



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS
AGRARIAS**

Máster en Ingeniería de Montes

**Sistema de Apoyo a la Gestión de Masas
de Robledales y Pinares en el Bosque
Modelo Palencia basado en Datos
Abiertos Enlazados**

Estudiante: Natalia Crespo Lera

**Tutor: Felipe Bravo Oviedo
Cotutora: Irene Ruano Benito**

Septiembre de 2025

ÍNDICE

1.	Resumen.....	4
2.	Introducción.....	6
2.1.	Fuentes de Información y Bases de Datos Públicas	7
2.2.	Datos Abiertos Enlazados en la Gestión Forestal.....	8
2.3.	Bosque Modelo Palencia: Contexto y Relevancia.....	9
3.	Objetivos	11
4.	Material y Métodos.....	13
4.1.	Fuentes de Datos.....	14
4.1.1.	Inventarios Forestales Nacionales.....	14
4.1.2.	Mapas Forestales Nacionales.....	19
4.1.3.	Límites Administrativos	21
4.1.4.	Bases de Datos Semánticas y Aplicaciones.....	22
4.1.5.	Bases de Datos Climáticas.....	26
4.2.	Área y Especies de Estudio	26
4.3.	Definición de Casos de Uso y Necesidades para la Gestión	29
4.3.1	Identificación de los Casos de Uso en Educación.....	30
4.3.2.	Identificación de los Casos de Uso en Investigación	34
4.3.3.	Identificación de los Casos de uso en Gestión Local	36
4.4.	Análisis y Tratamiento de Datos.....	37
5.	Resultados	45
5.1.	Integración de Información en un <i>Dashboard</i> e Interpretación	46
5.1.1.	<i>Dashboard</i> de Parcelas.....	47
5.1.2.	<i>Dashboard</i> de Municipios	55
5.2.	Evolución Temporal y Caracterización Actual de las Masas Forestales	60
5.2.1.	Situación de la Parcela y del Municipio	60
5.2.2.	Estado Natural de la Parcela	65
5.2.3.	Daños del Arbolado y Calidad de la Madera (Parcela y Municipio)	68
5.3.	Cálculo de Indicadores Forestales	72
5.3.1.	Estado Forestal de la Parcela y Carbono fijado	72
5.3.2.	Estado Forestal del Municipio y Carbono fijado	76

5.4. Evaluación del Potencial de Aprovechamiento Forestal.....	81
5.4.1. Existencias forestales a nivel de Parcela	81
5.4.2. Existencias forestales a nivel de Municipio	84
6. Discusión.....	87
7. Conclusiones	93
8. Referencias	96
9. Material Suplementario.....	106

1. RESUMEN

1. RESUMEN

El Bosque Modelo Palencia es una iniciativa de gestión forestal sostenible que abarca 91 municipios y unos 4.050 km² entre el Parque Natural de la Montaña Palentina y el Camino de Santiago. En dicho territorio se busca impulsar la bioeconomía y la participación local mediante la gestión y conservación de los recursos forestales. Durante los últimos años las masas de pinares y robledales dentro del Bosque Modelo Palencia han experimentado un aumento en volumen de madera, presentando un importante potencial de aprovechamiento. Además, en la actualidad, disponemos de una gran cantidad de información pública en el ámbito forestal, o afines, cuyo uso efectivo se ha visto limitado por la fragmentación y la falta de interoperabilidad entre las distintas fuentes. En este contexto, el presente trabajo de fin de máster tiene como finalidad diseñar un sistema de apoyo para impulsar la gestión local y al estudio de robledales y pinares de la zona. Para ello, se presentan ejemplos de paneles interactivos o *dashboards* a nivel de parcela y de municipio que permiten visualizar de forma sencilla la información disponible de estas masas. Para superar las limitaciones de interoperabilidad de las bases de datos públicas se han empleado estándares de Datos Abiertos Enlazados y Sistemas de Información Geográfica. Además, el modelo de paneles interactivos utilizado ha permitido recopilar la información en una sola ficha, simplificar su visualización, análisis posterior, puesta en valor e interpretación. Con este sistema se busca el apoyo no solo en la toma de decisiones para la gestión local de estos ecosistemas, sino también para su estudio, teniendo en cuenta las necesidades de distintos tipos de usuarios: docentes y estudiantes del máster de ingeniería de montes, personal investigador en el ámbito forestal y responsables de la administración local.

2. INTRODUCCIÓN

2. INTRODUCCIÓN

Este capítulo se organiza en tres apartados principales. En primer lugar, se presenta la gran cantidad de fuentes de información y bases de datos públicas, tanto forestales como afines. Además, se señalan los retos que plantean en términos de accesibilidad, interoperabilidad y aprovechamiento efectivo, así como el papel que pueden desempeñar los paneles interactivos (*dashboards*) para superar estas limitaciones. En segundo lugar, se expone el concepto y los estándares de los Datos Abiertos Enlazados, destacando su potencial para integrar y facilitar el acceso a la información procedente de diferentes fuentes. Por último, se contextualiza la iniciativa del Bosque Modelo Palencia, que se adopta como caso de estudio para la aplicación práctica de este trabajo.

2.1. Fuentes de Información y Bases de Datos Públicas

En las últimas décadas, tecnologías como el *Big Data* (Zou et al., 2019; Gao et al., 2022) o la inteligencia artificial (Olawade et al., 2024) han abierto un abanico de oportunidades dentro del sector forestal (Yusuf et al., 2024). Asimismo, desde la Unión Europea y las administraciones públicas se están promoviendo políticas e iniciativas que pretenden fomentar el acceso abierto a la información, su reutilización y puesta en valor. Algunos ejemplos son: la Directiva 2019/1024 relativa a los datos abiertos y la reutilización de la información del sector público, el Pacto Verde Europeo o el Plan Forestal Español 2022 - 2032. Todo ello está contribuyendo a la digitalización del sector forestal que apuesta cada vez más por el uso de los datos y las nuevas tecnologías para la toma de decisiones informadas (Taylor et al., 2020; Gschwantner et al., 2022; Hoppen et al., 2024).

En el contexto de la gestión forestal, el uso de datos de distintos ámbitos es especialmente importante para abordar su naturaleza multidimensional que habitualmente requiere integrar información procedente de diversas fuentes (vegetación, clima, suelo...) y escalas espaciales y temporales (Zou et al., 2019; Polinko y Coupland, 2021; Gao et al., 2022). Aunque la disponibilidad de datos abiertos en España, como los Inventarios Forestales Nacionales (IFNs) o los Mapas Forestales (MFEs), pueden facilitar el análisis científico y apoyar decisiones fundamentadas, también plantea desafíos importantes. La dispersión de datos en múltiples plataformas, formatos no estandarizados y la falta de interoperabilidad dificultan su uso efectivo (Zou et al., 2019; Gschwantner et al., 2022).

Por otra parte, la gran cantidad de información disponible no siempre se traduce en un mayor impacto si ésta no responde a necesidades reales. Muchas veces es importante buscar un enfoque más orientado a la resolución de problemas concretos que facilite el aprovechamiento de los datos por las partes interesadas en el territorio. Esto se puede resolver mediante la publicación de información integrada, contextualizada y preprocesada a una escala más local (Lazdinis et al., 2019) teniendo en cuenta distintas perspectivas de uso.

Una estrategia eficaz para mejorar el acceso y uso de los datos es la creación de paneles interactivos (o *dashboards*) donde se representa de forma visual la información relevante. Estas herramientas permiten visualizar indicadores clave en forma de gráficos, tablas o mapas interactivos, adaptados a diferentes tipos de usuarios y propósitos (Few, 2006; Matheus et al., 2020). En sectores como la educación (Williamson y Kizilcec, 2022), la planificación urbana (Lock et al., 2020), el análisis de negocios (Kumar y Belwal, 2017) o el monitoreo en tiempo real (Franklin et al., 2017; Thorlund et al., 2020; Tilley y Pettit, 2020) su uso está ampliamente extendido. En el ámbito forestal en España, donde no hay muchos casos que empleen este enfoque, se puede aplicar esta herramienta para pasar de grandes volúmenes de información a conocimiento útil y más fácilmente interpretable.

2.2. Datos Abiertos Enlazados en la Gestión Forestal

Durante décadas, los tesauros, las terminologías armonizadas o los sistemas de clasificación han servido para estandarizar el lenguaje técnico y facilitar la interoperabilidad entre instituciones y bases de datos (Köhler et al., 2003; Gardner, 2005). En este sentido, los Datos Abiertos Enlazados (*Linked Open Data*, LOD) emplean ontologías, estructuras más complejas y formales que no solo definen términos, sino también las relaciones entre ellos, permitiendo una representación semántica del conocimiento mediante un sujeto, un predicado y un objeto (Berners-Lee et al., 2001).

La tecnología LOD se basa precisamente en este principio: utilizar ontologías y estándares de la Web Semántica, para conectar conjuntos de datos entre sí, de forma que puedan ser entendidos, combinados y reutilizados por personas y máquinas, sin necesidad de estructuras rígidas o repositorios centralizados (Bizer et al., 2023). En lugar de silos aislados de información, LOD permite construir redes de conocimiento accesibles mediante consultas y que se pueden actualizar fácilmente (Bauer y Kaltenböck, 2012).

Fuera del ámbito forestal, existen ejemplos consolidados que ilustran el potencial de LOD. Plataformas como Wikidata (Allison-Cassin y Scott., 2018) o OpenStreetMap, a través de iniciativas como LinkedGeoData (Stadler et al., 2012; Almendros-Jiménez et al., 2019), demuestran cómo los datos estructurados y enlazados pueden mejorar la interoperabilidad y reutilización de la información a gran escala y permite su publicación en abierto. Por su parte, la directiva europea INSPIRE, orientada a la armonización de los datos espaciales, reconoce LOD como un enfoque adecuado para mejorar la integración de la información espacial heterogénea que se genera y publica dentro del contexto europeo (Cetl et al., 2019).

Este enfoque ha comenzado a aplicarse también en la armonización de bases de datos forestales. Iniciativas como el proyecto *Cross-Forest*¹ y el repositorio de información del mismo nombre², han demostrado cómo los datos procedentes de inventarios y mapas forestales de España y Portugal pueden ser convertidos en LOD para distintos usos utilizando ontologías específicas (Llompert, 2019). En la misma línea, el proyecto *LOD.for.Trees* amplía esta idea al incorporar la dimensión temporal, integrando distintas ediciones de los IFN con otras bases de datos relevantes (p. ej. límites municipales) y fuentes de información disponibles en la web, como DBpedia³. Los resultados de *LOD.for.Trees* se encuentran accesibles en el repositorio semántico *Semantic Forest*⁴, que facilita la consulta de esta información en formato LOD.

2.3. Bosque Modelo Palencia: Contexto y Relevancia

Este trabajo se enmarca dentro del Bosque Modelo Palencia (BMP), que comprende 91 municipios del norte de la provincia de Palencia. Este territorio aspira a convertirse en el primer Bosque Modelo de España. Esta red internacional comenzó en Canadá en 1994 para promover la gestión integrada y sostenible de los ecosistemas forestales, con especial enfoque en la gobernanza colaborativa entre distintas entidades y países (Besseau et al., 2002). En ella, se busca la participación de las personas del territorio, teniendo en cuenta los múltiples usos del monte, y el fomento de sinergias entre conservación, producción y desarrollo rural (LaPierre, 2003). La afiliación a la red es voluntaria y está compuesta por distintas partes interesadas como

¹ <https://crossforest.eu/>

² <https://crossforest.gsic.uva.es/sparql>

³ <https://www.dbpedia.org/>

⁴ <https://semanticforest.gsic.uva.es/sparql>

administraciones públicas, asociaciones, comunidades indígenas, centros de investigación y universidades, entre otras.

Desde el punto de vista forestal, el BMP es una zona con un patrimonio significativo (Cruz, 2019), en torno a un 28% de la superficie del BMP es superficie forestal arbolada. Predominan los melojares (*Quercus pyrenaica* Willd.) y en menor medida plantaciones de pinares (*Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* J.F.Arnold y *Pinus pinaster* Ait.), otras quercíneas (*Quercus ilex* L., *Quercus faginea* Lam., *Quercus petraea* (Matts.) Liebl), plantaciones de chopos, vegetación de ribera, y hayedos (*Fagus sylvatica* L.) en las áreas de mayor altitud.

Entre estas formaciones, los pinares y robledales presentan un notable potencial de aprovechamiento. Estas masas forestales están presentes en 70 de los 91 municipios que conforman el BMP. Entre los municipios con mayor superficie de robledales y pinares destacan Cervera de Pisuerga, Aguilar de Campoo y Velilla del Río Carrión, cada uno con más de 6.000 hectáreas. Además, en la provincia de Palencia, más de la mitad de la superficie forestal arbolada (59,47 %) corresponde a montes públicos de entidades locales.

Esta zona también cuenta con espacios naturales protegidos como el Parque Natural de la Montaña Palentina, los paisajes de Covalagua y Las Tuerces o los monumentos naturales de la Cascada de Covalagua y el Laberinto de Las Tuerces. Además, varias de estas áreas forman parte de la Red Natura 2000 como Lugares de Interés Comunitario (LIC) y/o Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA).

Sin embargo, el territorio comparte desafíos comunes con otras zonas rurales de España, como el despoblamiento, el abandono de los usos tradicionales del suelo y la necesidad de impulsar estrategias de desarrollo sostenible que mejoren la economía local (Cruz y García-Bengochea, 2020).

En este contexto, la iniciativa del BMP constituye un caso de estudio especialmente adecuado para explorar la aplicación de nuevas herramientas orientadas a mejorar el análisis y gestión forestal local utilizando datos abiertos. Algunos de los motivos son: su escala local, la variedad de agentes que participan en la iniciativa (administraciones, asociaciones forestales, universidad...), la disponibilidad de datos dispersos en distintas fuentes y la existencia de dinámicas colaborativas previas con las personas implicadas en el territorio. Todo esto lo que lo convierten en un caso idóneo para los objetivos de este Trabajo de Fin de Máster.

3. OBJETIVOS

3. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es diseñar una herramienta de visualización de datos que sirva de apoyo para abordar necesidades concretas relacionadas con la gestión y el estudio de las masas de robledales y pinares en el ámbito local del Bosque Modelo Palencia (BMP).

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Identificar e integrar las bases de datos públicas forestales y las variables de interés que permitan caracterizar estas masas a distintas escalas temporales y espaciales.
- Describir las necesidades específicas de los distintos tipos de usuarios identificados (docentes y estudiantes, personal investigador y gestores/as) en relación con las especies y zonas de estudio, y cómo pueden abordarse mediante la integración y análisis de datos públicos.
- Analizar y realizar cálculos de variables e índices a partir de la información integrada que responda a las necesidades de los usuarios.
- Diseñar paneles interactivos o *dashboards* visuales e intuitivos donde se representa la información integrada y los resultados generados a nivel de parcela y de municipio.
- Proporcionar una breve interpretación forestal de los datos representados en los *dashboards* de parcelas y de municipios a modo de ejemplo de la información útil que se puede extraer de los mismos.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4. MATERIAL Y MÉTODOS

En este capítulo se presentan, en primer lugar, las fuentes de datos públicas utilizadas, que incluyen inventarios y mapas forestales nacionales, límites administrativos y bases de datos semánticas y climáticas (sección 4.1). A continuación, se hace una breve descripción forestal del área de estudio y las especies forestales de interés (sección 4.2). Posteriormente, se presenta la definición de casos de uso en los ámbitos educativo, de investigación y de gestión local, que orientan la aplicación práctica del sistema propuesto (sección 4.3). Finalmente, se describen las técnicas de análisis y tratamiento de datos aplicadas para generar los paneles interactivos (*dashboards*) a dos niveles espaciales: parcela y municipio (sección 4.4).

4.1. Fuentes de Datos

Para el desarrollo del presente trabajo se han utilizado diversas fuentes de datos con información geoespacial, todas ellas públicas en distintas plataformas, que permiten caracterizar el territorio del Bosque Modelo Palencia (BMP) desde una perspectiva forestal, bioclimática y administrativa. Estos datos se han seleccionado en función de su relevancia para el análisis, su disponibilidad y su potencial de integración. En esta sección se describen, de forma detallada, las bases de datos empleadas en este trabajo.

4.1.1. Inventarios Forestales Nacionales

El Inventario Forestal Nacional español (IFN) es un inventario continuo que se lleva a cabo en las masas forestales arboladas y constituye una de las principales fuentes de información forestal a escala estatal (Alberdi et al., 2017). El IFN se inició en 1964, con la primera edición en la que se llevó a cabo un muestreo de parcelas temporales. A partir de la segunda edición (1986-1996) el muestreo ha sido sistemático de parcelas permanentes en una malla de 1km x 1km (Figura 4.1.) que se repite aproximadamente cada 10 años, con el objetivo de estudiar su evolución en el tiempo.

La información derivada se encuentra publicada en el Banco de Datos de la Naturaleza por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)⁵ a nivel provincial y con distintos formatos, dependiendo de la edición del inventario. El muestreo del IFN se lleva a cabo dentro de cuatro parcelas de radio variable (5, 10, 15 y 25m de radio)

⁵ <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-forestal-nacional.html>

partiendo de una misma coordenada central (Figura 4.1), en cada cual se estiman variables distintas (matorral, regenerado...). Las parcelas de radio variable son muy habituales en inventarios a gran escala como el IFN, ya que permiten estimar de manera eficiente y a un coste reducido variables representativas de las masas forestales. El diámetro mínimo de los árboles a medir a la altura del pecho varía en función del tamaño de la subparcela: en la de 5m de radio es de 7,5cm y aumenta progresivamente a medida que se incrementa el radio.

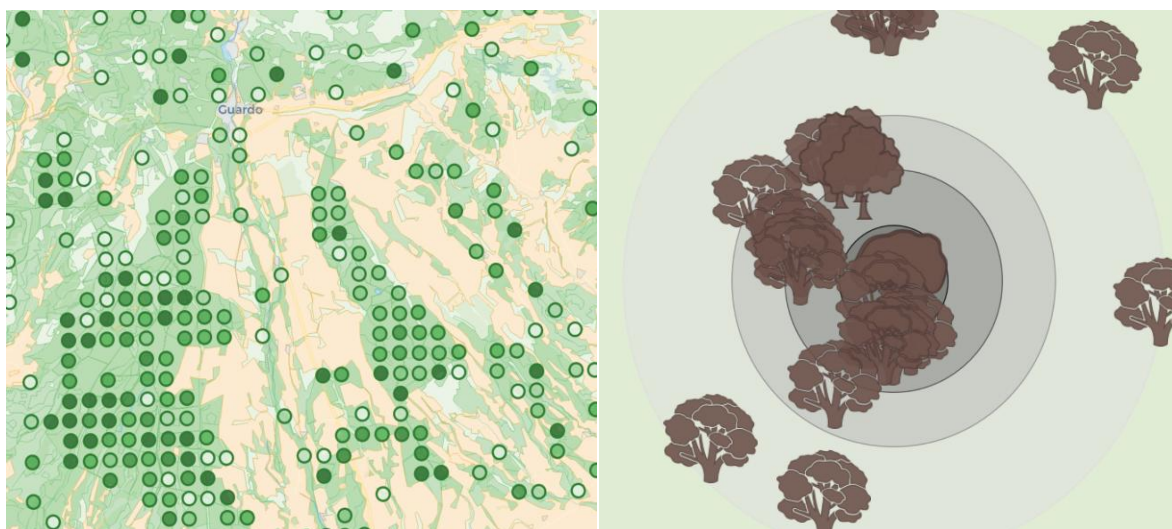


FIGURA 4.1. A la izquierda, malla regular de 1km x 1km en la que se distribuyen las parcelas del IFN en las masas arboladas en la zona de Guardo. A la derecha, ejemplo de una parcela del IFN de radio variable (5, 10, 15 y 25m) con la misma coordenada central donde se representan los árboles muestreados en la parcela. Fuente: <https://forestexplorer.gsic.uva.es>

Además, los datos de la segunda y tercera edición del inventario están integrados a nivel nacional como datos abiertos enlazados (LOD), en la base de datos semántica *Semantic Forest*⁶.

En este trabajo hemos utilizado datos procedentes de las tres últimas ediciones del inventario: IFN2, IFN3 e IFN4, con especial interés en las parcelas que se han remedido en los 3 inventarios y de las cuales se puede estudiar su evolución en el BMP en los últimos 30 años (1991-2021). En la Tabla 4.1. se muestran las características más concretas de estos inventarios como la fuente, el formato en el que se encuentra disponible cada uno, las fechas de toma de datos o las variables concretas que se recopilan en los 3 inventarios y que se van a utilizar en este trabajo. Además, únicamente se han utilizado las parcelas que se encuentran dentro de los

⁶ <https://semanticforest.gsic.uva.es/sparql>

límites municipales del BMP y que contienen datos de existencias forestales (nº de pies/ha, área basimétrica, volumen...) de las especies de interés: robledales y pinares.

En el caso del IFN2 y el IFN3 la información se encuentra integrada en *Semantic Forest*, la información básica se ha descargado de la aplicación *DescargaIFN*, que nos ha permitido obtener los datos tanto a nivel de árbol como de parcela subiendo una capa *shapefile* con los límites del BMP. Para descargar información complementaria en CSV (del inglés *Comma-Separated Values*, archivo de texto plano en formato abierto que sirve para almacenar datos en forma de tabla) realizamos consultas directamente a la base de datos semántica *Semantic Forest*. En el caso del IFN4 hemos tenido que descargar la información publicada a nivel provincial, tanto de las bases de datos SIG como de la base de datos de campo y transformar las tablas donde se encuentran los datos que necesitamos (PCDatosMap, PCEspParc, PCMayores, PCMatorral, Parcelas_exs) a CSV para poder integrar la información mediante los identificadores únicos de los árboles y de las parcelas.

TABLA 4.1. Descripción de las bases de datos de los Inventarios Forestales Nacionales que se han empleado en este trabajo

Conjunto de Datos	Fuente	Formato	Escala / Resolución	SRC	Fecha Toma de Datos	Variables Utilizadas
IFN2	Base de datos de Bosque y Biodiversidad (MITECO), <i>Semantic Forest</i>	DBF (<i>DataBase File</i>), LOD (<i>Linked Open Data</i>)	Provincial, nacional. malla 1km x 1km	ED50 UTM 30N, WGS84 (lat, lng)	1986 – 1996 (Palencia: 1991)	- Coordenadas del centro de la parcela
						- Identificador del estrato al que pertenece la parcela
IFN3	Base de datos de Bosque y Biodiversidad (MITECO), <i>Semantic Forest</i>	Microsoft Access, LOD	Provincial, nacional. malla 1km x 1km	ED50 UTM 30N, WGS84 (lat, lng)	1997 – 2007 (Palencia: 2003)	- Diámetro a la altura del pecho (mm)
						- Altura total del árbol (m)
IFN4	Base de datos de Bosque y Biodiversidad (MITECO)	Microsoft Access	Provincial. malla 1km x 1km	ETRS89 UTM 30N	2008 – Actualidad (Palencia: 2021)	- Especie del árbol
						- Calidad de la madera
IFN3	Base de datos de Bosque y Biodiversidad (MITECO), <i>Semantic Forest</i>	Microsoft Access, LOD	Provincial, nacional. malla 1km x 1km	ED50 UTM 30N, WGS84 (lat, lng)	1997 – 2007 (Palencia: 2003)	- Forma de cubicación
						- Densidad (pies/ha)
IFN4	Base de datos de Bosque y Biodiversidad (MITECO)	Microsoft Access	Provincial. malla 1km x 1km	ETRS89 UTM 30N	2008 – Actualidad (Palencia: 2021)	- Área basimétrica (m ² /ha)
						- Volumen con corteza (m ³ /ha)
IFN3	Base de datos de Bosque y Biodiversidad (MITECO), <i>Semantic Forest</i>	Microsoft Access, LOD	Provincial, nacional. malla 1km x 1km	ED50 UTM 30N, WGS84 (lat, lng)	1997 – 2007 (Palencia: 2003)	- Origen de la masa
						- Edad
IFN4	Base de datos de Bosque y Biodiversidad (MITECO)	Microsoft Access	Provincial. malla 1km x 1km	ETRS89 UTM 30N	2008 – Actualidad (Palencia: 2021)	- Estado de desarrollo
						- Especie matorral
IFN3	Base de datos de Bosque y Biodiversidad (MITECO), <i>Semantic Forest</i>	Microsoft Access, LOD	Provincial, nacional. malla 1km x 1km	ED50 UTM 30N, WGS84 (lat, lng)	1997 – 2007 (Palencia: 2003)	- Altura media matorral (dm)
						- Fracción de cubida cubierta matorral (%)
IFN4	Base de datos de Bosque y Biodiversidad (MITECO)	Microsoft Access	Provincial. malla 1km x 1km	ETRS89 UTM 30N	2008 – Actualidad (Palencia: 2021)	- Modelo de combustible
						- Identificador del estrato de las teselas del MFE50 (IFN3)

En la Tabla 4.2., se compara el número de parcelas que contienen datos de existencias forestales de pinares (*P. sylvestris*, *P. nigra* y *P. pinaster*) y robledales (*Q. pyrenaica*, *Q. petraea* y *Q. faginea*) a diferentes escalas espaciales (nacional, comunidad autónoma, provincial y de la zona de estudio, BMP) en cada edición del inventario. Asimismo, se muestran las parcelas que se encuentran en dos de los tres inventarios o en los tres. Algunas parcelas incluyen simultáneamente especies de pino y de roble, estas se representan en la Tabla 4.2. como "Mezcla".

Para seguir la trazabilidad de las parcelas de un inventario a otro se ha tenido en cuenta el código de la provincia en la que se encuentran, el estadillo y, en el tercer y cuarto inventario, que sean de clase A y subclase 1, es decir: *"Parcelas en las que se localice el rejón y esté bien implantado. Se utilizarán para la comparación de inventarios y para el cálculo de existencias actuales"*.

TABLA 4.2. Número de parcelas con datos de existencias forestales de pinares, robledales, mezcla (pinares y robledales) y el total, en cada inventario por separado, parcelas que se inventariaron en el IFN2 y en el IFN3, en el IFN3 y en el IFN4 y en los 3 inventarios (IFN2, IFN3 e IFN4) para diferentes escalas espaciales

Escala	Tipo	Parcelas IFN2	Parcelas IFN3	Parcelas IFN4	Parcelas IFN2 – IFN3	Parcelas IFN3 – IFN4	Parcelas IFN2 – IFN3 – IFN4
Nacional	Pinares	22.548	23094	13.181	14.744	6.707	6.293
	Robledales	7.140	7.873	7.307	3.963	2.722	2.362
	Mezcla	2.923	3.034	2.378	2.913	1.843	1.664
	Total	32.611	34.001	22.866	21.620	11.272	10.319
Castilla y León	Pinares	4.758	4.886	1.816	3.449	968	1.016
	Robledales	2.062	3.019	2.763	1.579	1.166	1.004
	Mezcla	542	839	650	625	542	392
	Total	7.362	8.744	5.229	5.653	2.677	2.412
Palencia	Pinares	238	258	128	163	68	77
	Robledales	145	253	229	111	89	83
	Mezcla	39	63	69	40	36	20
	Total	422	574	426	314	193	180
BMP	Pinares	227	245	121	154	63	72
	Robledales	85	165	134	60	41	38
	Mezcla	39	63	68	40	36	20
	Total	351	473	323	254	140	130

Hay que tener en cuenta que, a nivel nacional, en el momento en el que se ha llevado a cabo este trabajo, el IFN4 no está completo, faltan los datos de las parcelas de toda la comunidad autónoma de Andalucía. Esto hace que el número de parcelas de toda España del IFN4 que se representan en la Tabla 4.2. sea menor al número real.

