\_\_