La Figura 4.2. muestra la distribución de las parcelas de pinares y robledales del BMP en el IFN2, IFN3, IFN4 y las que están en los tres inventarios que se van a utilizar en este trabajo.

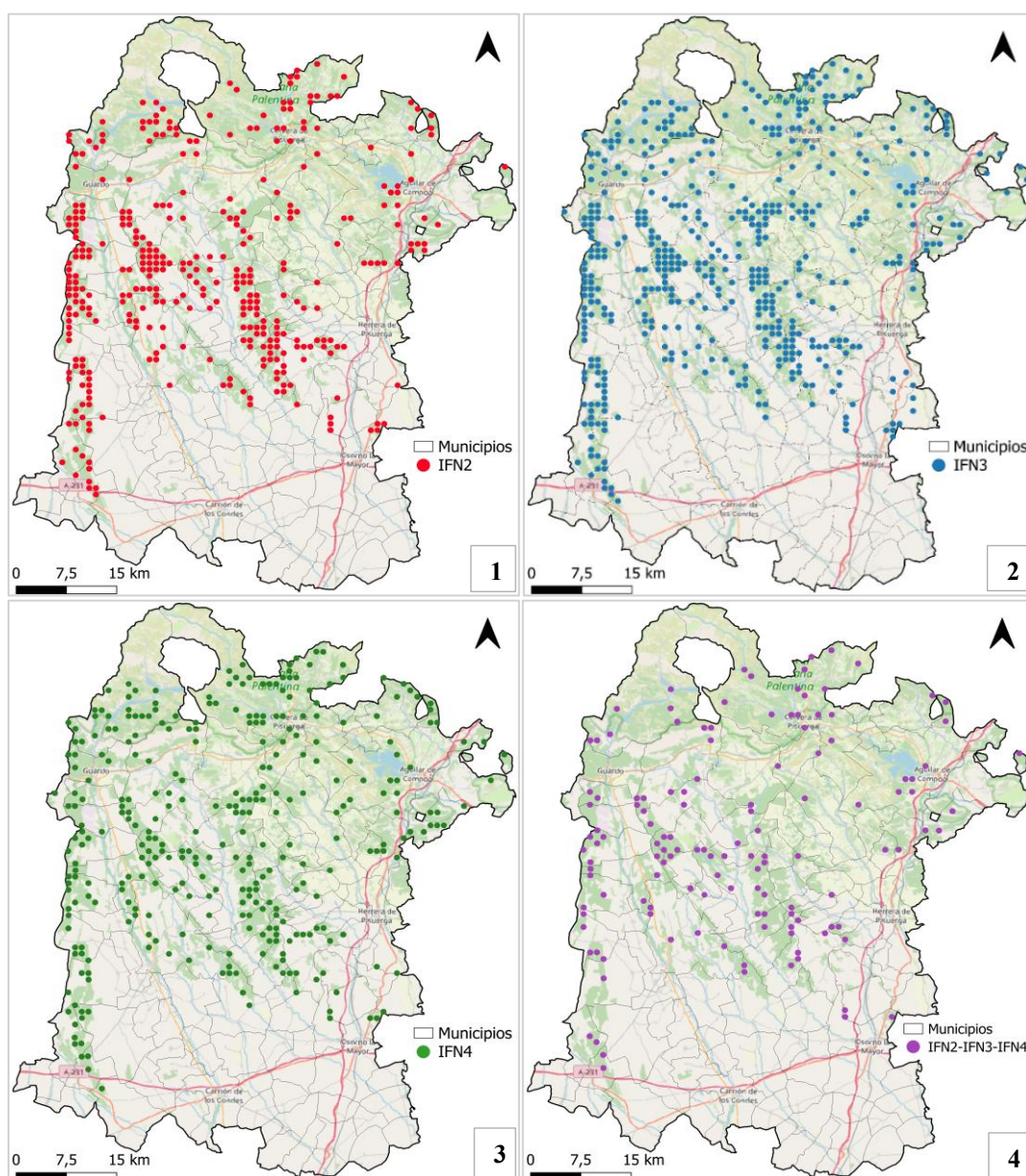


FIGURA 4.1. Parcelas de pinares y robledales en el Bosque Modelo Palencia del IFN2 (1), IFN3 (2), IFN4 (3) y las parcelas que se encuentran en los tres inventarios (4)

4.1.2. Mapas Forestales Nacionales

Los Mapas Forestales de España (MFEs) proporcionan una representación detallada de la superficie forestal del país. En este trabajo se han utilizado las series MFE50 y MFE25, que ofrecen una cobertura espacial continua con distinta resolución, 1:50.000 y 1:25.000, respectivamente. Al igual que los IFNs, los MFEs se encuentran publicados por el MITECO en el Banco de Datos de la Naturaleza, y su unidad básica de trabajo es la provincia en el MFE50⁷ y las comunidades autónomas, en la mayoría de los casos, en el MFE25⁸. También se ha empleado el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MCA)⁹ en el que se basa el IFN2 únicamente para calcular la superficie de los estratos forestales a nivel municipal. No se han comparado las formaciones arboladas del MCA con los MFEs porque la metodología de clasificación difiere entre unos mapas y otros.

En la Tabla 4.3. se presentan las características principales de estas bases de datos y las variables que se han empleado en este trabajo.

TABLA 4.3. Descripción de las bases de datos de los Mapas Forestales Españoles que se han usado en este trabajo

Conjunto de Datos / Capa	Fuente / Institución	Formato	Escala / Resolución	SRC	Fecha de publicación	Variables Utilizadas
MCA	MITECO	<i>Shapefile</i>	1:50.000 provincial	ED50 UTM 30N	1986-1996	- Geometrías teselas - Código estrato - Especies principales de la tesela
MFE50	MITECO	<i>Shapefile</i>	1:50.000 provincial nacional	ETRS89 UTM 30N	1998 – 2006 (Palencia: 2003)	- Geometrías teselas - Código estrato (MFE25)
MFE25	MITECO	<i>Shapefile</i>	1:25.000 provincial CCAA	ETRS89 UTM 30N	2011- actualidad (CyL: 2020-2021)	- Formación arbolada - Especies principales de la tesela

La Tabla 4.4. muestra el número de teselas (áreas homogéneas en términos de usos del suelo de más de 1ha en superficie forestal), en las que la especie principal son robledales o pinares. En este trabajo solo se han empleado los datos relativos a las teselas del Bosque Modelo Palencia (BMP). Hay que tener en cuenta que, a nivel nacional, los datos del MFE25 de las

⁷<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50.html>

⁸ https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/mapa-forestal-espana/mfe_25.html

⁹https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn2_cartografia_26_50.html#34-palencia

comunidades autónomas de Andalucía y Valencia todavía no se encontraban disponibles en el momento en el que se llevó a cabo este trabajo, por lo que el número de teselas que se representa en la tabla es menor al real.

TABLA 4.4. Número de teselas del MFE50 y del MFE25 cuya especie principal son pinares (*P. sylvestris*, *P. nigra* y *P. pinaster*) o robledales (*Q. pyrenaica*, *Q. petraea*, y *Q. faginea*) a diferentes escalas espaciales

Escala	Tipo	Nº de Teselas del MFE50	Superficie MFE50 (ha)	Nº de Teselas del MFE25	Superficie MFE25 (ha)
Nacional	Pinares	80.422	3.755.492,77	52.069	1.461.408,45
	Robledales	45.651	1.750.202,89	116.166	1.159.772,89
	Total	126.073	5.505.695,66	149.626	2.621.181,34
Castilla y León	Pinares	19.183	792.866,91	37.705	854.456,68
	Robledales	20.714	878.371,16	37.703	919.483,82
	Total	39.597	1.671.238,07	75.408	1.773.940,51
Palencia	Pinares	1.104	43.249,74	2.652	46.191,57
	Robledales	1.618	78.416,73	3.662	76.578,86
	Total	2.722	121.666,47	6.314	122.770,43
BMP	Pinares	1.079	42.279,06	2.551	44.966,15
	Robledales	1.226	54.079,05	2.826	53.928,86
	Total	2.305	96.358,11	5.377	98.895,01

En la Figura 4.3. se representa la superficie ocupada por las formaciones de pinares y robledales en el BMP en el MFE50 (2003) y el MFE25 (2020-2021).

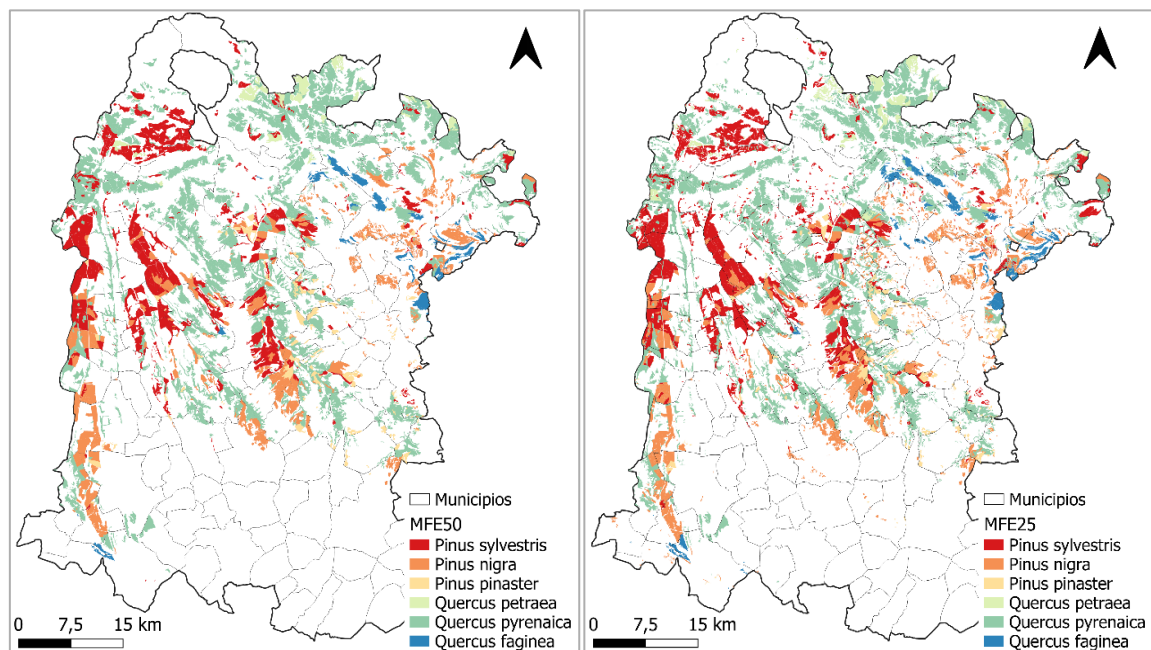


FIGURA 4.2. Comparación del Mapa Forestal Español a escala 1:50.000 (MFE50) y a escala 1:25.000 (MFE25). Diferencia de 17-18 años entre ambos mapas

4.1.3. Límites Administrativos

Con el fin de contextualizar los datos forestales en el marco administrativo del BMP, se ha trabajado con bases de datos sobre límites municipales, comarcales, espacios naturales y de montes de utilidad pública (MUP). La Tabla 4.5. muestra los detalles de estas bases de datos, publicadas por el MITECO^{10,11}, la Junta de Castilla y León¹² y el Instituto Geográfico Nacional (IGN)¹³. Las geometrías de los municipios y sus características, además de los códigos de los municipios en los que se encuentran las parcelas del IFN2 y el IFN3, también se encuentran disponibles en LOD, en el repositorio de *Semantic Forest*¹⁴.

TABLA 4.5. Descripción de las bases de datos de los límites administrativos y las variables utilizadas en este trabajo.

Conjunto de Datos / Capa	Fuente / Institución	Formato	Escala / Resolución	SRC	Última Actualización	Variables Utilizadas
MUP	Junta de Castilla y León	<i>Shapefile</i>	1:10.000, CCAA	WGS84 (lat, lng)	2024	- Geometrías MUP - Tipo de propiedad - Nombre MUP - Código MUP - Deslindado - Amojonado
Espacios Naturales Protegidos	MITECO	<i>Shapefile</i>	1:50.000, nacional	ETRS89 UTM 30N	2024	- Geometría espacio natural - Figura de protección
Límites municipales	IGN	<i>Shapefile</i> , LOD	1:25.000, nacional	ETRS89 UTM 30N	2024	- Geometría municipios - Código INE de 5 dígitos - Nombre del municipio
Límites Comarcas Agrarias	MITECO	<i>Shapefile</i>	1:25.00, nacional	ETRS89 UTM 30N	2007	- Geometría comarca - Nombre de la comarca

En la Figura 4.4. se muestran las bases de datos geospaciales empleadas que se describen en la Tabla 4.5. y cómo se distribuyen los diferentes elementos dentro del BMP.

¹⁰ <https://www.mapa.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agricultura>

¹¹ <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/espacios-naturales-protegidos.html>

¹² <https://idecyl.jcyl.es/geonetwork/srv/api/records/SPAGOBBCYLMNADTSPSMUP>

¹³ <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/limites-municipales-provinciales-autonomicos>

¹⁴ <https://semanticforest.gsic.uva.es/sparql>

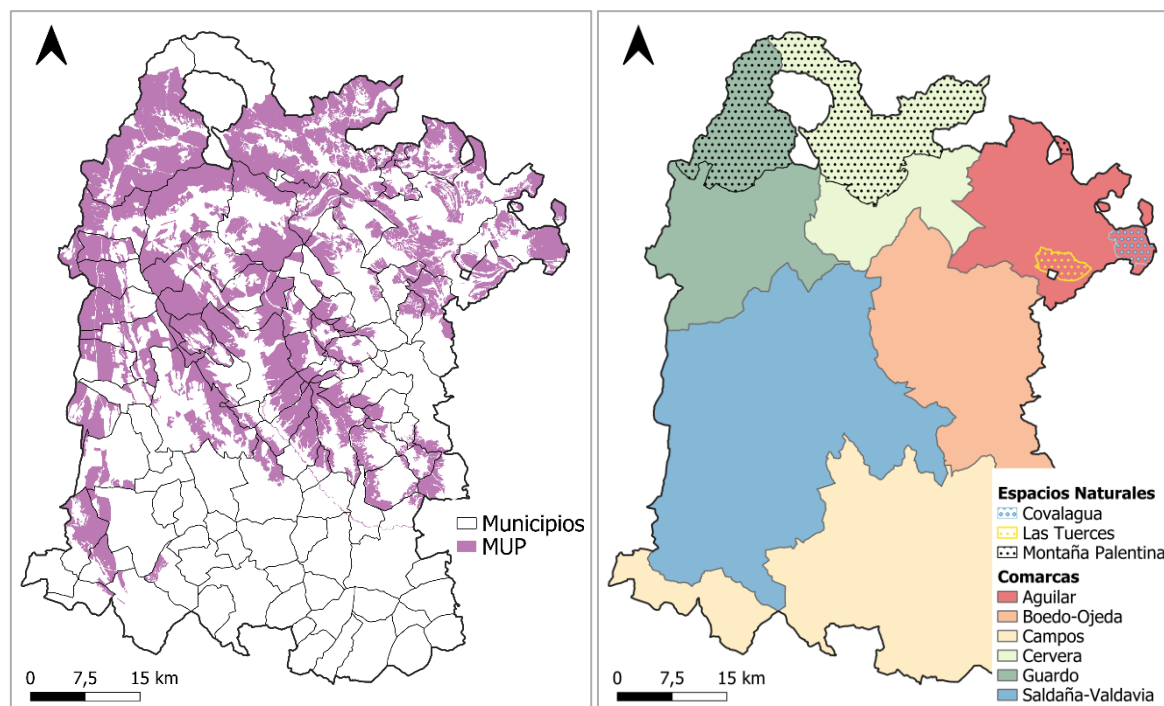


FIGURA 3.4. Delimitaciones administrativas del BMP (municipios, MUP, comarcas agrarias) y localización de los espacios protegidos.

4.1.4. Bases de Datos Semánticas y Aplicaciones

En este trabajo se exploraron diversas aplicaciones y fuentes de datos semánticos relacionadas con el sector forestal que utilizan datos del IFN, con el objetivo de acceder, consultar y reutilizar datos estructurados e integrados. Entre las herramientas empleadas se encuentran *DescargaIFN*¹⁵, *Semantic Forest*¹⁶ y *Forest Explorer*¹⁷. A continuación, se describe brevemente en qué consiste cada una y cómo fueron utilizadas en el desarrollo de este TFM.

DescargaIFN se utilizó para obtener los datos integrados de las parcelas del IFN2 e IFN3 correspondientes al ámbito del BMP. Esta aplicación permite subir una capa en formato *shapefile* y descargar automáticamente los datos asociados a las parcelas y a los árboles, filtrando por especie, así como su correspondencia entre inventarios (Figura 4.5.).

¹⁵ <https://descargaiifn.gsic.uva.es/es/>

¹⁶ <https://semanticforest.gsic.uva.es/sparql>

¹⁷ <https://forestexplorer.gsic.uva.es/es>

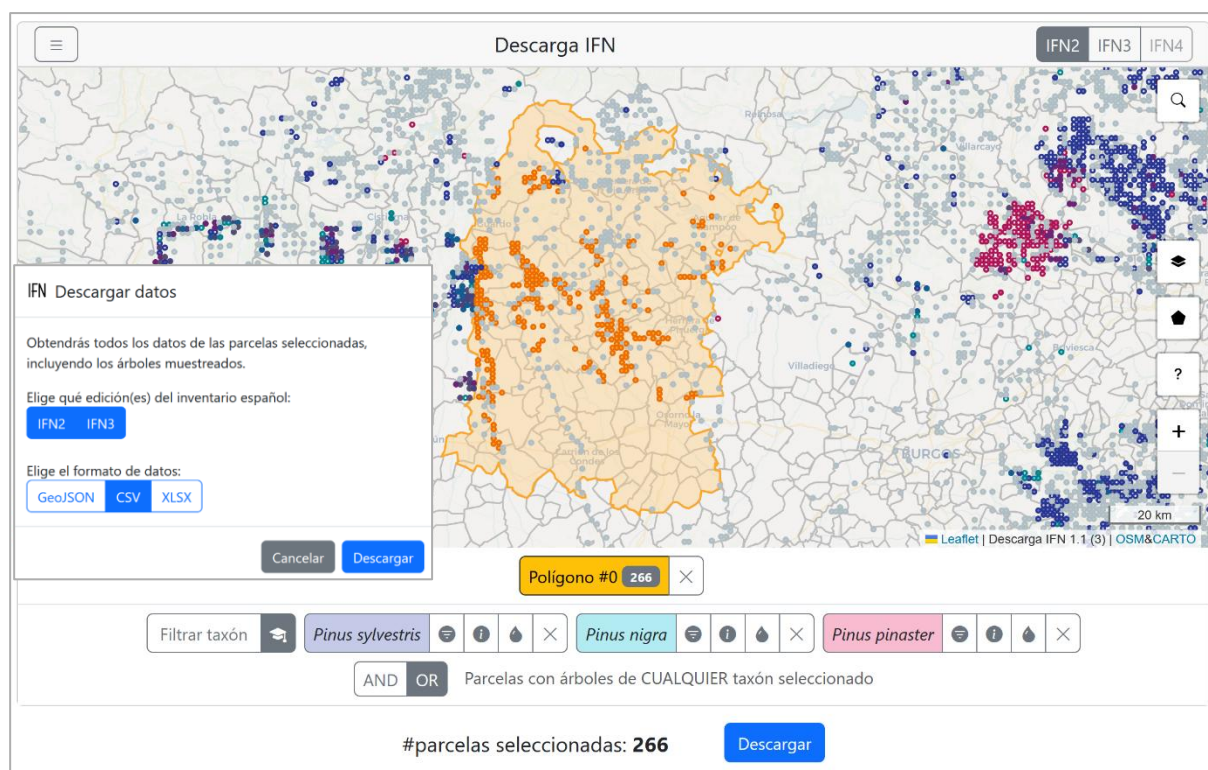


FIGURA 4.4. Captura de Pantalla de la aplicación *DescargaIFN*, donde se han filtrado las parcelas que contienen las especies de pinos de interés en el BMP. Fuente: <https://descargaifn.gsic.uva.es>

Semantic Forest es un repositorio que se fundamenta en datos abiertos enlazados (LOD) donde se encuentra la información integrada del IFN2 e IFN3 con los límites municipales. En este repositorio se basa *DescargaIFN*, pero tienen más información disponible, como la calidad de la madera, el daño del arbolado o los datos del matorral. Se han realizado consultas a este repositorio para descargar esta información en formato CSV (un tipo de archivo de texto abierto que almacena los datos en forma de tabla, lo que facilita su manejo en distintos programas). El aspecto de la interfaz gráfica donde se realizan las consultas a *Semantic Forest* se muestra en la Figura 4.6..

FIGURA 4.5. Interfaz gráfica donde se pueden hacer consultas directamente al repositorio *Semantic Forest* para descargar información más detallada del IFN2 y el IFN3. Fuente: <https://semanticforest.gsic.uva.es/sparql>

Finalmente, *Forest Explorer* es una aplicación de visualización de los datos del IFN2 e IFN3 que se sirvió como base conceptual para el diseño de los paneles interactivos desarrollados en este trabajo. Dentro de esta aplicación, diseñé previamente un *dashboard* a nivel de parcela que muestra las variables básicas del inventario (descripción de la parcela, mediciones del arbolado y existencias forestales) (Figura 4.7) (Crespo Lera et al., 2025). En este TFM se plantea el desarrollo de un *dashboard* mucho más ambicioso, que amplía las funcionalidades del diseñado en *Forest Explorer* incorporando nuevas variables y fuentes de información (como el IFN4, datos climáticos, análisis de la evolución de las parcelas o cálculo de índices, entre otros). Este diseño se prueba como caso de uso en el BMP, con el objetivo de responder a necesidades concretas de diferentes perfiles de usuario.

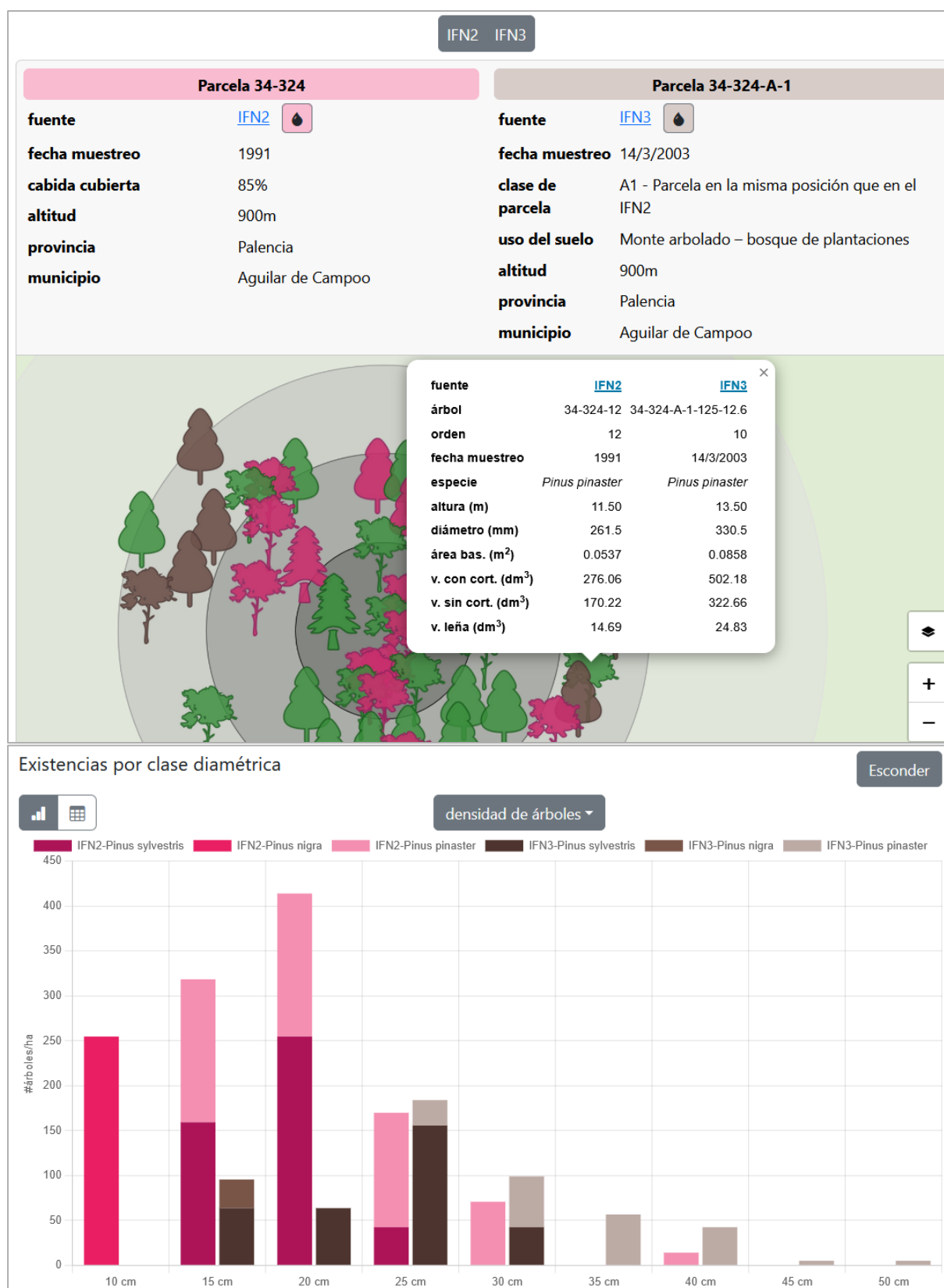


FIGURA 4.6. *Dashboard* de una parcela donde se comparan los datos del IFN2 e IFN3 en *Forest Explorer*. Fuente: <https://forestexplorer.gsic.uva.es>

4.1.5. Bases de Datos Climáticas

Además de la información comentada en los apartados anteriores, se han incorporado datos climáticos complementarios que permiten enriquecer el análisis del territorio. En particular, se han empleado capas climáticas históricas procedentes de la base de datos de *WorldClim*¹⁸ de las estimaciones de clima basados en datos de los años entre 1991 y 2020 (Fick y Hijmans, 2017).

Las características de esta base de datos y las variables empleadas con las que se ha calculado el índice de Aridez de Martonne (Martonne, 1926) y el climodiagrama de Walter-Leith (Ruano, I. y Vázquez-Veloso, A., 2022) de cada parcela del IFN2, IFN3 e IFN4 están en la Tabla 4.6..

TABLA 4.6. Descripción de la base de datos climática empleada en este trabajo y las variables utilizadas.

Conjunto de Datos / Capa	Fuente / Institución	Formato	Escala / Resolución	Fecha datos	Variables Utilizadas
WorldClim version 2.1	WorldClim	GeoTIFF	Píxel 1 x 1 km, global	1991-2020	- Temperatura media mensual (°C), - Temperatura media anual (°C), - Precipitación media mensual (mm), - Precipitación media anual (mm).

4.2. Área y Especies de Estudio

El Bosque Modelo Palencia (BMP) se sitúa en el norte de la provincia de Palencia (Figura 4.8.), representando en torno al 40% de la extensión de la provincia, y tiene aproximadamente el 28% de superficie forestal arbolada. Este territorio representa un área de transición ecológica entre el clima atlántico y el mediterráneo. El BMP comprende 91 municipios que en su conjunto tienen una extensión de 4.067,48 km².

La parte norte del BMP tiene una orografía más escarpada, coincidiendo con la cordillera Cantábrica, llegando a una altitud de en torno a 2000m, con predominio de pastizales de montaña, matorrales, robledales de *Q. pyrenaica*, *Q. petraea* y *Q. faginea*, algunos pinares de *P. sylvestris* y hayedos. En el oeste destacan los pinares de *P. sylvestris*, *P. nigra*, y *P. pinaster*. El relieve de la zona sur es más atenuado, bajando a una altitud sobre el nivel del mar

¹⁸ <https://www.worldclim.org/data/index.html>

de aproximadamente 800m. Esta zona del sur es mayoritariamente agrícola con algunas plantaciones productivas de chopos (*Populus x canadensis* Moench., *Populus nigra* L.) en las áreas de ribera.

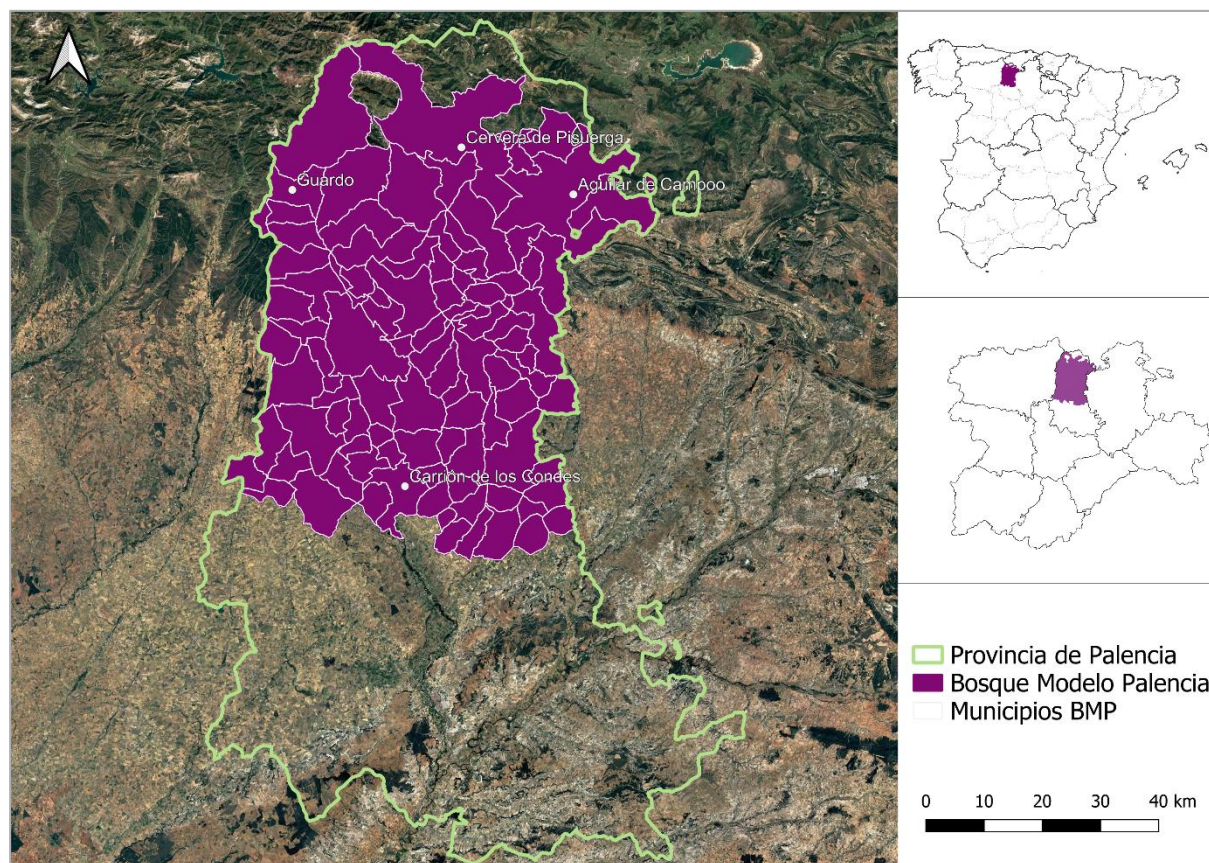


FIGURA 4.7. Mapa de localización del Bosque Modelo Palencia.

Este trabajo se centra en las formaciones de pinares y robledales, que ocupan en el BMP 44.966ha y 53.928ha, respectivamente, según datos del MFE25. Las especies principales de estas formaciones y de las que más datos de parcelas del IFN tenemos son: *Quercus pyrenaica*, *Quercus faginea*, *Quercus petraea*, *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* y *Pinus pinaster*. Se han seleccionado estas masas forestales por su potencial de aprovechamiento futuro. Además, en muchos casos, se ha producido un abandono de las mismas y se percibe una necesidad de estudio y gestión para intentar mejorar su mal estado y baja productividad.

La mayor parte de las masas de robledales están formadas por pies de clases diamétricas (CD) muy bajas, normalmente forman montes bajos con mucha densidad y de pequeñas dimensiones por la gran competencia. En el caso de los pinares de la zona, muchos de ellos son

plantaciones hechas en MUP entre las CD 20 y 30. Las especies que aportan un mayor volumen maderable en la provincia son el melojo, seguido del pino silvestre y del laricio.

En la Figura 4.9. se muestran fotos de un pinar de pino silvestre (izquierda) y un melojar (derecha) en dos municipios del BMP.



FIGURA 4.8. Pinar de *Pinus sylvestris* (izquierda) en Poza de la Vega, foto realizada en mayo de 2025. Robledal de *Quercus pyrenaica* en Congosto de Valdavia (derecha), foto realizada en marzo de 2025. Fuente: FAFCYLE.

Por otro lado, en cuanto a la vulnerabilidad de estas formaciones frente al cambio climático, los robledales parece que no se encuentran en una zona muy desfavorable por lo que es probable que, en general, no se vean muy afectadas sus áreas de distribución actuales (Bravo et al., 2022). El rebollo, especie que predomina en el BMP, tiene una alta capacidad de adaptación, y al igual que el roble albar, la mayor parte de los problemas asociados a estas masas se deben a la escasa regeneración natural por semilla (Bravo et al., 2022). Esto lleva a estas masas a un alto riesgo de estancamiento y decaimiento forestal relacionados con un mayor riesgo de incendios. En cambio, para el quejigo el aumento de la aridez parece ser lo más problemático (Bravo et al., 2022).

Respecto a los pinares de pino silvestre, la mayor parte de estas repoblaciones son jóvenes e intermedias y se encuentran en zonas que antes eran ocupadas por quercíneas, por lo que en algunas ocasiones se producen formaciones de bosques mixtos. Esta especie tiene bastante tolerancia a la sequía, aunque la disminución de la precipitación y el incremento de la temperatura puede afectar a su productividad y a su regeneración, aumentando el riesgo de daño por plagas como la procesionaria o por escolítidos (Bravo et al., 2022). Los pinares de pino laricio y negral pueden tener también problemas de disminución de su productividad por el cambio progresivo a un clima más árido (Bravo et al., 2022).

4.3. Definición de Casos de Uso y Necesidades para la Gestión

Dada la diversidad de funciones que cumple un territorio como el del BMP, y con la cantidad de información disponible se han identificado diferentes perfiles de usuarios que podrían beneficiarse de la información y el análisis de los datos mostrados en las fichas de parcelas y municipios generados en este trabajo. A continuación, se describen los tipos de usuarios y cómo se han identificado sus necesidades:

- **Docentes y/o estudiantes:** para definir los posibles casos de uso de este tipo de usuarios se ha planteado el ejemplo de las necesidades concretas del profesorado y los estudiantes del Máster de Ingeniería de Montes de la Universidad de Valladolid. Se han seleccionado 5 asignaturas obligatorias teniendo en cuenta cómo podrían beneficiarse del uso del *dashboard* con los datos agregados de las bases de datos públicas presentadas en los apartados anteriores (Sección 4.1.). Para seleccionar las asignaturas se ha tenido en cuenta la descripción de sus guías docentes publicadas en la página web de la Universidad de Valladolid (UVA)¹⁹.
- **Personal Investigador:** para identificar las necesidades de este tipo de usuarios se han tenido en cuenta las actas de las comunicaciones presentadas el pasado junio en la 9ª edición del Congreso Forestal Nacional. Este congreso, organizado por la Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF), es el evento más relevante del sector forestal a nivel nacional. Se celebra aproximadamente cada 4 años desde 1993 y reúne a investigadores, técnicos y empresas del sector que exponen y debaten sobre los temas más relevantes en la actualidad. En este trabajo se han filtrado, a partir de los 603 textos

¹⁹ <https://www.uva.es/export/sites/uva/2.estudios/2.04.master/2.03.01.oferta/estudio/Master-Universitario-en-Ingenieria-de-Montes/>

de posters y comunicaciones orales publicados en las actas del congreso²⁰, 9 textos que utilizan los datos de las diferentes ediciones del IFN y/o del MFE en sus investigaciones. La selección se llevó a cabo en dos fases: primero, mediante una búsqueda en títulos y palabras clave de los términos “inventario forestal”, “IFN”, “mapa forestal” o “MFE”; y después, mediante la lectura de los resúmenes para comprobar su adecuación a los objetivos de este trabajo. Finalmente, los 9 textos seleccionados sirvieron de base para identificar las necesidades de información de este perfil de usuarios, las cuales se describen en la subsección 4.3.2.

- **Administración local:** los casos de uso en términos de gestión local del BMP se han enfocado principalmente en las administraciones locales, dado que una gran parte de la superficie forestal de pinares y robledales del BMP son MUP gestionados por la administración regional. Para definir las necesidades de este tipo de usuarios se ha tenido en cuenta el plan forestal de Castilla y León que se aplica en la gestión de los montes y que puede verse apoyada por los datos integrados en el *dashboard* que se ha diseñado en este trabajo.

4.3.1 Identificación de los Casos de Uso en Educación

A continuación, se hace una breve descripción de las 5 asignaturas obligatorias del Máster de Ingeniería de Montes ofertadas por la UVa seleccionadas por considerar que pueden utilizar un *dashboard* con información forestal. Además, se presentan los posibles casos de uso para cada asignatura.

- **Industrias de 1º transformación de la madera y el corcho:** esta asignatura se centra en las industrias que transforman la madera y el corcho en sus primeras fases: aserrado, fabricación de tableros y productos de corcho. A través del uso del *dashboard*, se plantea como herramienta de apoyo para analizar la disponibilidad y características de la materia prima a nivel de parcela o municipio, lo que permite una mejor comprensión del entorno forestal y su relación con la industria de transformación. En la Tabla 4.7. se describen algunos ejemplos del uso que se le pueden dar a los *dashboards*, tanto a nivel de parcela como de municipio, en esta asignatura.

²⁰ <https://9cfe.congresoforestal.es/actas-9cfe/>

TABLA 4.7. Descripción de los posibles casos de uso del *dashboard* para la asignatura de Industrias de la 1º transformación de la madera y el corcho del máster de ingeniería de montes.

Finalidad didáctica	Ejemplos de uso
Evaluación de la disponibilidad de materia prima a nivel de parcela y municipio (volumen, especies principales, incremento medio en volumen)	- Estimar la oferta potencial de madera por parcela o municipio. - Identificar zonas con altas existencias y buena calidad de madera (útil para ubicar industrias). - Relacionar la evolución de las existencias forestales entre distintas ediciones del IFN con la planificación del abastecimiento industrial.
Análisis de calidad y productividad de la madera	- Valorar el potencial de las parcelas según su aptitud para diferentes productos (tableros, chapas...). - Evaluar el impacto de los daños del arbolado y las características fisiográficas (pendiente, suelo...) en la viabilidad técnica y económica de los distintos aprovechamientos.

- **Industrias de 2º transformación de la madera y destilación:** esta asignatura, continuación de la anterior, se centra en los procesos tecnológicos y productivos de las industrias de segunda transformación de la madera como: carpintería, fabricación de muebles, madera laminada encolada o la industria resinera. En la Tabla 4.8. se describen los posibles casos de uso de los *dashboards* en esta asignatura. Aunque concretamente en la zona del BMP no se resina el pinaster, se ha querido presentar un posible caso de uso en esta asignatura en al ámbito de la resinación.

TABLA 4.8. Descripción de los posibles casos de uso del *dashboard* para la asignatura de Industrias de la 2º transformación de la madera y destilación del máster de ingeniería de montes.

Finalidad didáctica	Ejemplos de uso
Localización y caracterización de pinares resinables	- Identificar especies dominantes por parcela y variables clave como: edad y estado del arbolado, diámetro medio cuadrático, altura dominante, daños en el arbolado que pueden influir en la viabilidad resinera.
Complemento de actividades de certificación y control de calidad	- Estimaciones de carbono fijado (valor externalidades ambientales de la industria) - Valoración económica de los recursos ecosistémicos forestales como materia prima

- **Mejora genética forestal:** introduce los fundamentos y aplicaciones de la genética aplicada a masas forestales, con el objetivo de mejorar características como el crecimiento, la calidad de la madera, la resistencia a agentes bióticos o la adaptación al cambio climático. A través del *dashboard*, se propone un conjunto de casos de uso

orientados a apoyar la identificación y selección de poblaciones base, el diseño de ensayos y la planificación de estrategias de conservación genética. En la Tabla 4.9. se presentan los posibles casos de uso identificados para el uso del *dashboard* en esta asignatura.

TABLA 4.9. Descripción de los posibles casos de uso del *dashboard* para la asignatura de mejora genética forestal del máster de ingeniería de montes.

Finalidad didáctica	Ejemplos de uso
Apoyo a la identificación de poblaciones base para mejora genética	- Localizar parcelas por especie dominante y estado de desarrollo o edad. - Utilizar altura dominante y diámetro medio cuadrático de la parcela como indicadores fenotípicos. - Información de densidad, cobertura, daños y calidad como indicador de vigor y competencia. - Información histórica de cambios estructurales entre inventarios para evaluar estabilidad o regresión.
Identificación de parcelas para el diseño de ensayos comparativos	- Homogeneidad de condiciones ecológicas (altitud, pendiente, orientación, clima) - Considerar el contexto territorial (municipio, figura de protección, MUP...)

- **Ordenación de los recursos forestales:** la asignatura abarca los fundamentos y herramientas de la planificación forestal teniendo en cuenta criterios ecológicos, sociales y económicos para la gestión del territorio. Se estudian métodos clásicos y modernos de ordenación, técnicas de programación matemática, modelos de simulación forestal y planificación a distintas escalas, desde el monte hasta el nivel regional y nacional. La Tabla 4.10. muestra los posibles casos de uso identificados para esta asignatura utilizando los *dashboards*.

TABLA 4.10. Descripción de los posibles casos de uso del *dashboard* para la asignatura de ordenación de los recursos forestales del máster de ingeniería de montes.

Finalidad didáctica	Ejemplos de uso
Análisis espacial y temporal de masas forestales	- Identificación de masas puras, mixtas, regulares e irregulares. - Seguimiento de la evolución de los ecosistemas forestales mediante comparativas temporales (IFN, MFE), útil para evaluar efectos de planes de ordenación. - Identificación de áreas con distintos estados de conservación, uso o riesgo (incendios, plagas...).
Apoyo en la planificación y modelización forestal	- Extraer datos para parametrizar modelos de simulaciones forestales y programación línea (volúmenes, tasas de crecimiento, regeneración...) - Ayuda a justificar decisiones de ordenación. - Comparar objetivos de ordenación con datos de campo para detectar áreas prioritarias o de conflicto.
Seguimiento de indicadores selvícolas y gestión sostenible	- Comparar indicadores de biodiversidad, densidad de las masas, fijación de carbono o estado sanitario en diferentes municipios o parcelas. - Apoyar informes técnicos para la evaluación continua de la ordenación y toma de decisiones adaptativa basada en datos.

- **Ordenación del territorio:** se centra en el conocimiento, diagnóstico y planificación integral del territorio, incluyendo aspectos demográficos, socioeconómicos, infraestructuras y el marco normativo vigente. Se trabajan metodologías para la elaboración de planes de ordenación, identificación de usos del suelo y figuras legales de protección. El *dashboard* puede facilitar el análisis territorial en contextos forestales complejos como el Bosque Modelo Palencia. La Tabla 4.11. representa los casos de uso concretos de los *dashboards* identificados para esta asignatura.

TABLA 4.11. Descripción de los posibles casos de uso del *dashboard* para la asignatura de ordenación del territorio del máster de ingeniería de montes.

Finalidad didáctica	Ejemplos de uso
Diagnóstico territorial	- Facilitar la realización de una matriz DAFO del territorio (Identificar zonas con gran volumen de madera de calidad, biodiversidad, captura de carbono, zonas más vulnerables a daños...) - Caracterización básica de la parcela (altitud, suelo, clima, orientación...) - Identificar masas forestales dentro de figuras de protección territorial, de propiedad pública o privada...

4.3.2. Identificación de los Casos de Uso en Investigación

En la Tabla 4.12. se presentan los títulos de los 9 trabajos de investigación filtrados de las actas de la 9ª edición del Congreso Forestal Español obtenidas o derivadas de la información de las bases de datos públicas integradas en los *dashboards*, como los IFNs o MFEs. Además, se explica cómo se puede extrapolar como posibles casos de uso de los *dashboards* presentados en este trabajo.

TABLA 4.12. Descripción de los distintos trabajos de investigación presentados en la 9ª edición del Congreso Forestal Nacional y casos de uso identificados relacionados con los *dashboards* desarrollados en este trabajo.

Título trabajo	Autores/as	Resumen	Ejemplos de Uso
<i>“Información necesaria en mapas de variables forestales generados por teledetección y barreras encontradas con cartografías actuales: cómo satisfacer las necesidades de los usuarios finales”</i>	Candel-Pérez, D., Gómez-Roux, M., Águeda, B., González-García, C. y Mauro, F.	Realizan encuestas a distintos tipos de usuarios (gestores, propietarios forestales, personal extinción incendios, investigadores/as, empresa privada) para conocer las variables de interés que se pueden calcular utilizando datos de las parcelas del IFN.	Los <i>dashboards</i> diseñados podría servir como plataforma para mostrar de forma visual y sencilla las variables clave y derivados que se pueden obtener como área basimétrica, volumen, altura dominante, FCC, información por CD y especies, matorral...
<i>“forestables: un paquete de R para la armonización de datos de Inventarios Forestales Nacionales”</i>	Tovar-Rodríguez, A., Granda-García, V. y De Cáceres-Ainsa, M	Armonizan datos abiertos de los inventarios de diferentes países, entre ellos España, en formato tabla.	Los <i>dashboards</i> pueden ser complementarios a esta herramienta ya que permite comparar y visualizar de forma rápida y sencilla la evolución de los ecosistemas forestales, junto con otras variables de interés.
<i>“Valorización de parcelas del IFN fuera de España: estimación de biomasa aérea mediante la integración de datos locales y teledetección en el Bosque Nacional de Bastard, Pau (Francia)”</i>	Navarro Fernández, J.A., Esteban Cava, J., Fiore, J., Ferry, J.N. y Tomé Morán, J.L.	Utilizan el IFN4 en combinación con otras bases de datos en una zona de difícil acceso con recursos limitados de Francia para realizar estimaciones de biomasa.	Los <i>dashboards</i> muestran datos de biomasa calculada para el BMP a nivel de parcela y de municipio distinguiendo por distintas fracciones del árbol que pueden servir de comparativa visual de las estimaciones hechas con distintos modelos en áreas con característica y especies similares.
<i>“Re-calibración de los modelos de biomasa aérea GEDI L4A usando los valores de campo del cuarto inventario forestal nacional (IFN4)”</i>	Guerra Hernández, J., Pérez-Cruzado, C., Pasalodos-Tato, M., Pascual, A	Genera modelos para estimar la densidad de biomasa aérea a partir de datos LiDAR, del IFN4 y del MFE25. Esta información se considera importante para realizar los informes que tiene que llevar a cabo el gobierno para cuantificar las emisiones y captura de gases de efecto invernadero a escala nacional.	En el <i>dashboard</i> se muestra la evolución en la captura de carbono de la parcela y del municipio desde el IFN2 hasta el IFN4. Lo que permite hacer una estimación de los cambios en las reservas de carbono en el arbolado.

Título trabajo	Autores/as	Resumen	Ejemplos de Uso
<i>“¿Cómo se adapta la clasificación de bosques europeos a las formaciones forestales españolas?”</i>	Yeste-Lizán, P., Cañellas, I., Adame, P. y Alberdi, I.	Evalúa las limitaciones de la clasificación general empleada en Europa de los tipos de bosques al aplicarla al caso concreto de España, cuya biodiversidad es mayor a la media europea. Para ello utilizan datos del MFE25, MFE50, IFN3 y IFN4 como las formaciones arboladas, FCC, región biogeográfica, área basimétrica por especie y CD, se calcula el porcentaje de ocupación de las especies a partir del área basimétrica y se tienen en cuenta las 3 especies principales de la parcela.	Toda esta información se encuentra disponible de forma visual en los <i>dashboards</i> de las parcelas.
<i>“Nueva aproximación del incremento en volumen en el IFN”</i>	Aguirre, A., Cañellas, I., Adame, P., Moreno-Fernández, D., Condés, S., Alberdi, I.	Desarrolla una nueva metodología para la estimación del incremento en volumen de las especies contenidas en el IFN, empleando datos del IFN2, IFN3 e IFN4 con lo que pretende mejorar el cálculo de variables de interés como el diámetro y la altura de cualquier especie forestal que tienen aplicación directa para la estimación de biomasa arbórea.	Estos resultados pueden compararse con los datos que se muestran de forma visual en los <i>dashboards</i> de parcelas del IFN de las existencias por especie y CD y los valores de biomasa calculada a partir de los datos publicados en las 3 ediciones del inventario.
<i>“Impacto de la gestión forestal en la productividad de bosques mixtos de Quercus pyrenaica y Pinus sylvestris en Castilla y León”</i>	Porto Rodríguez, J.C., Vázquez Veloso, A., Sánchez Pellicer, T., Blázquez Casado, A., Bravo Oviedo, F. y Ruano Benito, I.	Utiliza datos del IFN3 para analizar la productividad de bosques mixtos de roble melojo y pino silvestre en Castilla y León comparando diferentes tipos de gestión.	En los <i>dashboards</i> del BMP se clasifican las parcelas de estas especies en puras o mixtas en las tres ediciones del IFN, por lo que podría utilizarse para localizar este tipo de masas en la zona, las características del sitio y ver su evolución en el tiempo.
<i>“Análisis de la vulnerabilidad a incendios y sequía en Castilla y León para la identificación espacial de áreas prioritarias de gestión”</i>	De-Dios-García, J., Rubio-Gutiérrez, R., Gallego, R.	En este trabajo se utilizan datos de los usos del suelo del IFN4 junto con otras bases de datos para evaluar la vulnerabilidad de las masas forestales a incendios y sequías en Castilla y León como apoyo a políticas de prevención y de asignación eficiente de los recursos de vigilancia y extinción.	En los <i>dashboards</i> de parcelas se muestran el modelo de combustible, datos climáticos, de la orografía de la parcela y de existencias del estrato arbóreo y arbustivo al largo del tiempo lo que puede ser útil para hacerte una idea rápida y visual del posible riesgo de incendios y sequía dependiendo de la combustibilidad de las especies presentes en la parcela y las características del sitio.

Título trabajo	Autores/as	Resumen	Ejemplos de Uso
<i>“Análisis de la dinámica forestal de la provincia de Soria utilizando el IFN3 y el IFN4”</i>	Martínez-Rodrigo, R., Porto-Rodríguez, J.C., Sabín P. y Blázquez-Casado, A.	Se comparan las parcelas del IFN3 e IFN4 para la provincia de Soria. Se emplean las variables de especie principal, pureza, nº de CD, nº de pies, diámetro medio cuadrático, área basimétrica y ausencia y presencia de las especies en las parcelas.	En el <i>dashboard</i> se realiza una comparación similar de las 3 ediciones de los inventarios publicadas del BMP añadiendo información de otras bases de datos relevantes y mostrándolo de forma visual (información agrupada en fichas por parcela y municipio).

4.3.3. Identificación de los Casos de uso en Gestión Local

Para extraer las necesidades de gestión a nivel local se ha analizado la normativa de planificación forestal de Castilla y León, comunidad autónoma donde se encuentra el BMP. En Castilla y León se dispone actualmente de un plan forestal aprobado en 2002 y que tiene aplicación hasta 2029. Este plan, por el principio de subsidiariedad, traslada al territorio concreto las normativas y estrategias forestales que se establecen a nivel europeo y nacional y se revisa periódicamente.

Dentro de la planificación forestal se está llevando a cabo un esfuerzo para disponer de información que pueda utilizarse como base para la toma de decisiones informadas en materia de medio ambiente y forestal. El IFN no es muy utilizado en planificación forestal a pesar de disponer de información muy útil sobre la estructura de las masas o las estimaciones de las existencias forestales por especie y CD en diferentes periodos de tiempo.... Este recurso se podría explotar más teniendo en cuenta que la principal inversión económica de una ordenación de montes es la parte del inventario forestal (Bravo et al., 2002).

En la Tabla 4.13. se muestran algunos casos concretos en los que los *dahsboards* pueden apoyar la toma de decisiones en la optimización de recursos y toma de decisiones para la planificación táctica y operativa del BMP, como en planes de ordenación de los recursos y proyectos de ordenación de montes.

TABLA 4.13. Casos de uso para el apoyo de la gestión a nivel local del BMP utilizando la información contenida en el *dashboard*

Casos de Uso	Información de apoyo que facilita el <i>dashboard</i>
Diagnóstico territorial	- Localización de las parcelas en sus límites territoriales (comarca, municipio, MUP) - Localización de las parcelas en espacios protegidos y superficie que ocupan en los municipios - Información fisiográfica (altitud, pendiente, orientación, suelo...) y climática de la parcela
Diseño del inventario	- Evolución de las existencias forestales (nº pies/ha, área basimétrica y volumen) a lo largo del tiempo por CD y especie a nivel de parcela y de municipio. - Calidad de la madera y daños observados a nivel parcela y municipio. - Datos básicos del estrato arbóreo de la parcela (altura dominante, diámetro medio cuadrático, índice de Shannon, índice de Reineke...) - Evolución del carbono fijado en la parcela y en el municipio. - Evolución de la superficie que ocupan las formaciones forestales de pinares y robledales en el municipio. - Crecimiento en volumen de las especies principales del municipio.
Localización de zonas vulnerables a perturbaciones	- Datos de volumen de madera (biomasa) - Diagrama climático donde se aprecia la cantidad de precipitación media anual y el periodo de sequía. - Calidad de la madera - Características básicas del estrato arbustivo - Observación de daños bióticos y abióticos
Coordinación interadministrativa	- Herramienta común donde se encuentran integrados la información forestal a nivel parcela y municipio con los mismos formatos para facilitar la cooperación y coordinación a distintas escalas.

4.4. Análisis y Tratamiento de Datos

Partiendo de la información disponible en las bases de datos públicas integradas para mostrar en el *dashboard* y en las necesidades de los usuarios identificados se han realizado diferentes análisis de datos para generar nueva información de valor. El flujo de trabajo que se ha seguido en este trabajo se muestra en la Figura 4.10..

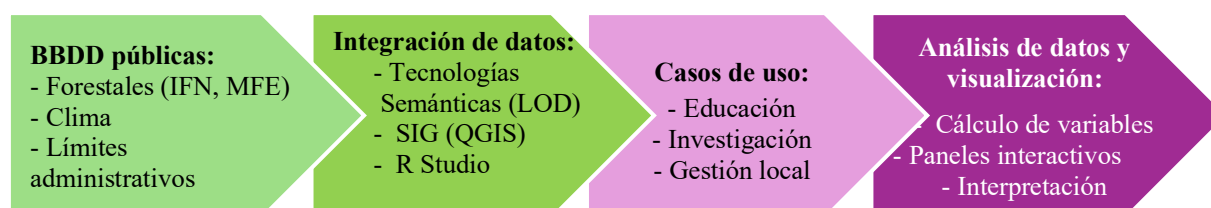


FIGURA 4.9. Flujo de trabajo que se ha llevado a cabo en este trabajo de fin de máster. Desde los datos “crudos” hasta la visualización de la información relevante para los usuarios finales

Para los análisis e integración de información espacial se ha utilizado el software libre QGIS (QGIS.org, 2023) en su versión 3.34.9, se han realizado las operaciones espaciales de recorte de capas e intersección para delimitar la zona de estudio y unión por localización para ubicar las parcelas en las distintas capas espaciales utilizadas (límites administrativos, espacios protegidos...). También se ha llevado a cabo filtrado y cálculo de geometrías de los mapas forestales nacionales. El Sistema de Referencia que se ha utilizado como base para homogeneizar la información espacial ha sido el ETRS89 UTM 30N (EPSG:25830).

Para el análisis, integración de datos, cálculo de diferentes variables e índices y la generación de gráficas se ha utilizado el software libre R (R Core Team, 2024) en su versión 4.3.3..

Para representar las variables climáticas se ha realizado un climodiagrama de Walter-Leith por parcela utilizando a partir de la serie de datos climáticos históricos de WorldClim (1991-2020). Además, se ha calculado el índice de Aridez de Martonne (Martonne, 1926) dividiendo la precipitación anual (mm) entre la temperatura media anual (°C) más 10 (factor de corrección). Este análisis climático se ha realizado con el software estadístico R (R Core Team, 2024).

De acuerdo con el índice de Martonne se puede clasificar el clima de una parcela en: hiperárido (0-5), árido (5-10), semiárido de tipo mediterráneo (10-20), subhúmedo (20-30), húmedo (30-60) y perhúmedo (>60).

Las variables calculadas para caracterizar el estado forestal de la parcela en cada edición del inventario (IFN2, IFN3, IFN4) han sido:

- altura dominante de Assmann,
- altura media,
- diámetro medio cuadrático,
- diámetro medio a la altura de pecho,
- índice de Shannon,
- índice de esbeltez,
- índice de densidad relativa (a partir del índice de Reineke) e
- índice de Hart-Becking

La altura dominante de Assmann se entiende como la altura que corresponde al árbol que tiene el diámetro a la altura de pecho medio de los 100 árboles más gruesos por hectárea. Para ello se ha utilizado el factor de expansión, de esta manera se puede extrapolar a la hectárea las existencias de los pies mayores medidos en la parcela.

Para representar la diversidad de especies de la parcela se ha escogido el índice de Shannon (Ec. 4.1.), al no depender de la distancia, ya que en el IFN no se miden todos los árboles de la parcela (Alberdi et al., 2023). Los valores más altos de este índice indican una mayor diversidad específica, normalmente se encuentra entre 0 y 5.

También se ha calculado el índice de esbeltez, como la relación entre la altura y el diámetro medios de la parcela. Se ha considerado que un índice de esbeltez menor de 40 indica que los árboles son bajos en relación con su diámetro (poco esbeltos), entre 40-60 sería una proporción equilibrada entre altura-diámetro (estables), y más de 60 indica árboles muy altos, pero con poco diámetro (inestables).

Así mismo, se han estimado dos índices de densidad de la masa: el índice de Reineke de la parcela (SDI) (Ec. 4.2.) y el índice de Hart-Becking (Ec. 4.3.). Para el índice de Hart-Becking se ha utilizado una ecuación para masas naturales sin una distribución regular (del Peso et al., 2002) ya que no tenemos datos suficientes para saber, en el caso de que el origen de la parcela fuera una plantación, de qué tipo (regular, a tresbolillos...), ni si sigue conservando el marco de plantación en el momento de muestreo.

$$H' = - \sum p_i \times \log p_i \quad \text{Ec. 4.1.}$$

$$SDI = N \left(\frac{D_g}{25,4} \right)^{1,605} \quad \text{Ec. 4.2.}$$

$$S_{HB} = \frac{10000}{H_0 \times \sqrt{N \times 0,933}} \quad \text{Ec. 4.3.}$$

Donde:

- H': índice de Shannon
- p_i: abundancia relativa de cada especie
- SDI: índice de Reineke
- N: n° pies/ha

- Dg: diámetro medio cuadrático (m)
- S_{HB}: índice de Hart-Becking
- Ho: altura dominante (m)

Para evaluar si la densidad de la parcela es adecuada, se compara el valor calculado del SDI de la parcela con los valores máximos de referencia para España, que se muestran en la Tabla 4.14. para las especies de interés (Rodríguez de Prado et al., 2020). Estos valores máximos del SDI para las distintas especies, estiman la capacidad de carga de la masa teniendo en cuenta las condiciones climáticas, la densidad y el tamaño de los individuos. De esta manera se calculó el índice de densidad relativa, del que se estima que valores superiores a 0,6 indican masas muy densas y valores por debajo de 0,35 indican una baja ocupación del espacio. Para calcular el índice de densidad relativa de la parcela se ha sumado el SDI/SDI_{max} de las especies presentes, de esta forma se tiene en cuenta la ocupación de las especies en las parcelas mixtas (Riofrío et al., 2016),

TABLA 4.14. Valores de SDI máximos es España para las especies de estudio. Fuente: (Rodríguez de Prado et al., 2020)

Especie	SDI_{max}
<i>Pinus pinaster</i>	1053
<i>Pinus sylvestris</i>	1146
<i>Pinus nigra</i>	944
<i>Quercus pyrenaica</i>	840
<i>Quercus faginea</i>	740
<i>Quercus petraea</i>	969

Para el índice de Hart-Becking, de forma orientativa, se ha considerado que si es menor de 20, los árboles están muy próximos entre sí, si está entre 20 y 30 hay un equilibrio entre el número de árboles y su tamaño y si es mayor de 30 la densidad de la masa es muy baja en relación al tamaño de los árboles (Bravo et al., 2002), aunque esto varía ligeramente con las distintas especies.

Además, se han caracterizado las parcelas según su composición específica en puras (una única especie ocupa al menos el 90% del área basimétrica de la parcela) y mixtas (dos o más especies que en conjunto ocupan al menos un 90% del área basimétrica, siempre que cada una de ellas represente más de un 10% del área basimétrica de la parcela). De acuerdo con la forma principal de la masa, si la parcela estaba compuesta por solo una o dos clases diamétricas

se consideró regular mientras que si estaba compuesta por más de dos clases diamétricas se consideró irregular.

Asimismo, se ha calculado el carbono fijado por el arbolado en sus distintas fracciones (tronco, ramas >7cm, ramas entre 7 y 2 cm, ramas < 2cm y hojas, y raíz) para las tres ediciones de los inventarios. Para este propósito se han empleado las ecuaciones alométricas descritas para las especies de coníferas y frondosas más comunes en España (Ruiz-Peinado et al., 2011, 2012) que son las que se emplean en el IFN4 para dar esta información. A partir de la altura y el diámetro a la altura de pecho de los árboles muestreados se ha calculado la biomasa en peso seco, de la que aproximadamente un 50% se estima que es carbono. Para las especies de la parcela de las que no se ha encontrado una ecuación alométrica definida, se han utilizado las equivalencias empleadas en el IFN4 (Anexo 28²¹) que describe las especies arbóreas a la que se asimila la ecuación de biomasa.

Además de los datos a nivel de parcela, se han hecho agregaciones a nivel municipal, entidad de organización del territorio básica que tiene especial importancia en el BMP. Se han estimado las existencias forestales (nº pies, área basimétrica y volumen con corteza) para cada edición del inventario, el carbono fijado, la calidad de la madera y los daños del arbolado en porcentaje.

Las existencias forestales por hectárea a nivel municipal se obtuvieron a partir de los valores medios por hectárea de cada estrato provincial, definidos en los inventarios y delimitados mediante los mapas forestales como unidades de referencia estadística. Para trasladar estos valores a escala municipal, se calculó la proporción de superficie que ocupa cada estrato dentro del municipio respecto a la superficie total municipal, y se ponderó el valor medio de existencias del estrato por dicha proporción. La media municipal se obtuvo sumando las existencias por especie ponderadas de todos los estratos presentes en el municipio (Ecuación 4). Finalmente, para que las estimaciones reflejaran únicamente las especies presentes realmente en el municipio y no en todo el estrato, se filtraron los datos según la información de las especies principales que se encuentran en el municipio de acuerdo con los

²¹ https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/documentador_sig_tcm30-536622.pdf

mapas forestales para cada edición del inventario (MCA, MFE50 y MFE25). En el *dashboard* únicamente se representan las existencias de pinares y robledales en el municipio.

$$E_{muni} = \sum(E_{estrato} \times \frac{S_{em}}{S_m}) \text{ Ec. 4.4.}$$

Donde:

- E_{muni} : existencias en el municipio por especie y por hectárea
- $E_{estrato}$: existencias medias del estrato por especie y por hectárea
- S_{em} : superficie que ocupa el estrato en el municipio (ha)
- S_m : superficie total del municipio (ha)

Para estimar la distribución de la calidad de la madera a nivel municipal, se sumó el volumen con corteza (VCC) de cada árbol medido de especies de pinares y robledales en el municipio, agrupado por clases de calidad, y se multiplicó por su factor de expansión, para obtener el VCC por hectárea (VCC/ha). Posteriormente, este VCC/ha se expresó en porcentaje sobre el total del municipio para facilitar su interpretación visual. La Tabla 4.15. explica la clasificación de la calidad que se le asigna a los árboles en las tres ediciones de los IFN.

TABLA 4.15. Clasificación de la calidad de la madera hecha en el IFN. Fuente: [Descripción de los códigos de la base de datos de campo \(IFN4\)](#).

Calidad	Descripción
1	Árbol sano, vigoroso, óptimamente conformado, sin señales de vejez, capaz de proporcionar muchos y valiosos productos, no dominado y con excelentes perspectivas de futuro.
2	Árbol sano, vigoroso, no dominado, sin señales de vejez, con algún defecto de conformación y capaz de proporcionar bastantes productos valiosos.
3	Árbol sano, vigoroso, no dominado, sin señales de vejez, con algún defecto de conformación y capaz de proporcionar bastantes productos valiosos.
4	Árbol enfermo y débil o viejo, con muchos defectos de conformación, solamente capaz de proporcionar productos de valor secundario.
5	Árbol muy enfermo, débil o viejo, con pésima conformación y aprovechamientos escasos y de poco valor.
6	Árbol muerto, pero sin pudrir aún y capaz todavía de proporcionar algún bien aprovechable.

En cuanto a los daños del arbolado a nivel municipal, en el IFN2 los datos se registran por parcela y no por árbol individual, por lo que se describió el porcentaje de parcelas de pinares y robledales que presentan determinados tipos de daños en cada municipio. Para el IFN3 y el IFN4, se calculó el porcentaje de árboles de pinares y robledales medidos en el municipio que presentan daños, según lo identificado en los respectivos inventarios.

Para calcular el carbono fijado por pinares y robledales a nivel municipal, primero, se calculó el carbono almacenado en las distintas fracciones de los árboles de cada parcela utilizando ecuaciones alométricas, como se explicó anteriormente. A continuación, se calculó la media de las parcelas por estrato provincial y se ponderó según la proporción de superficie que ocupa cada estrato dentro del municipio respecto a la superficie total municipal, de forma similar a lo descrito para las existencias (Ec. 4.4.).

A nivel municipal se describe también, para las tres ediciones de los IFNs, el número de parcelas de formaciones de pinares y robledales y el número de árboles medidos en esas parcelas. También se representan los cambios de la superficie forestal arbolada de las formaciones de pinares y robledales en el municipio del MFE50 al MFE25.

Por último, se ha hecho una valoración económica de los recursos ecosistémicos, que se ha llevado a cabo a nivel provincial en el IFN4. Estos datos se han obtenido a nivel municipal ponderando la valoración económica relativa a la hectárea en la provincia por la superficie que ocupa cada formación arbolada en el municipio.

La Tabla 4.16. muestra un resumen de las variables calculadas en este trabajo para las distintas ediciones de los inventarios y los requisitos de los usuarios que cumplen.

TABLA 4.16. Variables calculadas en este trabajo a partir de las bases de datos integradas para las 3 ediciones de los inventarios (IFN2, IFN3, IFN4) y los requisitos que cumple de los usuarios

Nivel	Variable	Requisitos Usuarios
Parcela	Índice de Martonne	Diagnóstico territorial y diseño de ensayos comparativos
	Altura dominante	Evaluación de disponibilidad de materia prima, planificación y modelización forestal, análisis espacial y temporal
	Altura media	
	Diámetro medio cuadrático	
	Diámetro medio	
	Composición específica	Identificación de parcelas para ensayos, planificación y modelización, análisis espacial y temporal
	Forma principal de la masa	
	Índice de Shannon	Seguimiento de indicadores selvícolas y gestión sostenible, análisis espacial y temporal
	Índice de esbeltez	Evaluación de riesgos y vulnerabilidades, planificación forestal, análisis espacial y temporal, seguimiento de indicadores
	Índice de densidad relativa	
	Índice de Hart-Becking	
	Carbono fijado por fracciones del arbolado	Análisis de biomasa y carbono, inventarios captura de carbono, diagnóstico territorial
	Porcentaje de volumen con corteza (m ³ /ha) según calidad de la madera	Análisis de calidad y productividad de la madera, evaluación de riesgos
	Porcentaje del número de árboles que presentan daños	
Municipio	Densidad por especie (n° pies/ha)	Evaluación de disponibilidad de materia prima, análisis espacial y temporal
	Área basimétrica por especie (m ² /ha)	
	Volumen con corteza por especie (m ³ /ha)	
	Carbono fijado por fracciones del arbolado	Análisis de biomasa y carbono, inventarios captura de carbono, diagnóstico territorial
	Porcentaje de volumen con corteza (m ³ /ha) según calidad de la madera	Análisis de calidad y productividad de la madera, evaluación de riesgos y diagnóstico
	Porcentaje del número de árboles que presentan daños	
	Superficie forestal arbolada de pinares y/o robledales	Evaluación de disponibilidad de materia prima, análisis espacial y temporal, diagnóstico territorial
	Valoración económica de los recursos ecosistémicos	Certificación y control de calidad, diagnóstico territorial

5. RESULTADOS

5. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados del trabajo, primero se muestra cómo se ha generado e integrado la información en formato *dashboard* o panel interactivo (sección 5.1) a nivel de parcela (sección 5.1.1) y de municipio (sección 5.1.2) y a continuación se detallan los datos y gráficos que se incluyen en él (secciones 5.2, 5.3 y 5.4). Se han seleccionado dos parcelas y dos municipios de ejemplo, buscando que reflejen la variabilidad de ecosistemas y escenarios forestales dentro del Bosque Modelo Palencia (BMP). Toda la información generada para las 130 parcelas del BMP con datos de los inventarios IFN2, IFN3 e IFN4 y los 70 municipios con superficie forestal de pinares y/o robledales se ha publicado en un repositorio GitHub, como se describe en el capítulo 9 (Material Suplementario), en formatos CSV para los datos y PNG para los gráficos.

Las parcelas elegidas para representar los datos calculados en formato *dashboard* son: la parcela 34-324: una plantación mixta de pinares, que en adelante se denominará P-pinar, y la parcela 34-160: una masa natural pura de roble albar, que se nombrará P-roblechal para simplificar. Se han seleccionado estas parcelas porque representan las dos masas objeto de estudio (pinares y robledales) y disponen de información en las tres ediciones del inventario (IFN2, IFN3 e IFN4), lo que permite analizar su evolución y trazabilidad a lo largo del tiempo.

Para los ejemplos a nivel de municipio, se han escogido: Cervera del Pisuerga (34056), situado dentro del Parque Natural Montaña Palentina, con clima atlántico y predominio de formaciones de robledales, y Saldaña (34157), municipio más al sur, con clima mediterráneo y presencia de diversas plantaciones de pinares. La elección de estos municipios responde a su diversidad ambiental y forestal, lo que permite ilustrar mejor la variabilidad del territorio objeto de estudio.

5.1. Integración de Información en un *Dashboard* e Interpretación

En esta sección se muestra cómo se han diseñado los *dashboards* para integrar toda la información que se ha detallado en la sección 4.1. de manera que los datos pueda visualizarse de un vistazo en una única imagen. El *dashboard* de parcelas se ha estructurado en las siguientes partes: Situación de la Parcela, Estado Natural, Estado Forestal (incluyendo información del estrato arbóreo y del matorral), Existencias Forestales, Daños Arbolado, Calidad de la Madera y Carbono Fijado por el Arbolado. En el caso de los municipios, se ha diseñado un *dashboard*

que cuenta con las siguientes partes: Situación del Municipio, Existencias Forestales, Calidad de la Madera, Daños Arbolado, Carbono Fijado por el Arbolado y Estado Forestal.

5.1.1. *Dashboard* de Parcelas

La Figura 5.1. muestra el *dashboard* de la parcela P-pinar (34-324), perteneciente a una masa mixta de pinares. A partir de esta visualización, se realiza a continuación un posible análisis forestal orientado a la caracterización de la parcela.

Según la información representada, la parcela se encuentra en la comarca de Aguilar, en un MUP denominado “Royal”, que está amojonado y deslindado. Este MUP pertenece al ayuntamiento de Aguilar de Campoo, municipio en el que se localiza la parcela.

En cuanto a su estado natural, la parcela se sitúa a una altitud de 949 metros y presenta una pendiente suave de 2,5° con orientación sur (172°), y exposición de solana que favorece condiciones más secas. Presenta una temperatura media anual moderada de 11,1°C y una precipitación media anual de 631,6mm. El período seco se concentra en los meses estivales de julio y agosto. El índice de Martonne alcanza un valor de 29,9 por lo que el clima se clasifica como subhúmedo. Además, pertenece a la región biogeográfica mediterránea y se caracteriza por un modelo de combustible 9²². Este modelo es típico de formaciones forestales cerradas con bosque denso, sin apenas matorral donde el fuego se propaga por la hojarasca. De acuerdo con los datos del inventario forestal el suelo es silíceo, sin presencia de pedregosidad, con textura arenosa, moderadamente húmifero y ligeramente ácido (pH entre 5 y 6).

La masa forestal de la parcela es una plantación formada por dos especies principales: *P. pinaster* y *P. sylvestris*, y como especie acompañante *P. nigra*. Además, en el IFN4 se empieza a introducir *Q. pyrenaica*. Tanto *P. pinaster* como *P. sylvestris* se encuentran en estado fustal, ambas especies en el IFN4 tenían 45 años, aproximadamente a la mitad del turno, si se considera un turno de 90 años.

²²https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/ifn/ifn4/documentador_ifn4_campo_tcm30-536595.pdf

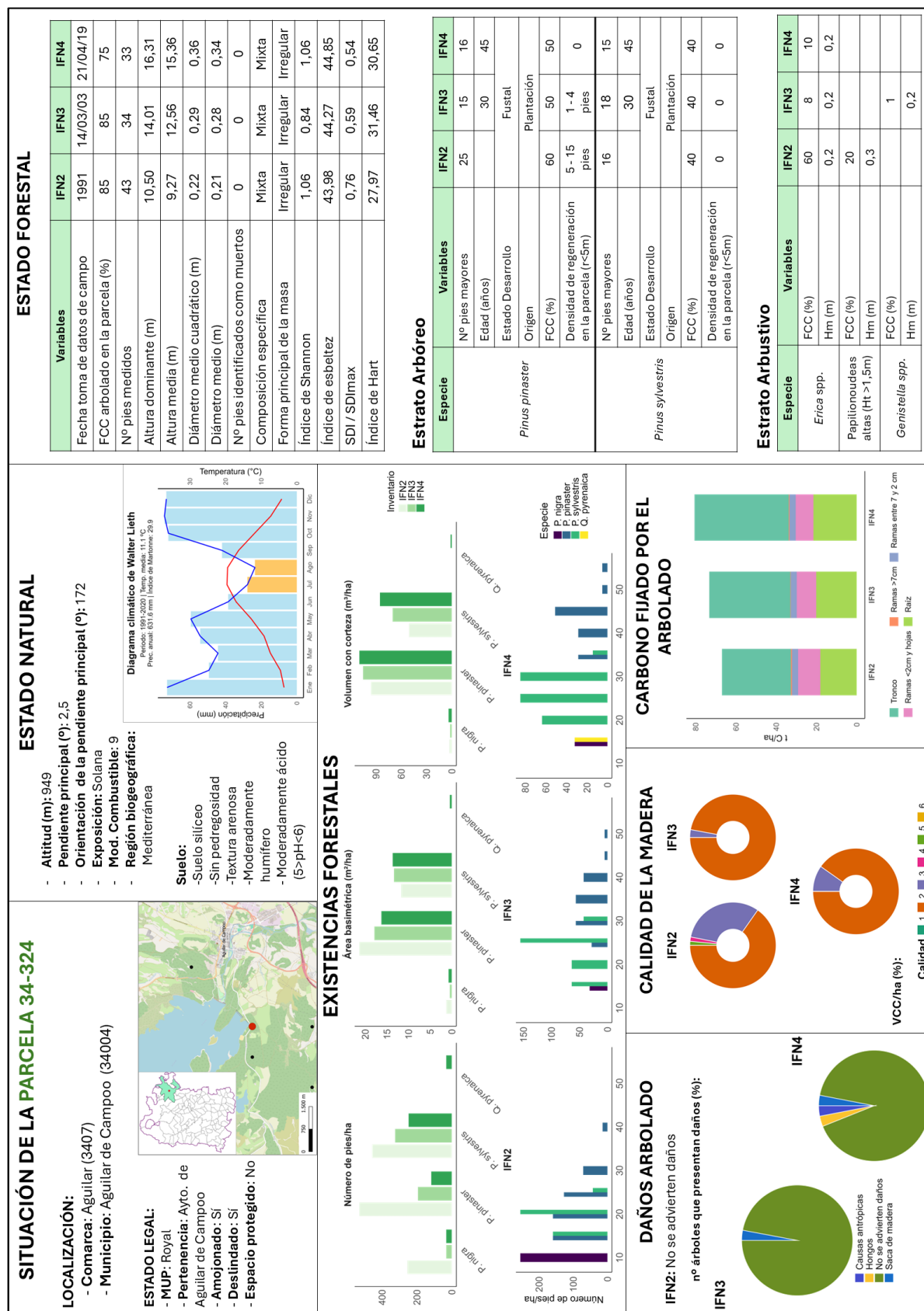


FIGURA 10. *Dashboard* de la parcela P-pinar, localizada en el municipio de Aguilar de Campoo.

En cuanto a su evolución, la densidad de todas las especies de la parcela disminuye con el paso del tiempo, siendo especialmente notorio en *P. nigra* y *P. pinaster*. El área basimétrica disminuye en el caso de *P. pinaster*, pero aumenta ligeramente en *P. sylvestris*, mientras que el volumen de todas las especies aumenta. Es especialmente curioso el caso de *P. pinaster* en esta parcela ya que su número de pies/ha disminuye mucho con los inventarios, también disminuye ligeramente el área basimétrica (m^2/ha) pero aumenta su volumen (m^3/ha). Esto, unido a que se han observado daños por saca de madera en el IFN3 y en el IFN4 y por causas antrópicas en el IFN4, puede evidenciar que se ha hecho un tratamiento selvícola a la masa entre estos inventarios, favoreciendo el crecimiento en volumen de esta especie en la parcela. En el IFN4 también se reporta la presencia de daños por hongos en un pequeño porcentaje de individuos, pero en general la parcela parece no evidenciar daños graves.

La parcela presenta una estructura irregular. Los individuos de *P. nigra* se concentran en la CD10 en todos los inventarios, mientras que en el IFN4 también aparece *Q. pyrenaica* en esta clase diamétrica. Por su parte, *P. sylvestris* se encontraba inicialmente entre las CD15 y CD25 en el IFN2, con su máximo número de pies/ha en CD20. Con el tiempo, los individuos de esta especie se desplazan hacia clases diamétricas mayores: en el IFN3 el pico se sitúa en CD25, alcanzando en el IFN4 la CD35, con la mayoría de los pies concentrados entre CD25 y CD30.

P. pinaster es la especie que alcanza las clases diamétricas más altas en la parcela, aunque con menor número de individuos que *P. sylvestris*. Al igual que *P. sylvestris*, su distribución se desplaza hacia clases mayores con el tiempo: en el IFN2 su pico se encuentra entre CD15 y CD20, en el IFN3 entre CD30 y CD35, y en el IFN4 alcanza CD45, llegando incluso algunos individuos a las CD50 y CD55. Esto indica un crecimiento rápido en diámetro entre inventarios para esta especie en la parcela.

Asimismo, en el estado forestal de la parcela se describe también la FCC arbolada que disminuye ligeramente entre el IFN3 (85%) y el IFN4 (75%). *P. pinaster* ocupa ligeramente más FCC que *P. sylvestris*, también se aprecian pies de regeneración del pinaster en el IFN2 y en el IFN3 pero no en el IFN4. La altura dominante, la altura media, el diámetro medio y el diámetro medio cuadrático aumentan también con el tiempo, lo que en principio era lo esperable. No hay una gran diferencia entre la altura dominante y la altura media, lo que sugiere

una estructura relativamente homogénea en cuanto al desarrollo vertical de la parcela. No hay número de pies identificados como muertos en pie en ninguno de los inventarios.

El índice de Shannon es relativamente bajo en los 3 inventarios, aunque para ser una plantación tiene bastantes especies en la parcela, sin embargo, la distribución del número de individuos entre las especies no es muy homogéneo. El índice de esbeltez se encuentra entre 43-45 en los 3 inventarios, por lo que se puede considerar una masa bastante estable. El índice relativo de densidad de Reineke muestra valores relativamente altos, lo que indica que la parcela está cerca de su ocupación máxima, aunque se mantiene dentro de los rangos considerados normales para masas en estado fustal. No obstante, se observa una disminución progresiva de este índice entre los inventarios IFN2 e IFN4 (de 0,75 a 0,59 y 0,54, respectivamente), lo que sugiere una reducción de la competencia intraespecífica, reforzando la suposición de que se han realizado tratamientos selvícolas. Por otro lado, el índice de Hart se mantiene en torno a 30 en los tres inventarios (27,97; 31,46; 30,65), lo que permite suponer que existe un espaciamiento adecuado entre los individuos y, por tanto, una distribución relativamente equilibrada de los árboles en la parcela.

En la comparación de la calidad de la madera entre inventarios, se puede apreciar que la mayor parte del volumen de la parcela en los 3 inventarios tiene calidad 2, *“Árbol sano, vigoroso, no dominado, sin señales de vejez, con algún defecto de conformación y capaz de proporcionar bastantes productos valiosos.”*. Si que se ve que la calidad de los individuos aumenta del IFN2 al IFN3, lo que puede ser otra evidencia de que se ha hecho un tratamiento selvícola entre estos dos inventarios. Esta calidad disminuye un poco entre el IFN3 y el IFN4, puede ser debido a que entran individuos de *Q. pyrenaica* de peor calidad, y/o que no se ha hecho otro tratamiento selvícola entre el IFN3 y el IFN4 y han aumentado estos individuos de calidades menores. Hay que tener en cuenta que entre los muestreos de la parcela del IFN2 al IFN3 han pasado 12 años y del IFN3 al IFN4 han pasado 16 años.

Por otro lado, el carbono fijado en la parcela aumenta progresivamente con la evolución temporal de la misma, llegando a fijar aproximadamente 80t/ha en el IFN4. La mayor proporción de carbono fijado se encuentra en el tronco en los 3 inventarios, seguido de la raíz y las ramas de menos de 2cm y las hojas. Aunque no se ha abordado en el presente trabajo por limitaciones de información, sería importante considerar no solo el carbono fijado, sino también

las emisiones asociadas, con el fin de obtener una visión más completa del balance de carbono de la parcela.

En cuanto al estrato arbustivo, en el IFN2 se observa una FCC muy elevada, cercana al 100 % de la superficie, dominada principalmente por ericáceas y papilionoideas altas. En el IFN3, la carga de matorral se reduce de forma considerable, quedando limitada a una presencia testimonial de ericáceas y algunas especies del género *Genistella*. Esta disminución sugiere la realización de algún tratamiento de desbroce o limpieza del sotobosque entre ambos inventarios, lo cual resultaría coherente con una intervención silvícola. En el IFN4, se detecta un leve repunte en la presencia de ericáceas, aunque sin alcanzar valores significativos. En conjunto, parece que hay una tendencia general de reducción del estrato arbustivo a lo largo del tiempo, hasta resultar prácticamente inexistente en el último inventario, lo que podría interpretarse como indicador de un adecuado mantenimiento de la parcela.

En la Figura 5.2. se representa el *dashboard* de la parcela P-roblechal (34-160), perteneciente a una masa pura de roble albar. A continuación, se hace una caracterización de la parcela a partir de este *dashboard*.

La parcela se localiza en la comarca de Cervera, en el municipio de Cervera de Pisuerga. Se encuentra dentro del MUP llamado “Tremedal” que pertenece al ayuntamiento de Cervera de Pisuerga, aunque no está ni deslindado ni amojonado. Además, esta parcela está dentro de los límites del Parque Natural de la Montaña Palentina, lo que es importante tener en cuenta pues puede afectar a la toma de decisiones en su gestión.

En cuanto a su estado natural, se sitúa a una altitud de 1230 metros con una pendiente moderada de 6,5°, orientación principal al oeste (259°) y exposición de umbría que favorece condiciones más húmedas. La parcela presenta una temperatura media anual moderada de 9,9°C y una precipitación media anual de 730,8mm. El período seco se concentra únicamente en los meses de julio y agosto, aunque es bastante moderado. Según el índice de Martonne, que tiene un valor de 36,7, el clima se clasifica como húmedo. Asimismo, pertenece a la región biogeográfica atlántica y se caracteriza por el modelo de combustible 9, como en el caso de la parcela anterior. El suelo es silíceo, sin presencia de pedregosidad, con textura franca, muy húmifero y ligeramente ácido (pH entre 5 y 6).

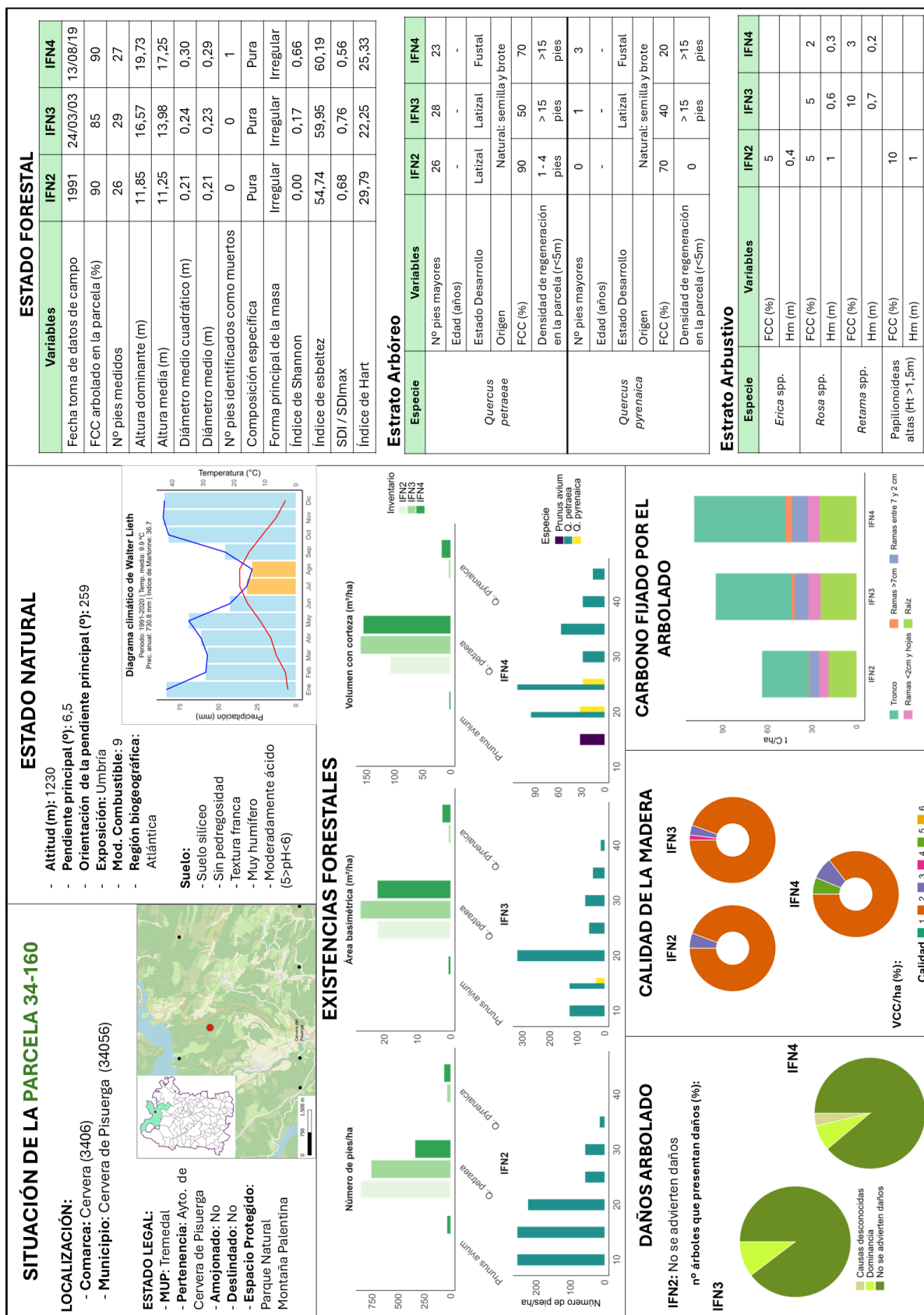


FIGURA 11. *Dash-board* de la parcela P-robleal, localizada en el municipio de Cervera de Pisuerga

P-pinar es una parcela que se puede considerar pura de *Quercus petraea*, con especies accesorias como *Quercus pyrenaica* que aparece en el IFN3 y se mantiene en el IFN4 y *Prunus avium* que aparece de forma testimonial en el IFN4. *Q. petraea* y *Q. pyrenaica* pasan de estado latizal a fustal del IFN3 al IFN4. Estas masas tienen un origen natural, por semilla o brote, aunque no se dispone de información sobre su edad. Resulta especialmente llamativo el caso de *Q. pyrenaica*: no aparece en el IFN2, posiblemente porque sus diámetros eran inferiores al límite inventariable, pero en el IFN3 ya se clasifica como latizal y en el IFN4 como fustal, lo que podría indicar una posible inconsistencia en los datos.

En cuanto a la evolución de las existencias de la parcela, el número de pies/ha de *Q. petraea* disminuye notablemente desde el IFN2 hasta el IFN3 mientras que aumenta su área basimétrica. *Q. pyrenaica* aparece en el IFN3 y aumenta sus existencias en el IFN4 (densidad, área basimétrica y volumen). En la parcela no se advierten daños en la mayoría de los árboles en los 3 inventarios, sin embargo, en el IFN3 y en el IFN4 se describen daños por dominancia y en el IFN4 además se advierte un daño por causas desconocidas. La competencia entre los pies de la parcela y la introducción de nuevas especies podría explicar la disminución de las existencias de *Q. petraea* entre el IFN3 y el IFN4.

Además, la parcela presenta una estructura irregular típica de este tipo de formaciones naturales. Teniendo en cuenta que el n°pies/ha de la parcela disminuye notablemente sobre todo entre el IFN3 y el IFN4, los individuos de *Q. petraea* encuentran su pico en el IFN2 entre las CD10 y CD15, en el IFN3 el grueso de los pies se encuentra en la CD20 y en el IFN4 en la CD25. Se aprecia, por tanto, una tendencia progresiva al aumento del diámetro de los pies de la masa con el tiempo, llegando en el IFN4 a las CD45. En el caso de *Q. pyrenaica* se introduce en el IFN3 en la CD15 y en el IFN4 ya se encuentra en la CD20 y CD25, lo que evidencia un crecimiento bastante rápido en diámetro de estos pies.

En el estado forestal de la parcela se describe la FCC arbolada de la parcela, que se encuentra entre el 85-90% en los tres inventarios, mostrando una masa que se puede considerar bastante densa. *Q. petraea* presenta una FCC más alta que *Q. pyrenaica* aunque hay datos de FCC de *Q. pyrenaica* en el IFN2 a pesar de no haber datos de existencias de esta especie en ese inventario. Puede que en el IFN2 hubiera presencia de *Q. pyrenaica* en la parcela, pero en tamaños que no fueran los suficientes para entrar en el muestreo. La densidad de regenerado es bastante alta de las dos especies sobre todo en el IFN3 y en el IFN4. La altura dominante, la

altura media, el diámetro medio y el diámetro medio cuadrático aumentan también con el tiempo, lo que en principio era lo esperable. No hay una gran diferencia entre la altura dominante y la altura media en el IFN2, aunque la diferencia empieza a ser mayor en el IFN3 y en el IFN4, lo que puede ser debido a la introducción de individuos de *Q. pyrenaica* generando mayor heterogeneidad en el desarrollo vertical de los distintos individuos de la parcela. En el IFN4 hay un árbol que se ha identificado como muerto en pie, debido posiblemente a la competencia.

El índice de Shannon es muy bajo en los 3 inventarios (menor de 1), lo esperable en una parcela pura. El índice de esbeltez se encuentra entre 54,74 en el IFN2 y aumenta hasta 60,19 en el IFN4, se puede considerar una masa estable, aunque en el IFN4 está en el límite a pasar a tener una relación altura-diámetro poco proporcionada. Si la parcela continua con esta tendencia se podría producir en un futuro inestabilidad de la masa por estar formada por árboles muy altos y delgados. En cuanto al índice relativo de Reineke aumenta del IFN2 (0,68) al IFN3 (0,76) pero disminuye bastante en el IFN4 (0,56). Posiblemente debido al aumento en el IFN3 de los individuos en la parcela se puede haber producido un autoaclareo natural del IFN3 al IFN4 haciendo que disminuya el índice de Reineke. El índice de Hart muestra valores de 29,79 en el IFN2, 22,25 en el IFN3, subiendo a 25,33 en el IFN4. La parcela se encuentra por tanto muy cerca del límite en el que los árboles se encuentran demasiado cerca entre sí para ser sostenible.

La comparación de la calidad de la madera entre inventarios nos da una idea general de que la mayor cantidad de volumen de madera por hectárea de la parcela pertenece a la calidad 2, “Árbol sano, vigoroso, no dominado, sin señales de vejez, con algún defecto de conformación y capaz de proporcionar bastantes productos valiosos.”. Sin embargo, la calidad de esta madera disminuye del IFN2 al IFN4, y aumentan los árboles dominados, enfermos, débiles o viejos, con malas conformaciones.

Por otro lado, el carbono fijado en la parcela aumenta considerablemente desde el IFN2 hasta el IFN4, llegando a fijar 109,05 t/ha. La mayor proporción de carbono fijado se encuentra en el tronco en los 3 inventarios, seguido de la raíz y las ramas de menos de 7cm y las hojas. Aunque no se ha abordado en el presente trabajo por limitaciones de información y de tiempo, sería importante considerar no solo el carbono fijado, sino también las emisiones asociadas, con el fin de obtener una visión más completa del balance de carbono de la parcela.

En cuanto al estrato arbustivo, no parece haber un sotobosque muy denso, de hecho, las FCC del estrato arbustivo son muy bajas en los 3 inventarios (<20%). Esto puede ser debido a la alta densidad y competencia del estrato arbóreo y la poca penetración de luz que llegue al suelo.

5.1.2. *Dashboard* de Municipios

En la Figura 5.3. se presenta el *dashboard* del municipio de Cervera de Pisuerga del que se va a hacer una interpretación basada en los datos mostrados en el mismo.

El municipio de Cervera de Pisuerga se encuentra en la comarca homónima (Cervera) y contiene 44 MUP que ocupan más de 100ha en el municipio. Entre los que destacan Canavigel con 1.275,34 ha, Dehesa del Monte con 1,230,03ha y Palacios con 1.270,51ha. Además, el municipio se encuentra dentro del Parque Natural Montaña Palentina, lo que se debe tener en cuenta a la hora de planificar la gestión forestal del mismo.

En el municipio se han medido en los 3 inventarios, 30, 49 y 43 parcelas de robledales y pinares, de las cuales solo 17 tienen continuidad directa en los tres inventarios. En estas parcelas se han medido 601, 1.207 y 1.386 árboles y solo 221 son árboles remedidos en el IFN2, IFN3 e IFN4.

Las 5 especies principales de pinares y robledales del municipio son: *Q. pyrenaica*, *Q. petraea*, *Q. faginea*, *P. sylvestris* y *P. nigra*. La especie que mayor crecimiento ha experimentado en el municipio del IFN2 al IFN4 es *Q. pyrenaica*, seguida de *P. sylvestris*. Aunque en términos de existencias (nº pies/ha, área basimétrica y volumen) las dos especies que destacan muy por encima del resto son *Q. pyrenaica* y *Q. petraea*, por lo que se puede decir que es un municipio donde predominan formaciones de robledales. Esto también se hace evidente cuando se comparan la superficie de los mapas MFE50 y MFE25, las masas que ocupan mayor superficie en el municipio son los melojares, aunque su superficie ha disminuido del MFE50 al MFE25 pasando de 8.437,56ha a 7.837,30ha. Es la única especie que ha disminuido su superficie, mientras que el resto (*Q. petraea*, *P. sylvestris*, *Q. faginea* y *P. nigra*) ha aumentado ligeramente. *Q. petraea* ha aumentado de 1774,06ha a 1941,60ha, al igual que *P. sylvestris* de 640,13ha a 725,45ha, *Q. faginea* de 377,58 a 442, 30 y *P. nigra* de 90,34ha a 156,29ha.

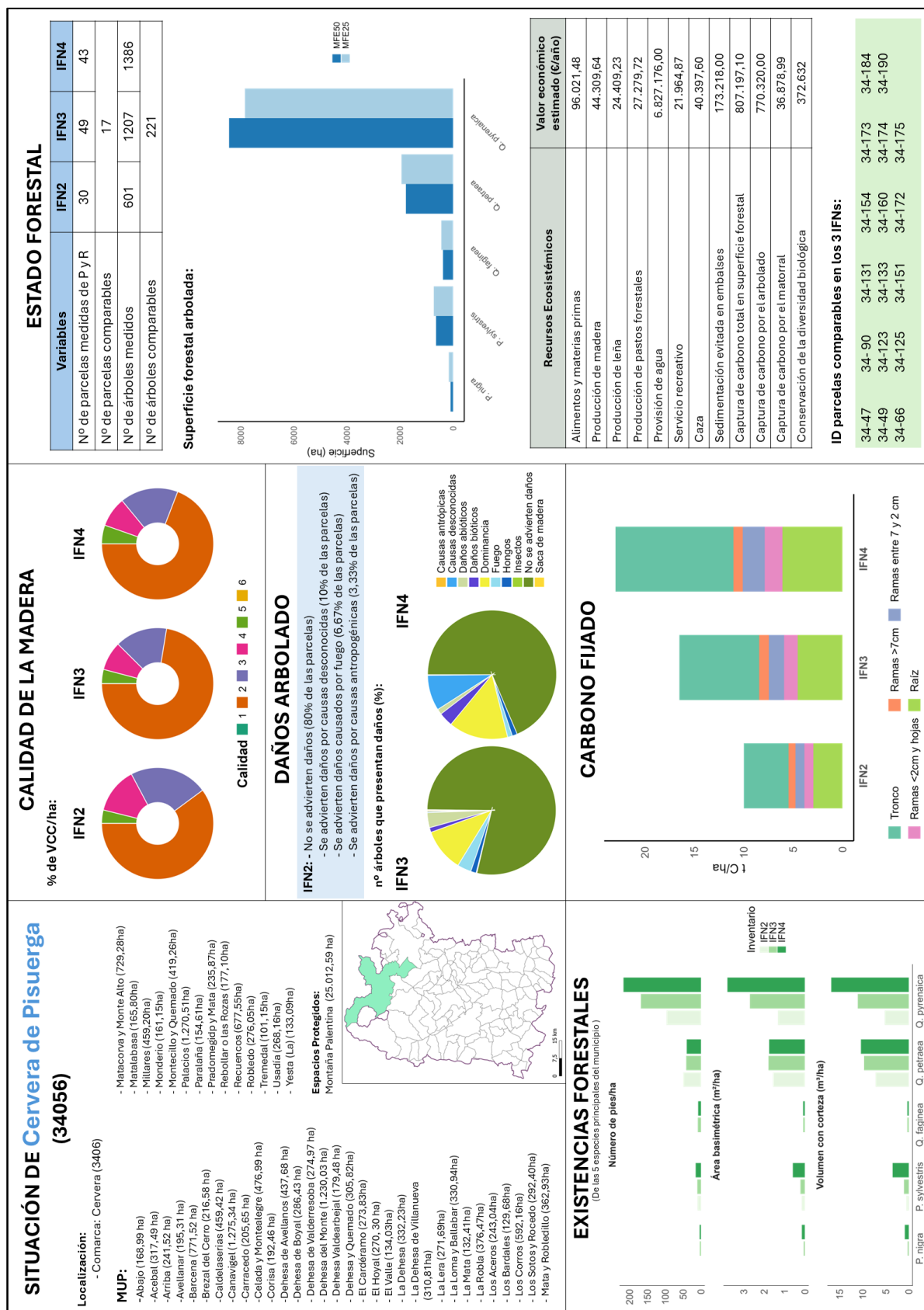


FIGURA 5.3. Dashboard del municipio de Cervera de Pisuerga.

En cuanto a la calidad de la madera de estas formaciones, la mayor parte del volumen se encuentra en la clase 2, correspondiente a árboles sanos, no dominados, sin señales de vejez, con algún defecto de conformación y capaces de proporcionar bastantes productos valiosos. También existe un porcentaje significativo en la clase 3, que incluye árboles no totalmente sanos, algo viejos o dominados, con bastantes defectos de conformación, pero capaces de proporcionar algunos productos valiosos. Por último, en la clase 4 se encuentran árboles enfermos, débiles o viejos, con muchos defectos de conformación y capaces únicamente de proporcionar productos de valor secundario. En el municipio la proporción de volumen de madera con mejor calidad aumenta en el IFN3 y disminuye ligeramente en el IFN4.

En cuanto a los daños que se aprecian en los pinos y robles del municipio, en la mayor parte no se advierten daños en ninguno de los inventarios. Entre las causas de los árboles dañados, destacan daños por dominancia en el IFN3 y en el IFN4, lo que sería coherente con grandes superficies de melojares sin ningún tratamiento selvícola en las que se estanca el crecimiento y hay una gran cantidad de rebrotes. También se aprecian daños por incendios que parecen disminuir con el paso del tiempo y en el IFN4 hay un porcentaje alto de árboles en los que se han reportado daños sin identificarles ninguna causa conocida.

El carbono fijado por estas masas presenta una tendencia creciente, superando en el IFN4 las 20t/ha, principalmente acumuladas en el tronco, seguido de la raíz y de las ramas de mayor diámetro (7–2cm). A ello se suma el aporte de los servicios ecosistémicos, en los que destacan con un valor estimado de 6,8 millones de euros anuales la provisión de agua y más de 800.000 € anuales la captura de carbono por la superficie forestal.

En conjunto, el municipio presenta un alto potencial de aprovechamiento forestal, especialmente en sus masas de melojares, que constituyen el recurso predominante. La aplicación de tratamientos selvícolas adecuados podría mejorar significativamente la calidad de la madera y la resiliencia de estas formaciones. Una parte importante de estas masas se encuentra en Montes de Utilidad Pública (MUP), lo que, al tratarse de montes de gestión pública, facilita la puesta en marcha de iniciativas que aporten beneficios directos a la economía local y a los vecinos, como la adjudicación de lotes de madera u otros aprovechamientos forestales. No obstante, es necesario tener en cuenta que el municipio está dentro de un espacio protegido (Parque Natural), por lo que cualquier planificación de la gestión forestal debe ajustarse a la legislación específica aplicable en este tipo de áreas.

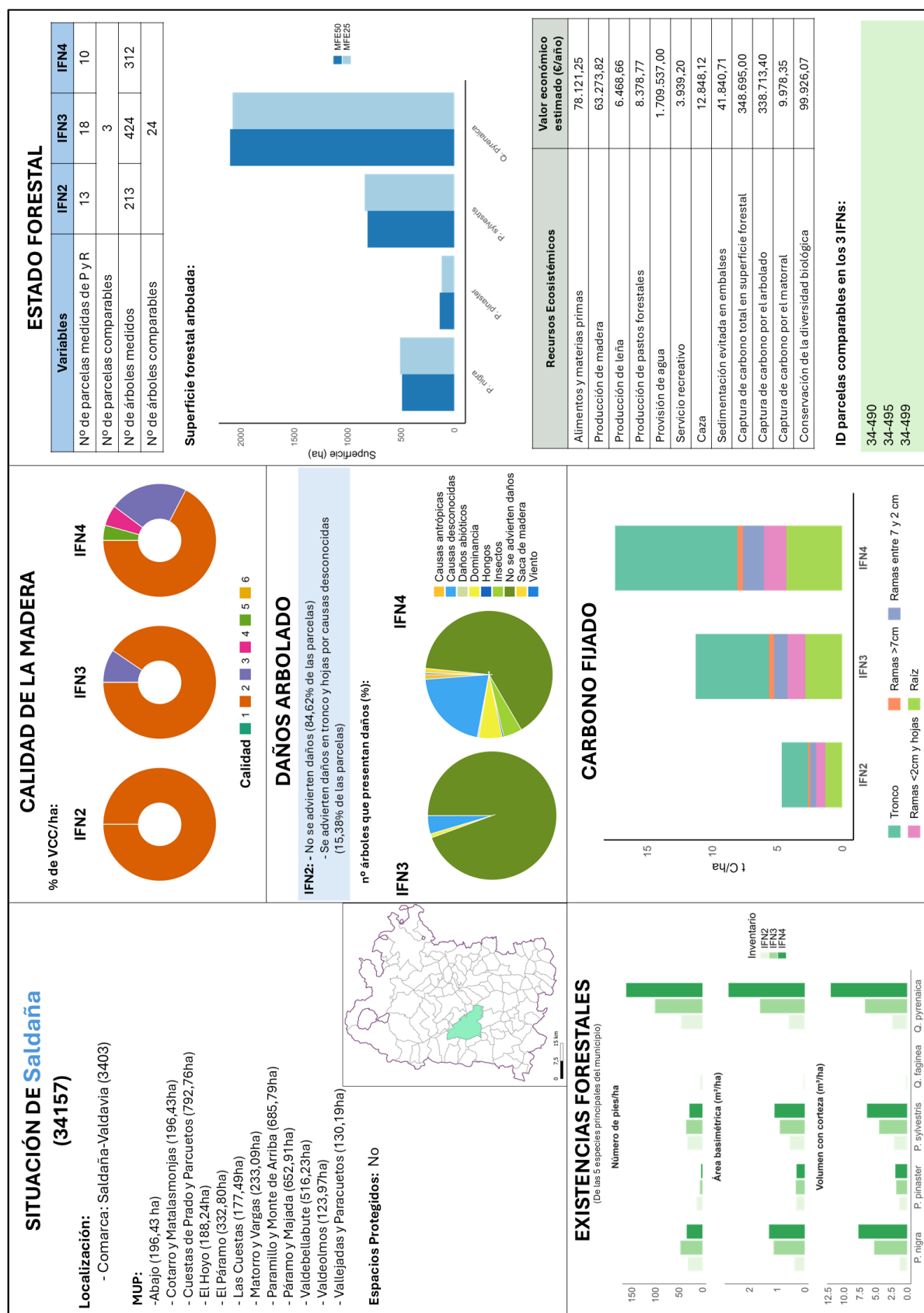
Por otro lado, la Figura 5.4. muestra el *dashboard* para el municipio de Saldaña. En el apartado de situación de la parcela se localiza el municipio en la comarca de Saldaña-Valdavia, y se listan los MUP que ocupan más de 100ha en el municipio, llegando a un total de 12. Entre los que destacan Cuesta de Prado y Parcuets con 792,76ha, Paramillo y Monte de Arriba con 685,79 ha y Páramo y Majada con 652,91ha en el municipio. En Saldaña no hay ningún espacio protegido.

En el municipio se han medido en los 3 inventarios, 13, 18 y 10 parcelas de robledales y pinares, de las cuales solo 3 tienen continuidad directa en los 3 inventarios. En estas parcelas se han medido 213, 424 y 312 árboles, de los cuales solo 24 son árboles remedidos en el IFN2, IFN3 e IFN4.

Al igual que en el municipio de Cervera de Pisuerga, en Saldaña dominan las formaciones de *Q. pyrenaica*, aunque en este caso hay más presencia de coníferas como *P. sylvestris*, *P. nigra* o *P. pinaster*. El crecimiento de los melojares también ha sido bastante notable tanto en número de individuos, como en área basimétrica y en volumen. En general, en el municipio todas las especies principales han experimentado un crecimiento progresivo en sus existencias a lo largo del tiempo. A excepción de *Q. faginea* que aparece en el IFN2 de forma testimonial pero ya no se registra su presencia en el municipio en los siguientes inventarios. Por su parte, *P. pinaster* ha crecido en volumen, se ha mantenido en área basimétrica y ha disminuido en pies/ha.

En el caso de las masas de *Q. pyrenaica* y *P. pinaster* la superficie ha disminuido ligeramente de un mapa a otro de 2.100,34ha a 2.077,29ha de *Q. pyrenaica* y de 135,10ha a 117,07 ha de *P. pinaster*. Mientras que las masas de *P. silvestres* han aumentado de 811,59ha a 839,00ha y las de *P. nigra* de 488,82ha a 508,06ha. En todos los casos los cambios en las superficies no han sido significativos.

En cuanto a la calidad de la madera de estas formaciones, la mayor parte del volumen se encuentra en la clase 2, lo que demuestra que hay una buena calidad de la madera en general. En el IFN3 y en el IFN4, empiezan a aparecer calidades peores, que se incrementa en el IFN4, lo que evidencia un decaimiento en la calidad de las masas con el avance de los inventarios.

FIGURA 12. *Dashbord* del municipio de Saldaña

En cuanto a los daños que se aprecian en el arbolado del municipio, en la mayor parte no se advierten daños. En el IFN4 hay una gran proporción de daños por causas desconocidas. También se advierten, pero en menor porcentaje en el IFN2 y en el IFN3. Además, en el IFN3 y en IFN4 también se notificaron daños por dominancia. En este último inventario se identificaron también en menor proporción daños por insectos, por saca de madera y por otras causas antrópicas y otros daños bióticos (hongos) y abióticos (viento). Lo que no se ha identificado han sido daños por fuego en este municipio.

El carbono fijado en el municipio aumenta significativamente, pasando de ser más del doble del IFN2 al IFN4, lo que demuestra el rápido crecimiento de las masas en estos casi 30 años, así como, el incremento de densidad y la expansión forestal. La proporción del árbol que fija más es el tronco, seguido de la raíz y las ramas de menos de 7cm y las hojas.

Por último, se ha hecho una valoración de los recursos ecosistémicos del municipio de estas masas de pinares y robledales, destacando el valor económico de la provisión de agua, llegando a 1,7 millones de €/año y la captura de carbono por la superficie forestal, cerca de 350.000€/año.

Al igual que Cervera de Pisuerga, Saldaña presenta un alto potencial en el aprovechamiento forestal, destaca el gran crecimiento de las existencias forestales entre inventarios, especialmente de las masas de melojares, aunque también se ve un incremento significativo en las existencias de coníferas. La calidad de la madera que presenta ha empeorado en los últimos años, pero en general, es buena. En este municipio se aprecia un aumento en los daños del arbolado entre el IFN3 y el IFN4. Una gestión forestal activa y adecuada permitiría mejorar tanto la calidad como la salud de estas masas, con la “ventaja” de que, al no encontrarse el municipio dentro de un espacio protegido, existe una mayor flexibilidad para planificar y aplicar tratamientos selvícolas.

5.2. Evolución Temporal y Caracterización Actual de las Masas Forestales

5.2.1. Situación de la Parcela y del Municipio

Con el objetivo de contextualizar la ubicación y el marco administrativo de las parcelas seleccionadas, en el apartado del *dashboard* que se ha denominado “*Situación de la Parcela*” se muestra la información integrada que se representa en la Tabla 5.1. para las parcelas P-pinar

y P-roblechal. Para representar de forma visual la situación de las parcelas y localizarlas dentro del BMP se han generado unos mapas que se muestran con más detalle en las Figuras 5.5. y 5.6..

TABLA 5.1. Información integrada y representada en el *dashboard* sobre la situación de dos parcelas de ejemplo del IFN.

Situación Parcela		P-pinar	P-roblechal
Localización	Comarca	Aguilar (3407)	Cervera (3406)
	Municipio	Aguilar de Campoo (34004)	Cervera de Pisuerga (34056)
Estado Legal	MUP	Royal	Tremedal
	Pertenencia	Ayto. de Aguilar de Campoo	Ayto. de Cervera de Pisuerga
	Amojonado	Si	No
	Deslindado	Si	No
	Espacio Protegido	No	Parque Natural Montaña Palentina

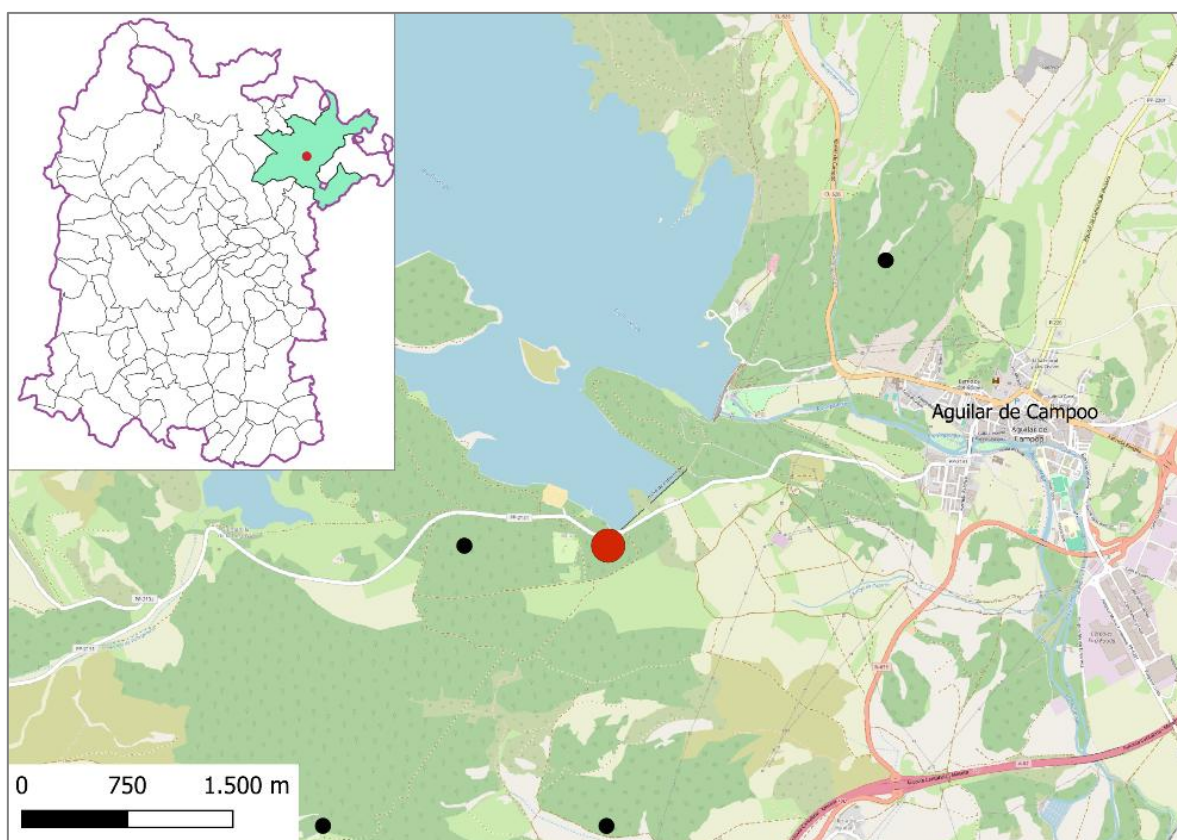


FIGURA 5.5. Mapa de localización de la parcela P-pinar en el municipio de Aguilar de Campoo. Otras parcelas del IFN se muestran en negro.

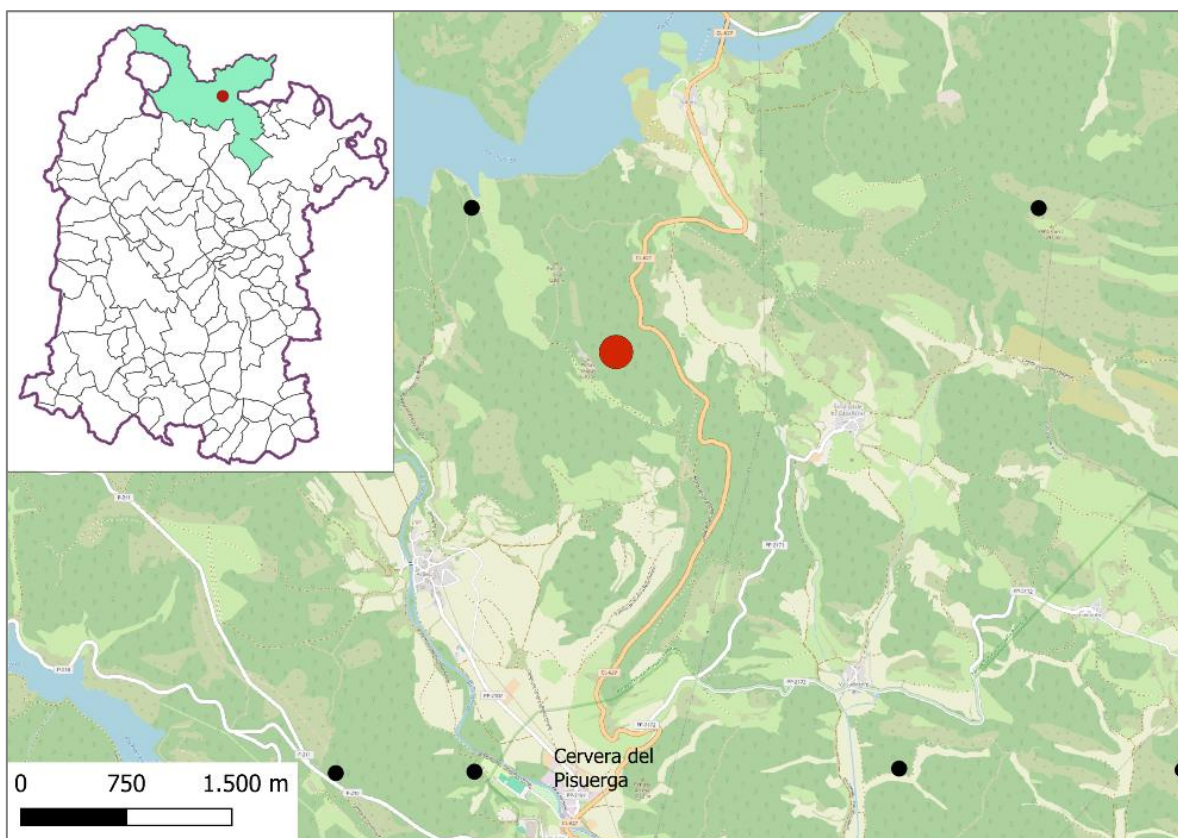


FIGURA 13. Mapa de localización de la parcela P-robleal en el municipio de Cervera de Pisuerga. Otras parcelas del IFN se muestran en negro.

De las 130 parcelas inventariadas en las tres ediciones del IFN, 15 (11,54%) se encuentran dentro de algún espacio protegido, mientras que 124 (95,38%) están ubicadas en Montes de Utilidad Pública (MUP). Entre estas últimas, 63 parcelas (50,81%) pertenecen directamente a los ayuntamientos en los que se localizan, 54 parcelas (43,55%) a una Entidad Local Menor (E.L.M.), y el resto a una Entidad Asociada conformada por varios municipios colindantes. En cuanto a su situación administrativa, casi la mitad de los MUP (47,58%) están deslindados y amojonados.

En el caso de los municipios, la información que se ha integrado en el *dashboard* en el apartado “*Situación del Municipio*” se resume en la Tabla 5.2., donde se presentan los ejemplos de Cervera de Pisuerga y Saldaña, con una superficie de 32.615,35 ha y 13.195,20 ha, respectivamente. Con el fin de facilitar la interpretación, únicamente se incluyen los MUP cuya superficie supera las 100 ha dentro de cada municipio. Para cada caso, el *dashboard* muestra el nombre del MUP, los espacios protegidos asociados (cuando existen) y la superficie ocupada

en hectáreas. La información más detallada de los MUP se muestra en el *dashboard* a nivel de parcela.

En el BMP, 64 de los 91 municipios cuentan con MUP, lo que refleja la amplia presencia de este tipo de propiedad en el territorio. Sin embargo, de los 346 MUP identificados, solo el 24,24% estaban amojonados y deslindados en 2024, lo que evidencia una situación de inseguridad en los límites y gestión administrativa de gran parte de estos montes.

Asimismo, el *dashboard* integra datos relativos a los espacios protegidos dentro del BMP, entre los que destacan tres figuras principales: el Parque Natural Montaña Palentina, presente en los municipios de Cervera de Pisuerga, Velilla del Río Carrión, Castrejón de la Peña, Aguilar de Campoo y Dehesa de Montejo, y los Paisajes Protegidos de Covalagua y Las Tuerces, que abarcan parte de Pomar de Valdivia y Aguilar de Campoo.

TABLA 5.2. Información integrada y representada en el *dashboard* sobre la situación de dos municipios de ejemplo del BMP.

Situación Municipio		Cervera de Pisuerga	Saldaña
Localización	Comarca	Cervera	Saldaña-Valdavia
Estado Legal	MUP (> 100 ha)	-Abajo (168,99 ha) -Acebal (317,49 ha) -Arriba (241,52 ha) -Avellanar (195,31 ha) -Barcena (771,52 ha) -Brezal del Cerro (216,58 ha) -Caldelaseries (459,42 ha) -Canavigel (1.275,34 ha) -Carracedo (205,65 ha) -Celada y Montealegre (476,99 ha) -Corisa (192,46 ha) -Dehesa de Avellanos (437,68 ha) -Dehesa de Boyal (286,43 ha) - Dehesa de Valderresoba (274,97 ha) - Dehesa del Monte (1.230,03 ha) - Dehesa Valdearbejal (179,48 ha) - Dehesa y Quemado (305,82ha) - El Cardéramo (273,83ha) - El Hoyal (270, 30 ha) - El Valle (134,03ha) - La Dehesa (332,23ha) - La Dehesa de Villanueva (310,81ha) - La Lera (271,69ha) - La Loma y Ballabar (330,94ha) - La Mata (132,41ha) - La Robla (376,47ha) - Los Aceros (243,04ha) - Los Bardales (129,68ha)	- Abajo (196,43 ha) - Cotarro y Matalasmonjas (196,43ha) - Cuestas de Prado y Parcuets (792,76ha) - El Hoyo (188,24ha) - El Páramo (332,80ha) - Las Cuestas (177,49ha) - Matorro y Vargas (233,09ha) - Paramillo y Monte de Arriba (685,79ha) - Páramo y Majada (652,91ha) - Valdebellabute (516,23ha) - Valdeolmos (123,97ha) - Vallejadas y Paracuets (130,19ha)

Situación Municipio		Cervera de Pisuerga	Saldaña
		- Los Corros (592,16ha) - Los Sotos y Rocado (292,40ha) - Mata y Robledillo (362,93ha) - Matacorva y Monte Alto (729,28ha) - Matalabasa (165,80ha) - Millares (459,20ha) - Monderio (161,15ha) - Montecillo y Quemado (419,26ha) - Palacios (1.270,51ha) - Paralaña (154,61ha) - Pradomegidp y Mata (235,87ha) - Rebollar o las Rozas (177,10ha) - Recuencos (677,55ha) - Robledo (276,05ha) - Tremedal (101,15ha) - Usadía (268,16ha) - Yesta (La) (133,09ha)	
	Espacio Protegido	Parque Natural Montaña Palentina (25.012,59 ha)	No

Además, el diseño del *dashboard* también incluye un mapa de localización que permite situar cada municipio en el contexto territorial del BMP, lo que da una referencia espacial clara y fácil de interpretar. En la Figura 5.7. se ilustran los casos de Cervera de Pisuerga (izquierda) y Saldaña (derecha).

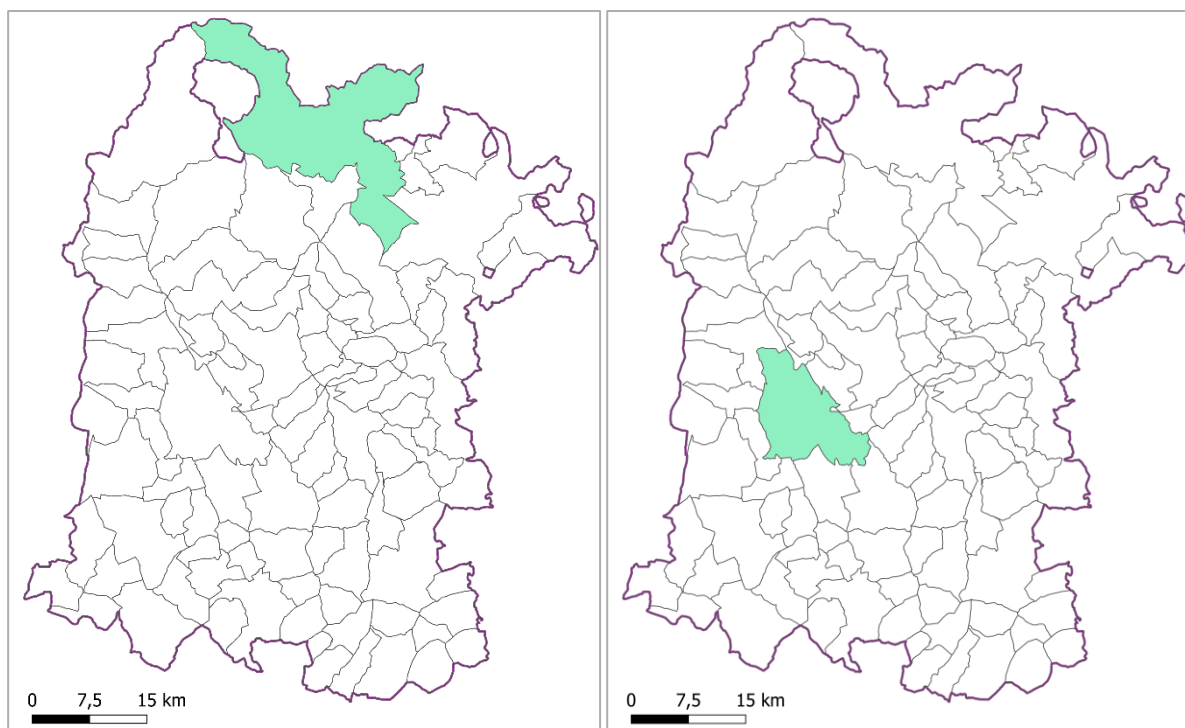


FIGURA 5.7. Mapa localización del municipio de Cervera de Pisuerga (izquierda) y Saldaña (derecha) en el BMP.

5.2.2. Estado Natural de la Parcela

La información sobre la fisiografía de la parcela se considera estable en el tiempo, por lo que en este apartado se muestran únicamente los datos de la última edición disponible del inventario (IFN4), al considerarse los más precisos. La altitud y la exposición de la parcela se extrapoló en el IFN4 de los Modelos Digitales del Terreno más actuales, la pendiente que se muestra es la máxima pendiente de la parcela medida en campo con un hipsómetro a escala 20 y también se da el valor de su orientación en grados. Además, en este apartado del *dashboard* titulado “*Estado Natural*” se incluye el modelo de combustible de cada parcela, clasificado según el Anexo 28 de los documentadores de campo del IFN4. Esta clasificación, similar a la descrita por Rothermel, agrupa los combustibles en 13 categorías divididas en cuatro tipos principales: pastos, matorral, hojarasca bajo arbolado y restos de cortas.

En la Tabla 5.3. se presenta la información descrita anteriormente para las parcelas de ejemplo. Además, se incluyen las características estimadas del suelo y los datos climáticos, como la región biogeográfica, obtenida del MFE25.

TABLA 5.3. Información del apartado de estado natural del *dashboard* de dos parcelas de ejemplo del BMP.

Estado Natural		P-pinar	P-robleal
Altitud (m)		949	1230
Pendiente principal (°)		2,5	6,5
Orientación pendiente principal (°)		172	256
Exposición		Solana	Umbria
Modelo de combustible		9	9
Región biogeográfica		Mediterránea	Atlántica
Suelo	Tipo	Suelo síliceo	Suelo síliceo
	Pedregosidad	Sin pedregosidad	Sin pedregosidad
	Textura	Arenosa	Franca
	Materia orgánica	Moderadamente húmifero	Muy húmifero
	pH	Moderadamente ácido (5>pH<6)	Moderadamente ácido (5>pH<6)

Las parcelas del IFN dentro del BMP presentan pendientes moderadas, no superiores a 13°, siendo la mayoría menores de 5° (71,54%), y se encuentran a altitudes comprendidas entre 840 m y 1570 m. La mayor parte se localiza en la región biogeográfica mediterránea,

aunque cerca del 5% pertenecen a la región atlántica, reflejando la condición de zona de transición del territorio.

En cuanto a los suelos, predominan los de tipo silíceo (96,15%), con baja o nula pedregosidad en el 90% de las parcelas. La textura mayoritaria es franca (80%) y el pH de los suelos indica acidez moderada (5–6) en el 98,46% de los casos. Respecto al contenido de materia orgánica superficial, el 39,23% de las parcelas presenta valores bajos, el 52,31% moderados y el resto altos.

En lo que respecta a los modelos de combustible, la mayoría de las parcelas se clasifica como modelo 5 (*“Matorral disperso, denso y verde, de menos de 1 m de altura”*, 33,84%), seguido por el modelo 11 (*“Bosque claro y fuertemente aclarado. Restos de poda o aclarado ligeros, diámetro <7,5 cm”*). En general, estos modelos de combustible presentan bajo riesgo de incendio, debido a la limitada continuidad y densidad del material combustible.

En las Figuras 5.8. y 5.9. se muestra con mayor detalle la distribución anual de la temperatura y la precipitación medias, representada mediante diagramas climáticos de Walter-Lieth para las parcelas de ejemplo. La parcela P-pinar situada en Aguilar de Campoo (Figura 5.8.) presenta un clima subhúmedo, caracterizado por la existencia de dos meses de verano relativamente secos. En contraste, la parcela de Cervera de Pisuerga (Figura 5.9.) se enmarca en un clima húmedo, con sequía estival poco pronunciada.

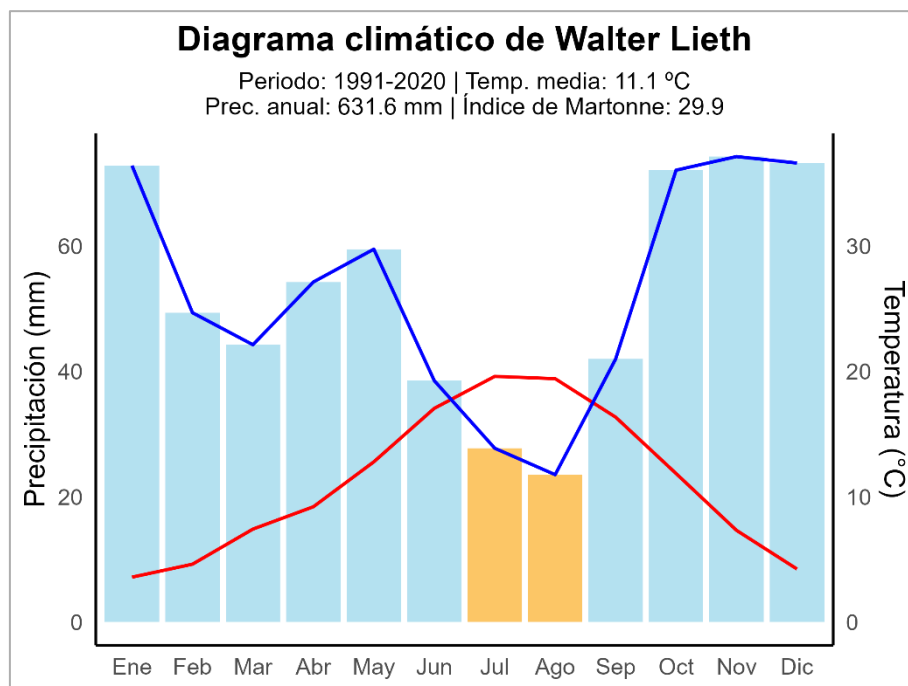


FIGURA 14. Diagrama climático de Walter-Lieth donde se representa en línea roja la temperatura mensual media del periodo (1991-2020) y en línea y barras azules la precipitación media mensual para el mismo periodo para la parcela P-pinar. Las barras naranjas representan los meses secos, donde la precipitación es menor al doble de la temperatura.

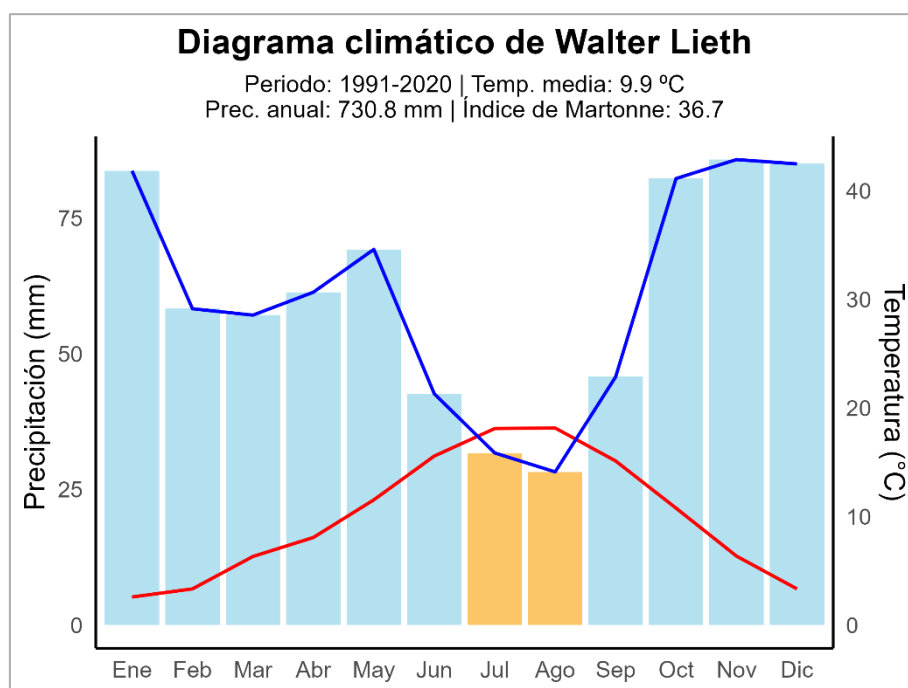


FIGURA 15. Diagrama climático de Walter Lieth donde se representa en línea roja la temperatura mensual media del periodo (1991-2020) y en línea y barras azules la precipitación media mensual para el mismo periodo para la parcela P-robleal. Las barras naranjas representan los meses secos, donde la precipitación es menor al doble de la temperatura.

5.2.3. Daños del Arbolado y Calidad de la Madera (Parcela y Municipio)

Las Figuras 5.10. y 5.11. muestran una comparación del porcentaje de árboles con distintos tipos de daños en las dos últimas ediciones del inventario (IFN3, IFN4), para las parcelas de ejemplo. En el caso del IFN2, los daños se registran a nivel de parcela, por lo que solo se ha obtenido una descripción genérica para cada parcela.

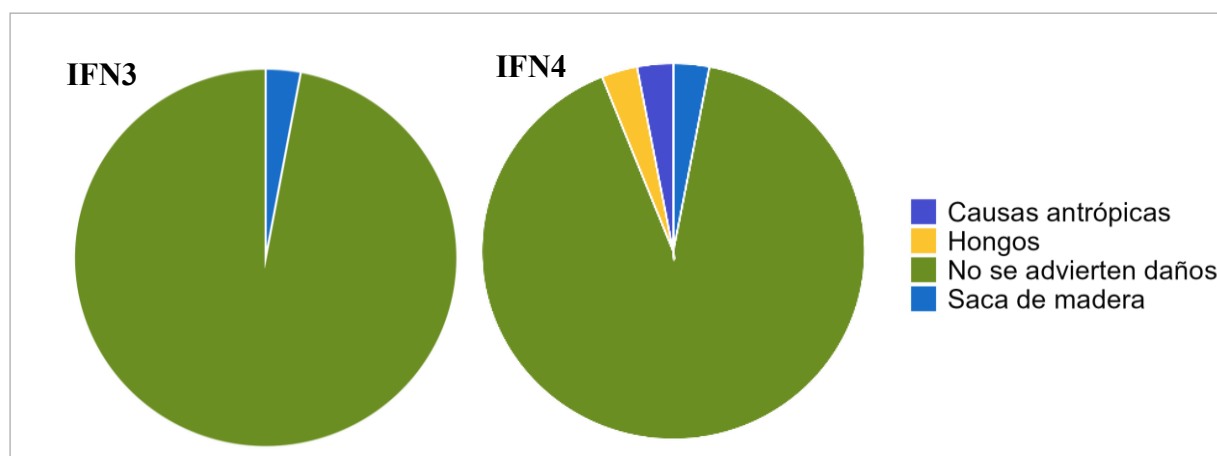


FIGURA 5.10. Porcentaje de árboles dañados o no en la parcela P-pinar en el IFN3 y en el IFN4

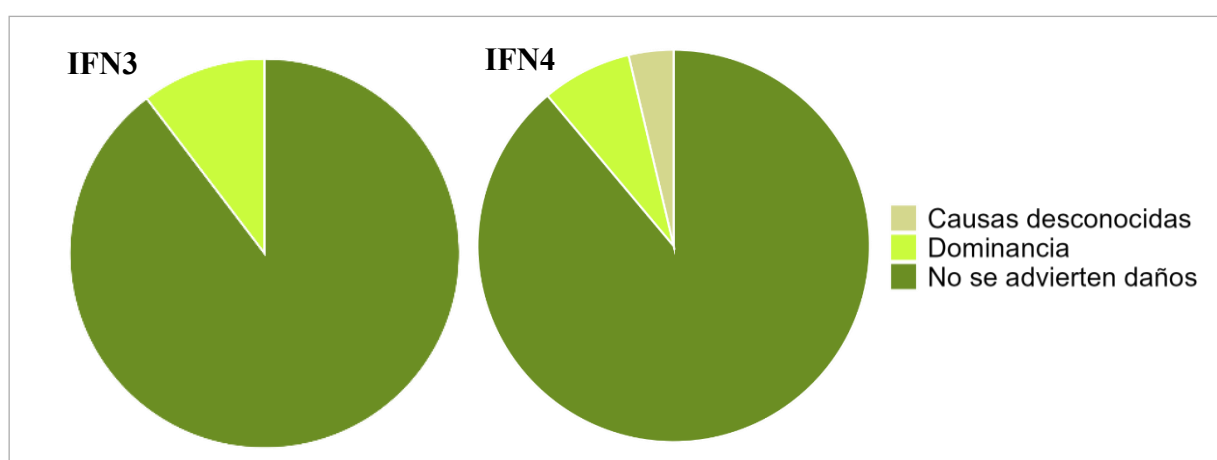


FIGURA 16. Porcentaje de árboles dañados o no en la parcela P-robledal en el IFN3 y en el IFN4

En las dos parcelas de ejemplo, en el IFN2 no se registran daños. Para la parcela P-pinar, en el IFN3 el 97,06 % de los árboles no presentan daños visibles, mientras que el 2,94 % muestra daños asociados a la saca de madera. En el IFN4, esta misma parcela presenta también un 3,03 % de árboles con daños por saca de madera, un 3,03 % por causas antrópicas no especificadas y otro 3,03 % afectados por hongos. En el caso de la parcela P-robledal, en el

IFN3 se observan daños por dominancia en el 10,34 % de los árboles. En el IFN4, además de los daños por dominancia (7,41 %), se registran daños por causas desconocidas en el 3,70 % de los árboles.

También se realizaron estas comparaciones a nivel de municipio, que se presentan en la Figura 5.12. para Cervera de Pisuerga y en la Figura 5.13. para Saldaña de los daños detectados en los pinares y robledales.

En Cervera de Pisuerga, durante el IFN2, en la mayoría de las parcelas (80%) no se registran daños. Los daños observados se distribuyen de la siguiente manera: causas desconocidas (10 %), incendios (6,67%) y causas antropogénicas no especificadas (3,33%). En el IFN3 (Figura 5.12.), el 78,49 % de los árboles no presenta daños visibles. Entre los árboles dañados, el 10,75 % muestra daños por dominancia, el 3,77% por factores abióticos, el 3,49 % por incendios, y en menor medida (<4 %) se identifican daños por factores bióticos, hongos, insectos, muérdago y afines, causas antropogénicas y saca de madera. En el IFN4 (Figura 5.12.), el porcentaje de árboles sin daños desciende al 68,64 %. Los daños más frecuentes son por dominancia (14,92 %) y causas desconocidas (8,90 %), seguidos por daños bióticos (3,56 %) y daños abióticos (1,36%). En menos del 3 % de los árboles se registran daños por hongos, incendios y causas antrópicas sin especificar.

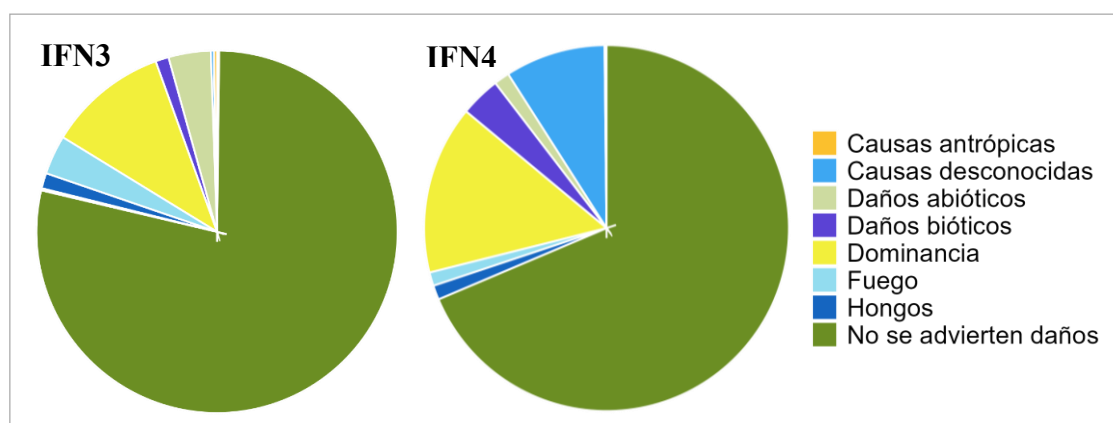


FIGURA 5.12. Porcentaje del número de pies de pinares y robledales en el municipio de Cervera de Pisuerga que presentan daños en el IFN3 y en el IFN4.

En el municipio de Saldaña, durante el IFN2, al igual que en Cervera de Pisuerga, la mayoría de las parcelas (84,62 %) no presentan daños. Solo en el 15,38 % de las parcelas se identifican daños en tronco y hojas por causas desconocidas.

En el IFN3 (Figura 5.13.), la situación es similar a la del IFN2: el 94,40 % de los árboles no presenta daños, mientras que un 4,62 % muestra daños por causas desconocidas y un 0,97 % por dominancia. En el IFN4 (Figura 5.13.), el porcentaje de árboles sin daños disminuye al 64,96 %. Los daños más frecuentes son por causas desconocidas (20,87 %), dominancia (5,91 %) e insectos (4,72 %). El resto de los daños, en proporciones menores, se deben a saca de madera, causas antrópicas, hongos, factores abióticos y viento.

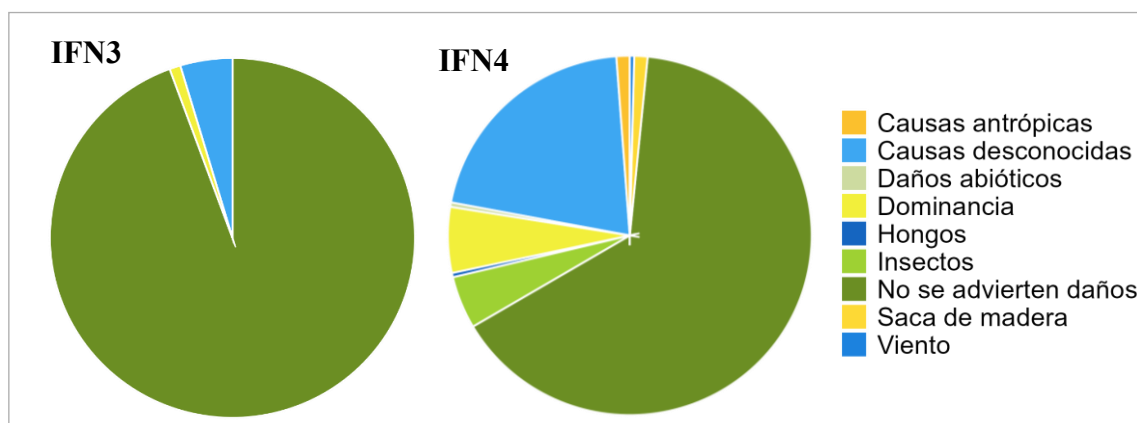


FIGURA 5.13. Porcentaje del número de pies de pinos y robledales en el municipio de Saldaña que presentan daños en el IFN3 y en el IFN4.

En el BMP, las causas de daño más frecuentes en las especies de pinos y robles muestreados varían según la edición del inventario: en el IFN2 predominan los daños por insectos; en el IFN3, los daños se concentran en dominancia y por incendios; y en el IFN4, los más comunes son los causados por insectos y por dominancia. Además, un gran número de árboles aparece registrado como dañado sin especificar una causa conocida.

A continuación, en la Figura 5.14. se muestra para las parcelas de ejemplo P-pinar (izquierda) y P-robledal (derecha) el porcentaje en volumen con corteza de los pies con calidades de madera que pueden ir desde 1 (mejor calidad) hasta 6 (árbol muerto en pie). La clasificación de la calidad de la madera se describe en la Tabla 15 (Sección 4.4).

En ambas parcelas, la calidad predominante de la madera es la calidad 2 en todas las ediciones del inventario. En la parcela P-pinar, además de la calidad 2, se observa un mayor porcentaje de madera de calidades inferiores (3, 4 y 5), siendo la calidad 2 un 65,25% en IFN2. En el IFN3, la calidad 2 alcanza el 97,09%, cediendo solo a la calidad 3, mientras que en el IFN4 disminuye al 90,22%, sin llegar a los niveles más bajos registrados en IFN2.

En la parcela P-robleal ocurre un patrón similar, aunque con valores más altos de calidad 2: en IFN2 representa el 94,33%, se mantiene en 94,43% en IFN3, aunque con la aparición de algunos pies de calidad inferior, y en IFN4 baja al 85,57%, aumentando la proporción de madera de menor calidad.

En conjunto, el análisis de estas dos parcelas indica que la calidad de la madera ha mostrado un ligero descenso en los últimos años (Figura 5.14.).

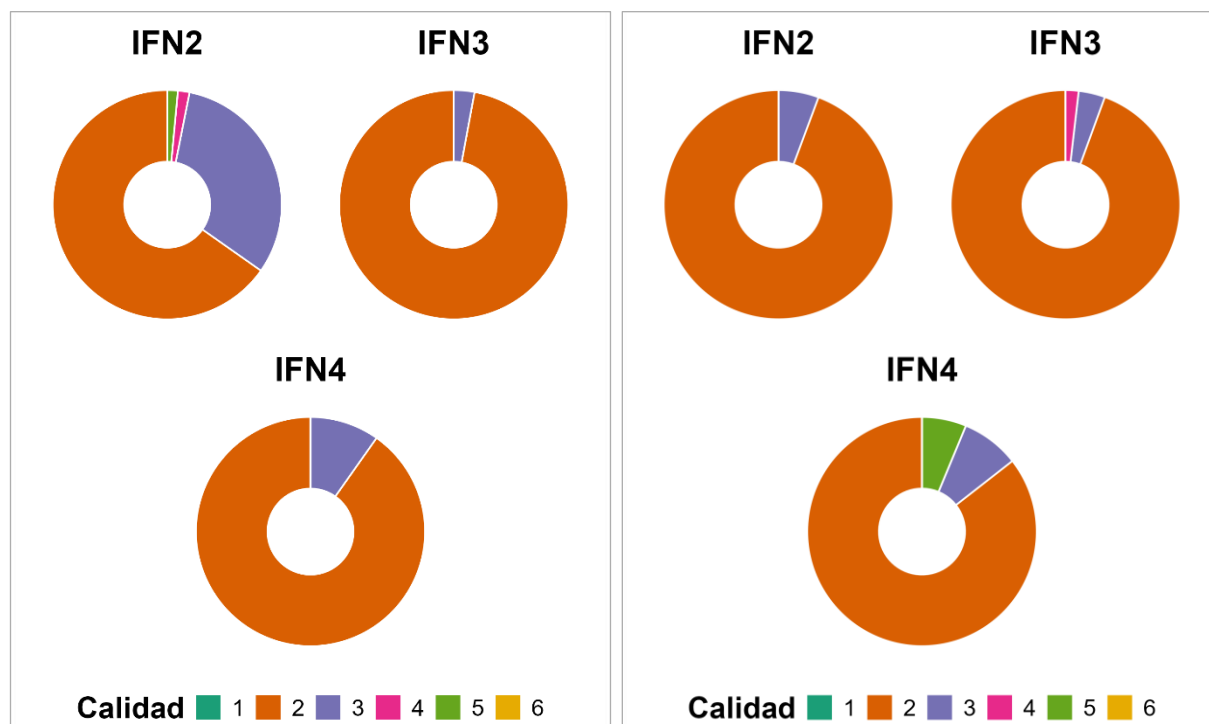


FIGURA 5.14. Porcentaje de VCC/ha de pies con diferentes calidades de madera en la parcela P-pinar (izquierda) y P-robleal (derecha)

En la Figura 5.15. se muestra la distribución de calidades de las masas de pinares y robledales en el municipio de Cervera de Pisuerga (arriba) y en el municipio de Saldaña (abajo). En ambos municipios predomina la calidad dos para los 3 inventarios estudiados. En Cervera el porcentaje de mejores calidades aumenta ligeramente en el IFN3 (72,43%) con respecto al IFN2 (60,13%) mientras que en el IFN4 disminuye (69,16%). El caso de Saldaña, en el IFN2 el 100% del volumen/ha de pinares y robledales muestreados es de calidad 2, en el IFN3 baja al 90,51% y en el IFN4 al 67,37%. En ambos municipios, al igual que ocurre con las parcelas, se observa una disminución de la calidad del IFN3 al IFN4, aunque en este caso es más pronunciada en Saldaña que en Cervera de Pisuerga.

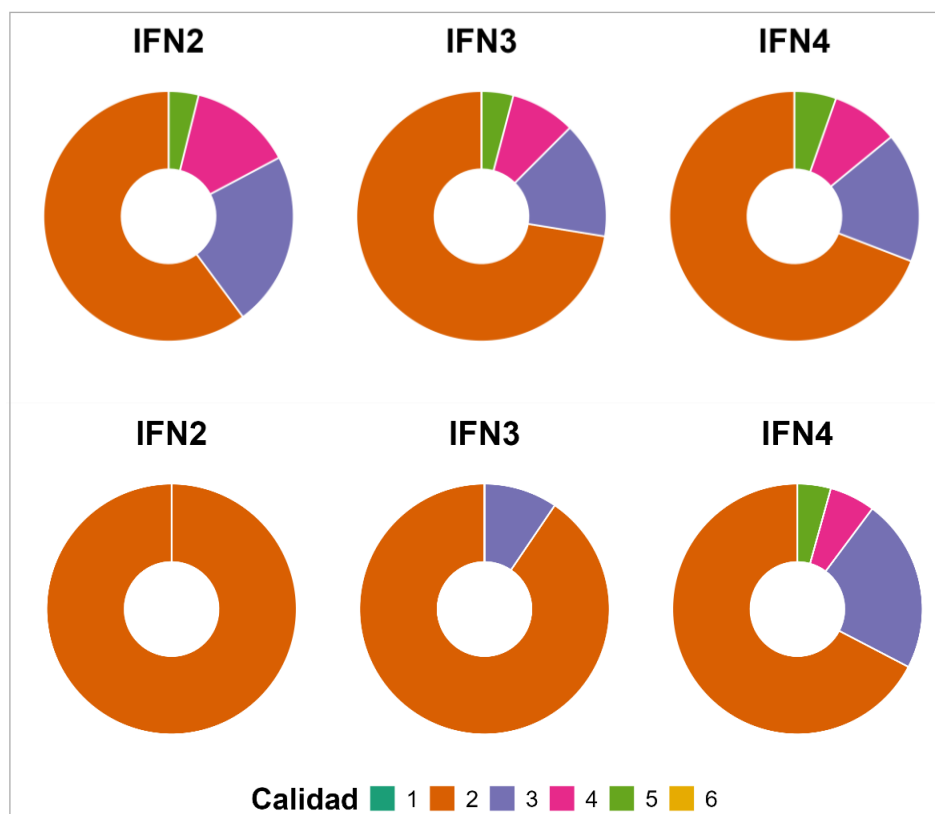


FIGURA 17. Calidad de la madera expresada en porcentaje de VCC/ha de pinares y robledales en los municipios de Cervera de Pisuerga (arriba) y Saldaña (abajo).

En el conjunto del BMP, la mayoría de las masas de pinares y robledales presentan calidad 2 en los tres inventarios (81,06%, 86,55% y 64,05%), lo que indica que, en general, los pies tienen buenas conformaciones y pueden generar productos de valor añadido. No obstante, aunque se observa un incremento en la proporción de calidad 2 del IFN2 al IFN3, en el IFN4 aumentan las peores calidades, lo que se puede observar tanto en las parcelas, como en los municipios de ejemplo.

5.3. Cálculo de Indicadores Forestales

5.3.1. Estado Forestal de la Parcela y Carbono fijado

Para reflejar el estado forestal de las parcelas se han elaborado tablas que recogen la información más relevante. En el caso de las parcelas de ejemplo, los valores se presentan en la Tabla 5.4. y la Tabla 5.5. que se han integrado en los *dashboards* de parcelas, cuya interpretación se desarrolla en la Sección 5.5.1.

TABLA 5.4. Descripción del estado forestal de la parcela de ejemplo P-pinar

Variables Generales de la Parcela		P-pinar		
		IFN2	IFN3	IFN4
Fecha toma de datos de campo		1991	14/03/03	21/04/19
FCC arbolado en la parcela (%)		85	85	75
Nº pies medidos		43	34	33
Altura dominante (m)		10,50	14,01	16,31
Altura media (m)		9,27	12,56	15,36
Diámetro medio cuadrático (m)		0,22	0,29	0,36
Diámetro medio (m)		0,21	0,28	0,34
Nº pies identificados como muertos (en pie)		0	0	0
Composición específica		Mixta	Mixta	Mixta
Forma principal de la masa		Irregular	Irregular	Irregular
Índice de Shannon		1,06	0,84	1,06
Índice de esbeltez		43,98	44,27	44,85
SDI / SDImax		0,76	0,59	0,54
Fecha toma de datos de campo		27,97	31,46	30,65
ESTRATO ARBOREO				
Especie	Variables			
<i>P. pinaster</i>	Nº pies mayores	25	15	16
	Edad (años)		30	45
	Estado Desarrollo	Fustal		
	Origen	Plantación		
	FCC (%)	60	50	50
	Densidad de regeneración en la parcela ($r < 5m$)	5 - 15 pies	1 - 4 pies	0
<i>P. sylvestris</i>	Nº pies mayores	16	18	15
	Edad (años)		30	45
	Estado Desarrollo	Fustal		
	Origen	Plantación		
	FCC (%)	40	40	40
	Densidad de regeneración en la parcela ($r < 5m$)	0	0	0
ESTRATO ARBUSTIVO				
Especies	Variables			
<i>Erica spp.</i>	FCC (%)	60	8	10
	Hm (m)	0,2	0,2	0,2
<i>Papilionoudeas altas (Ht >1,5m)</i>	FCC (%)	20		
	Hm (m)	0,3		
<i>Genistella spp</i>	FCC (%)		1	
	Hm (m)		0,2	

TABLA 5.5. Descripción del estado forestal de la parcela de ejemplo P-robleal

Variables Generales de la Parcela		P-robleal		
		IFN2	IFN3	IFN4
Fecha toma de datos de campo		1991	24/03/03	13/08/19
FCC arbolado en la parcela (%)		90	85	90
Nº pies medidos		26	29	27
Altura dominante (m)		11,85	16,57	19,73
Altura media (m)		11,25	13,98	17,25
Diámetro medio cuadrático (m)		0,21	0,24	0,30
Diámetro medio (m)		0,21	0,23	0,29
Nº pies identificados como muertos (en pie)		0	0	1
Composición específica		Pura	Pura	Pura
Forma principal de la masa		Irregular	Irregular	Irregular
Índice de Shannon		0,00	0,17	0,66
Índice de esbeltez		54,74	59,95	60,19
SDI / SDImax		0,68	0,76	0,56
Fecha toma de datos de campo		29,79	22,25	25,33
ESTRATO ARBOREO				
Especie	Variables			
<i>Q. petraeae</i>	Nº pies mayores	26	28	23
	Edad (años)	-	-	-
	Estado Desarrollo	Latizal	Latizal	Fustal
	Origen	Natural: semilla y brote		
	FCC (%)	90	50	70
	Densidad de regeneración en la parcela ($r < 5m$)	1 - 4 pies	> 15 pies	>15 pies
<i>Q. pyrenaica</i>	Nº pies mayores	0	1	3
	Edad (años)	-	-	-
	Estado Desarrollo		Latizal	Fustal
	Origen	Natural: semilla y brote		
	FCC (%)	70	40	20
	Densidad de regeneración en la parcela ($r < 5m$)	0	> 15 pies	>15 pies
ESTRATO ARBUSTIVO				
Especies	Variables	5		
<i>Erica</i> spp.	FCC (%)	0,4		
	Hm (m)	5	5	2
<i>Rosa</i> spp.	FCC (%)	1	0,6	0,3
	Hm (m)		10	3
<i>Retama</i> spp.	FCC (%)		0,7	0,2
	Hm (m)	10		
Papilionoideas altas ($Ht > 1,5m$)	FCC (%)	1		
	Hm (m)	5		

En el BMP, aproximadamente el 63% de las parcelas se mantienen como masas puras a lo largo de los tres inventarios considerados. En cuanto a la estructura, predomina la forma irregular: en el IFN2 el 69,23% de las parcelas presentaban esta condición, proporción que aumentó al 93,07% en el IFN3 y alcanzó el 96,92% en el IFN4.

La diversidad específica de las masas de pinares y robledales en la zona del BMP es baja, con valores del índice de Shannon inferiores a 2 en todas las parcelas, y en la mayoría de los casos igual a 0. Este resultado es esperable si se considera únicamente la vegetación arbórea, ya que es poco común encontrar más de tres especies en una parcela con una representación superior al 10% del área basimétrica. Sin embargo, el número especies arbustivas identificadas en las parcelas ha aumentado con el paso de los inventarios llevando a inventariarse 8 y 9 especies diferentes en el IFN3 y en el IFN4 en varias parcelas. A nivel estructural se observan parcelas de pinares y robledales con características muy heterogéneas dentro del BMP. A modo de ejemplo, en el IFN4 la altura dominante máxima registrada fue de 24,92m, mientras que la mínima alcanzó los 4,2m. La densidad varía desde 23,76 hasta 1.960,06pies/ha, y el diámetro medio cuadrático oscila entre 0,10m y 0,72m.

También se estimó el carbono fijado en las parcelas. En la Figura 5.16. se representa la distribución del carbono por fracciones de biomasa, expresado en t/ha, para las dos parcelas de ejemplo incluidas en el *dashboard*. Los valores correspondientes a las tres ediciones del inventario se recogen en la Tabla 5.6.. En ambos casos se observa un incremento del carbono fijado en el arbolado a lo largo del tiempo. No obstante, este aumento resulta mucho más acusado en la parcela P-robledal, que partiendo de un nivel similar al de la P-pinar en el IFN2, alcanza en el IFN4 casi 30 t/ha más de carbono fijado en total.

Asimismo, se observa una marcada heterogeneidad en el carbono fijado por las distintas parcelas, aunque en prácticamente todas se registra un incremento progresivo a lo largo de los inventarios. En el IFN4, los valores oscilan entre 3,27 t/ha y 234,83 t/ha.

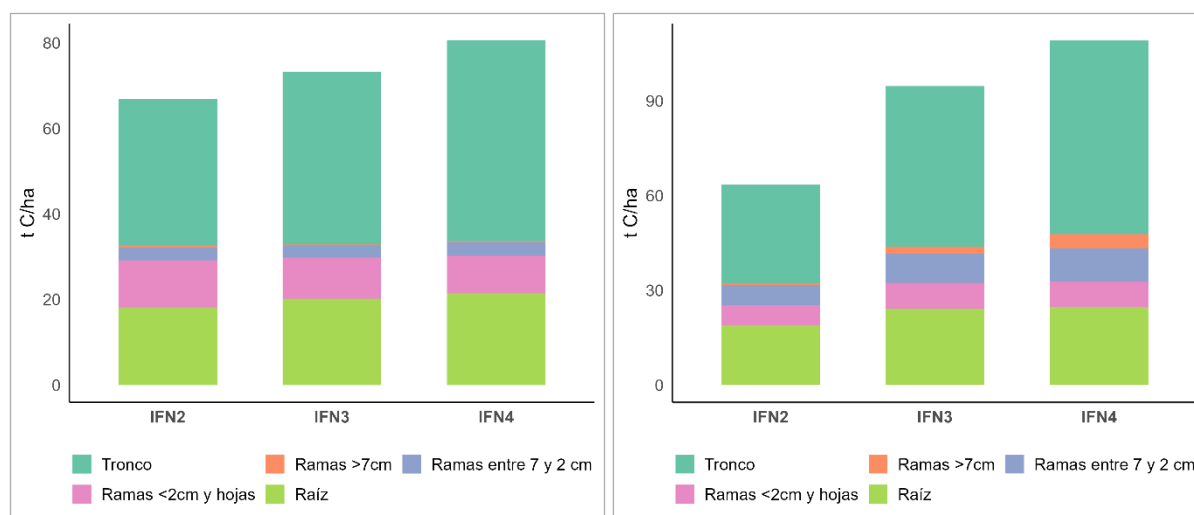


FIGURA 18. Gráfico de barras de valor acumulado de carbono fijado por el arbolado en toneladas/ha fijado por la parcela P-pinar (izquierda) y por la parcela P-robleal (derecha), dividido por fracciones de biomasa y para las 3 ediciones del inventario.

TABLA 5.6. Carbono fijado (t/ha) por fracción del árbol para 3 ediciones del IFN en las dos parcelas de ejemplo.

Carbono fijado (t/ha) en:	P-pinar			P-robleal		
	IFN2	IFN3	IFN4	IFN2	IFN3	IFN4
Tronco	34,27	40,29	46,83	31,29	50,97	61,26
Ramas >7 cm diámetro	0,51	0,21	0,32	0,51	2,02	4,51
Ramas entre 7-2 cm de diámetro	3,08	2,97	3,07	6,55	9,30	10,54
Ramas <2 cm de diámetro y hojas	11,03	9,64	8,84	6,34	8,81	7,92
Raíz	18,08	20,09	21,46	18,77	24,21	24,81
TOTAL	66,94	73,21	80,53	63,47	94,65	109,05

5.3.2. Estado Forestal del Municipio y Carbono fijado

Las características del estado forestal de los municipios de Cervera de Pisuerga y Saldaña se representan en los *dashboards* mediante tablas y graficas. En la Tabla 5.7. se puede ver el número de parcelas y árboles medidos en los diferentes inventarios en los dos municipios de ejemplo. Estos valores pretenden dar un contexto general de los datos de campo utilizados en este trabajo para hacer los cálculos a nivel municipal.

TABLA 5.7. Descripción del número de parcelas y árboles medidos en los dos municipios de ejemplo

Variables	Cervera de Pisuerga			Saldaña		
	IFN2	IFN3	IFN4	IFN2	IFN3	IFN4
Nº de parcelas medidas de P y R	30	49	43	13	18	10
Nº de parcelas comparables	17			3		
Nº de árboles medidos	601	1207	1386	213	424	312
Nº de árboles comparables	221			24		

Asimismo, se ha calculado la superficie ocupada por las formaciones de robledales y pinares en cada municipio a partir de la comparación entre el MFE50 y el MFE25. En la Tabla 5.8. se muestran los datos exactos sobre los cambios de superficie detectados entre ambos mapas de las 5 especies principales que ocupan más de 10ha en el municipio. Cabe señalar que entre el entre MFE50 y el MFE25 la diferencia temporal es de aproximadamente 18 años. Las Figuras 27 y 28 presentan la representación gráfica de estos resultados, incluida en el *dashboard* para los municipios de Cervera de Pisuerga (Figura 5.17) y Saldaña (Figura 5.18). En términos generales, en el BMP, alrededor del 43,65% de las especies han experimentado un aumento en superficie en los municipios. Sobre todo, de *Quercus pyrenaica*, aunque también de *Pinus nigra* y *sylvestris*.

TABLA 5.8. Cambios en la superficie (ha) del MFE50 al MFE25 en los municipios de ejemplo

Especies	Cervera de Pisuerga		Saldaña	
	MFE50	MFE25	MFE50	MFE25
<i>Quercus pyrenaica</i>	8.437,56	7.837,30	2.100,34	2.077,29
<i>Quercus petraea</i>	1.774,06	1.941,60		
<i>Quercus faginea</i>	377,58	442,30		
<i>Pinus sylvestris</i>	640,13	725,45	811,59	839,00
<i>Pinus nigra</i>	90,34	156,29	488,82	508,07
<i>Pinus pinaster</i>			135,10	117,07
TOTAL	11.319,67	11.102,94	3.535,85	3.541,43

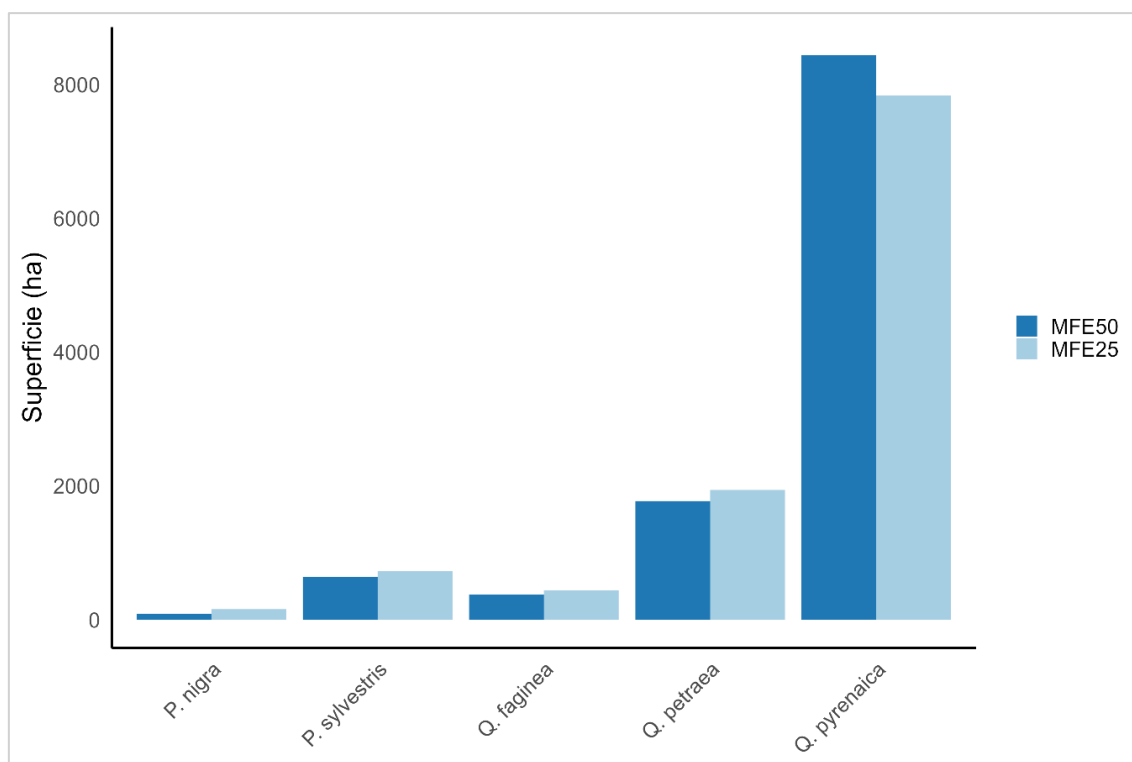


FIGURA 19. Representación de los cambios en la superficie de pinares y robledales en el municipio de Cervera de Pisuerga.

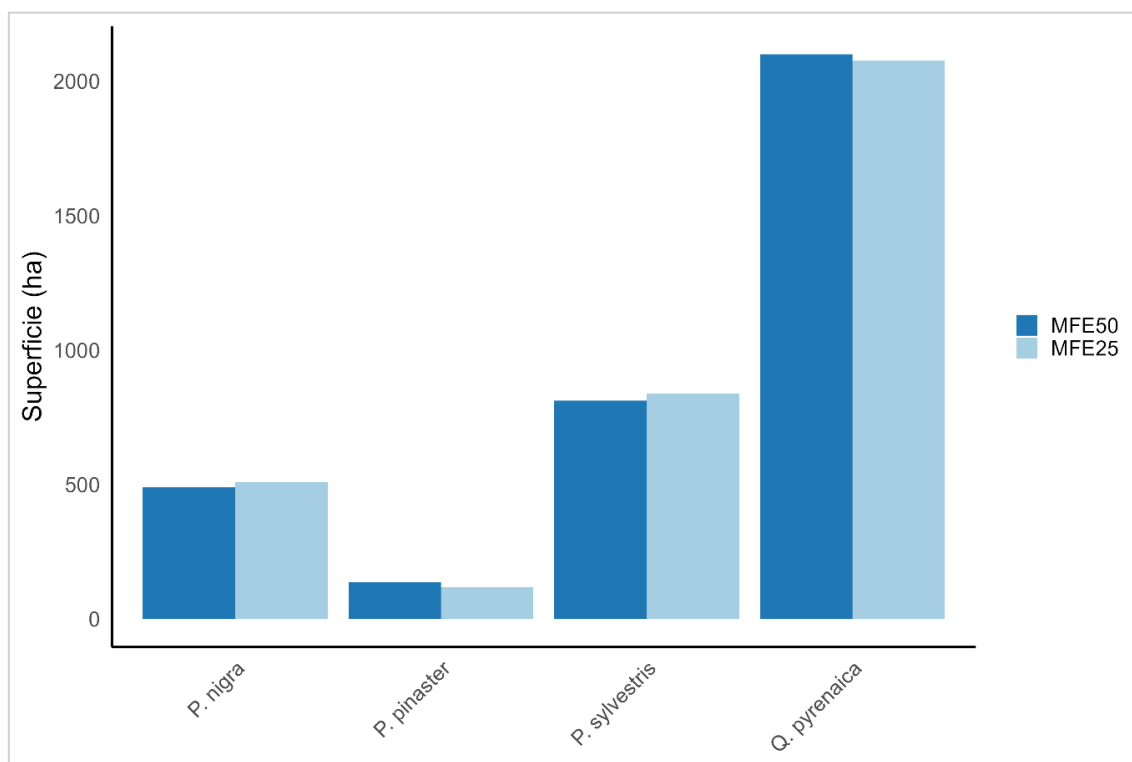


FIGURA 20. Representación de los cambios en la superficie de pinares y robledales del municipio de Saldaña.

A escala municipal, la Tabla 5.9. recoge los valores numéricos de la evolución del carbono fijado en ambos municipios, tanto por fracción arbolada como en el total. Por su parte, la Figura 5.19. representa de forma gráfica los valores de la Tabla 27 para incluirlos en el *dashboard*.

TABLA 5.9. Carbono fijado (t/ha) por fracción del árbol para 3 ediciones del IFN en el municipio de Cervera de Pisuerga y de Saldaña

Carbono (t/ha)	Cervera de Pisuerga			Saldaña		
	IFN2	IFN3	IFN4	IFN2	IFN3	IFN4
Tronco	4,41	7,97	11,82	2,03	5,66	9,40
Ramas >7 cm diámetro	0,66	0,96	0,91	0,16	0,38	0,43
Ramas entre 7-2 cm de diámetro	0,85	1,50	2,17	0,45	1,04	1,62
Ramas <2 cm de diámetro y hojas	0,84	1,33	1,73	0,72	1,37	1,73
Raíz	2,75	4,36	5,88	1,28	2,83	4,29
TOTAL	9,51	16,12	22,51	4,64	11,28	17,47

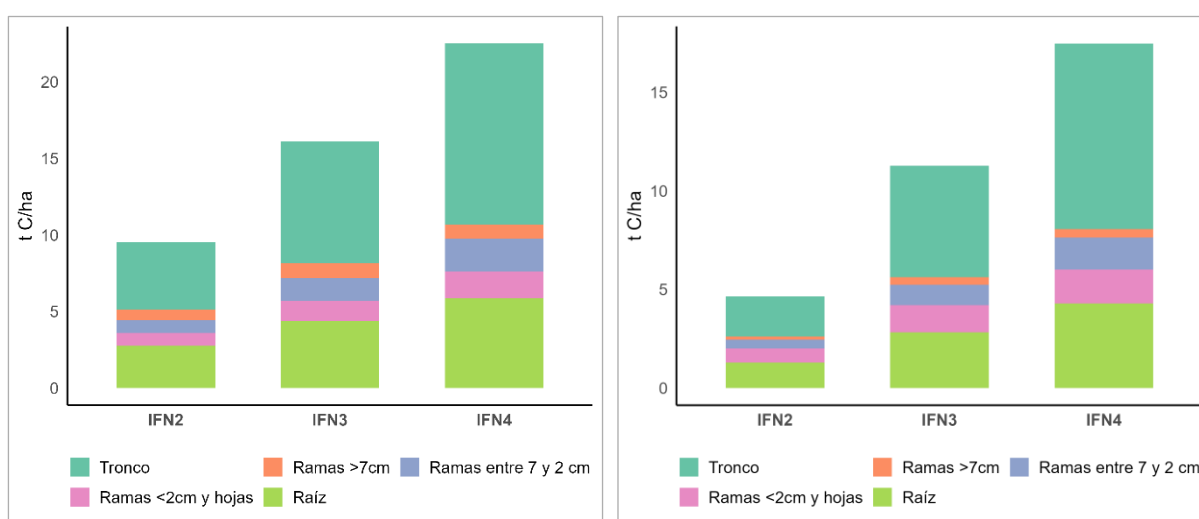


FIGURA 5.19. Gráfico de barras de valor acumulado de carbono medio fijado por el arbolado en toneladas/ha en el municipio de Cervera de Pisuerga (izquierda) y Saldaña (derecha), dividido por fracciones de biomasa y para las 3 ediciones del inventario

Los datos muestran un incremento mantenido en el tiempo del carbono fijado en los municipios de Cervera de Pisuerga y Saldaña a lo largo de las tres ediciones del IFN, reflejando un aumento en la biomasa forestal. Cervera presenta valores de carbono más altos que Saldaña en todos los inventarios, alcanzando en IFN4 un total de 22,51t/ha, frente a 17,47t/ha en Saldaña.

En ambos casos, el tronco es la fracción que más carbono acumula, con un crecimiento particularmente destacado: en Cervera se duplica entre IFN2 e IFN4, mientras que en Saldaña el crecimiento es aún mayor, pasando de 2,03 a 9,40t/ha. Esto también puede ser debido a sesgos en los cálculos de las medias ponderadas al usar superficies forestales de mapas que se han realizado en distintos momentos y con distintas metodologías. El mapa de cultivos y aprovechamientos que sirvió de base para el IFN2 subestimaba la superficie forestal, poniendo mayor foco en la agrícola.

En general, los valores de carbono fijado en esta zona por el arbolado han aumentado con los inventarios, reflejando una mayor acumulación de biomasa con el paso del tiempo.

Además, en la Tabla 5.10. se ha calculado una estimación de la valoración económica para los municipios de acuerdo a los criterios llevados a cabo en el IFN4. Los valores económicos estimados corresponden únicamente a valores del IFN4, que son los valores más actuales de los inventarios que tenemos.

TABLA 5.10. Valor económico estimado de los recursos ecosistémicos en cada municipio (€/año) teniendo en cuenta las estimaciones hechas por hectárea de los estratos forestales a nivel provincial en el IFN4

Recursos Ecosistémicos	Cervera de Pisuerga	Saldaña
Alimentos y materias primas	96.021,48	78.121,25
Producción de madera	44.309,64	63.273,82
Producción de leña	24.409,23	6.468,66
Producción de pastos forestales	27.279,72	8.378,77
Provisión de agua	6.827.176,00	1.709.537,00
Servicio recreativo	21.964,87	3.939,20
Caza	40.397,60	12.848,12
Sedimentación evitada en embalses	173.218,00	41.840,71
Captura de carbono total en superficie forestal	807.197,10	348.695,00
Captura de carbono por el arbolado	770.320,00	338.713,40
Captura de carbono por el matorral	36.878,99	9.978,35
Conservación de la diversidad biológica	372.632,00	99.926,07
TOTAL	9.241.804,63	2.721.720,35

5.4. Evaluación del Potencial de Aprovechamiento Forestal

5.4.1. Existencias forestales a nivel de Parcela

En la Figura 5.20. y Figura 5.21. se muestran la representación de las existencias (nº pies/ha, área basimétrica (m^2/ha) y volumen (m^3/ha)) de las parcelas de ejemplo que se van a incluir en el *dashboard*. También se muestra la distribución del número de pies/ha por clase diamétrica de cada especie en la parcela en los 3 inventarios. Con esta información se puede ver que ambas parcelas son irregulares. La parcela P-pinar es mixta, con una mezcla de *Pinus sylvestris* y *pinaster*, mientras que la parcela P-robleal es pura de *Quercus petraea*.

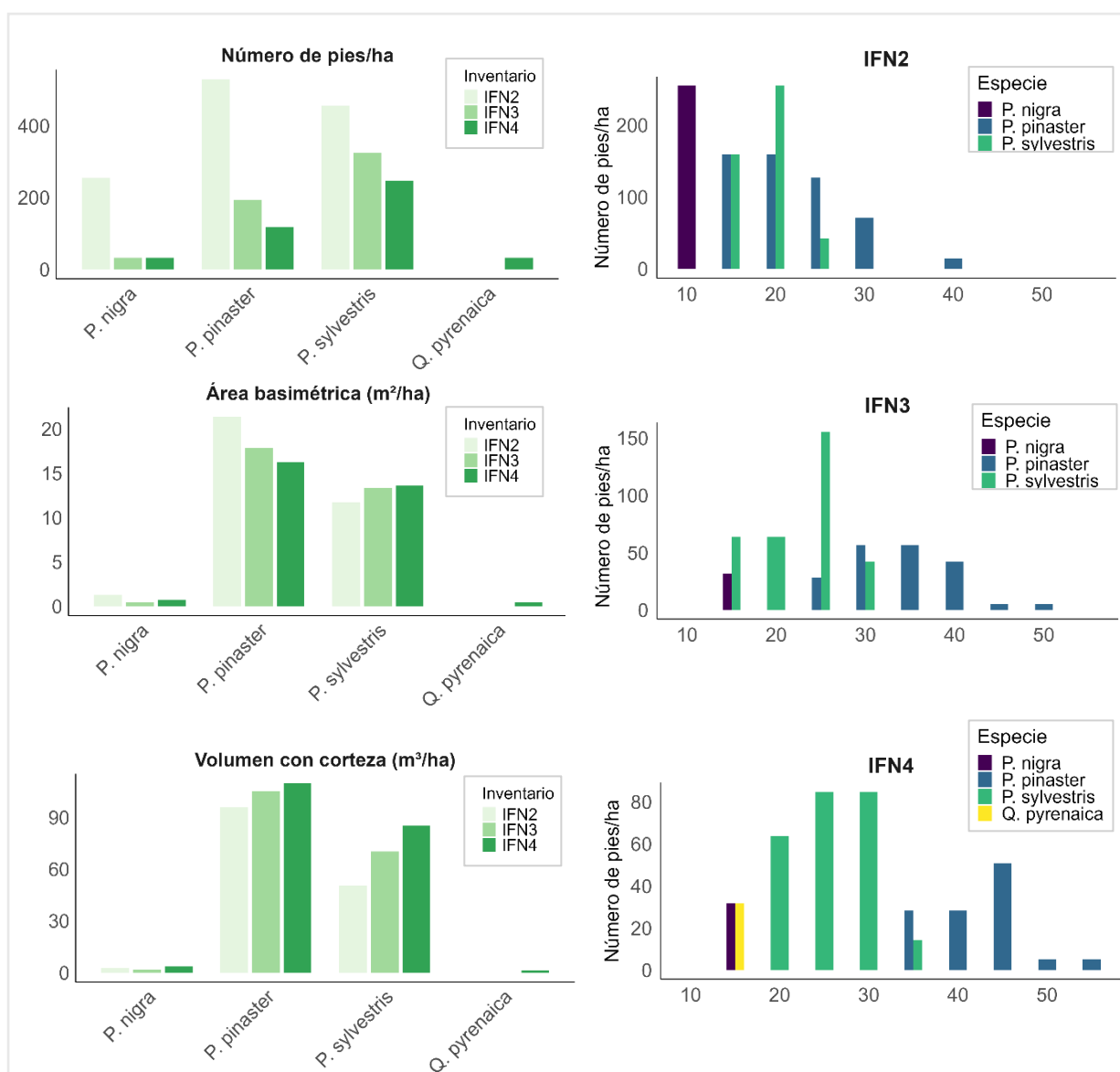


FIGURA 5.20. Existencias forestales de la parcela P-pinar en los 3 inventarios. Derecha: Existencias (nº pies/ha, área basimétrica y volumen) por especie. Izquierda: Nº pies/ha por especie y CD.

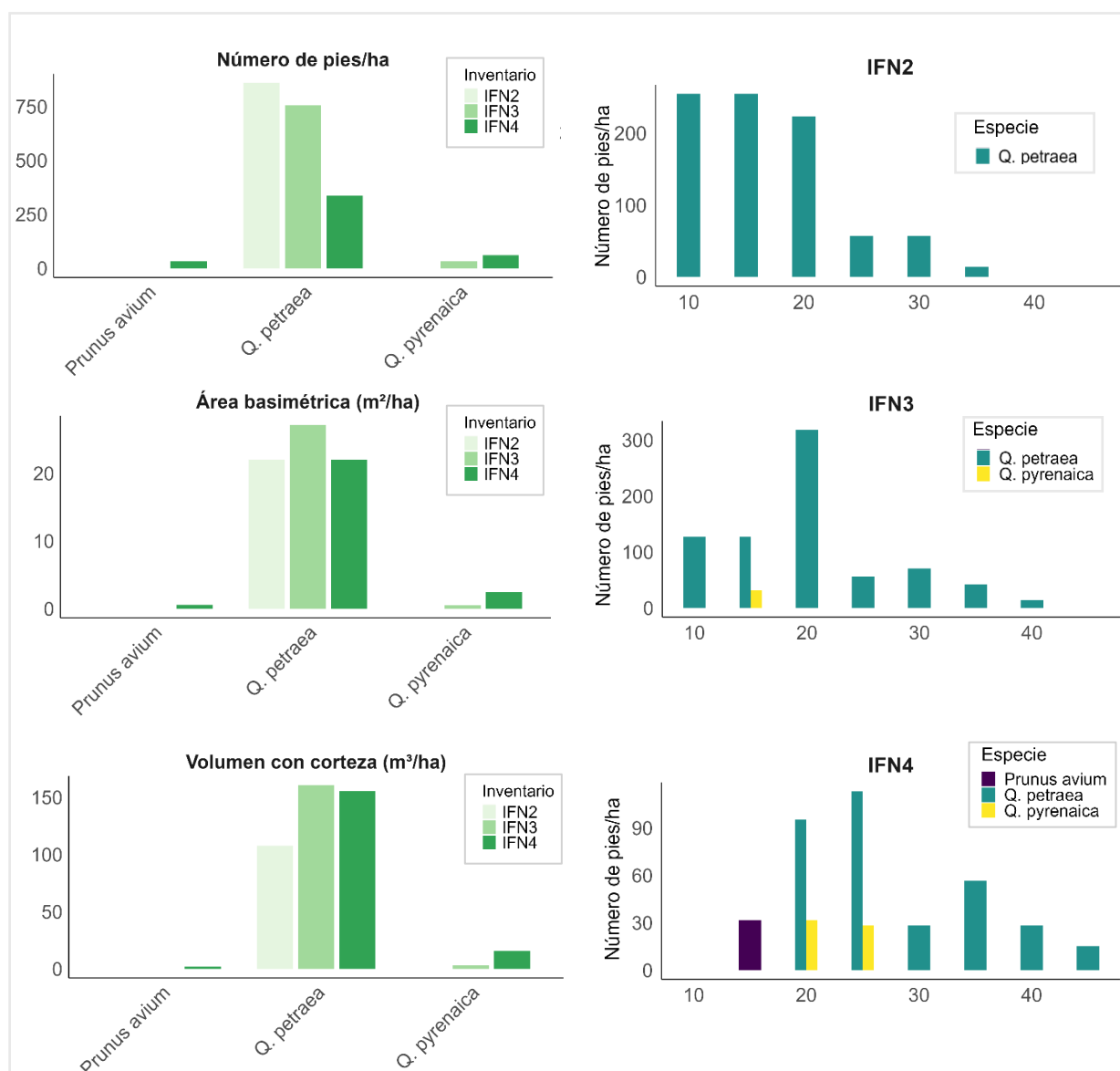


FIGURA 5.21. Existencias forestales de la parcela P-robleal en los 3 inventarios. Derecha: Existencias (nº pies/ha, área basimétrica y volumen) por especie. Izquierda: Nº pies/ha por especie y CD.

En la Tabla 5.11. y 5.12. se muestran los datos numéricos de las existencias de ambas parcelas de ejemplo que se han empleado para hacer las Figuras 5.20 y 5.21. La Tabla 5.11. recoge la evolución de las existencias forestales en la parcela P-pinar para las ediciones IFN2, IFN3 e IFN4. En general, los datos indican una reducción del número de pies y un aumento del volumen por hectárea. A medida que avanzan los inventarios los individuos se redistribuyen hacia clases diamétricas mayores. Además, en el IFN2 e IFN3 tenemos únicamente coníferas en la parcela y en el IFN4 se ve cómo se empieza a introducir el Melojo.

TABLA 5.11. Existencias forestales de la parcela P-pinar por especie y CD para diferentes ediciones del IFN.

Especies	CD	P-pinar								
		IFN2			IFN3			IFN4		
		N (pies/ha)	G (m ² /ha)	VCC (m ³ /ha)	N (pies/ha)	G (m ² /ha)	VCC (m ³ /ha)	N (pies/ha)	G (m ² /ha)	VCC (m ³ /ha)
<i>Pinus nigra</i>	10	254,64	1,28	2,69						
	15				31,83	0,43	1,98	31,83	0,76	3,82
	TOTAL	254,64	1,28	2,69	31,83	0,43	1,98	31,83	0,76	3,82
<i>Pinus pinaster</i>	15	159,15	3,29	11,90						
	20	159,15	4,90	21,07						
	25	127,32	6,41	30,15	28,29	1,44	8,13			
	30	70,73	4,92	22,64	56,59	4,40	24,78			
	35				56,59	5,51	33,29	28,29	2,77	17,93
	40	14,14	1,85	10,15	42,44	4,75	28,93	28,29	3,58	23,35
	45				5,09	0,83	4,68	50,93	7,72	54,19
	50				5,09	0,95	5,37	5,09	0,99	5,86
	55							5,09	1,22	8,37
	TOTAL	530,49	21,37	95,91	194,10	17,89	105,18	117,70	16,28	109,70
<i>Pinus sylvestris</i>	15	159,15	2,50	10,14	63,66	1,24	5,97			
	20	254,64	7,38	31,46	63,66	2,06	10,98	63,66	2,15	13,62
	25	42,44	1,79	8,98	155,62	7,30	38,63	84,88	3,87	24,08
	30				42,44	2,76	14,55	84,88	6,14	37,63
	35							14,15	1,49	9,87
	TOTAL	456,23	11,68	50,57	325,38	13,35	70,13	247,57	13,65	85,20
<i>Quercus pyrenaica</i>	15							31,83	0,44	1,37

La Tabla 5.12 muestra la evolución de las existencias forestales en la parcela P-robleal según los datos del IFN2, IFN3 e IFN4. *Quercus petraea* es claramente la especie dominante en las tres ediciones. Como pasa en el caso anterior, el número de pies/ha en esta parcela tiende a disminuir con los inventarios a la vez que aumenta el volumen. La distribución por clases diamétricas indica un desplazamiento hacia clases mayores: en IFN2 predominan las clases 10 a 25, mientras que en IFN4 destacan las clases 25 a 45, con un máximo de 40,36 m³/ha en la clase 35. Aunque es una parcela predominantemente de *Quercus petraea* en el IFN3 y

sobre todo en el IFN4 se empiezan a introducir otras especies de frondosas como *Prunus avium* y *Quercus pyrenaica*.

TABLA 5.12. Existencias forestales de la parcela P-robleal por especie y CD para diferentes ediciones del IFN.

Especies	CD	P-robleal								
		IFN2			IFN3			IFN4		
		N (pies/ha)	G (m ² /ha)	VCC (m ³ /ha)	N (pies/ha)	G (m ² /ha)	VCC (m ³ /ha)	N (pies/ha)	G (m ² /ha)	VCC (m ³ /ha)
<i>Prunus avium</i>	15							31,83	0,58	1,95
<i>Quercus petraea</i>	10	254,64	2,69	13,37	127,32	1,53	8,25			
	15	254,64	5,05	25,37	127,32	2,41	12,34			
	20	222,81	6,41	30,99	318,31	9,88	55,85	95,49	2,97	19,76
	25	56,58	2,76	13,12	56,59	2,51	15,20	113,18	5,62	40,33
	30	56,58	3,64	18,07	70,74	5,15	32,11	28,29	2,11	12,48
	35	14,14	1,47	6,61	42,44	3,80	24,75	56,59	5,49	40,36
	40				14,15	1,85	12,09	28,29	3,37	24,00
	45							15,28	2,48	18,52
	TOTAL	859,39	22,02	107,52	756,87	27,13	160,60	337,13	22,04	155,46
<i>Quercus pyrenaica</i>	15				31,83	0,53	2,97			
	20							31,83	1,12	7,31
	25							28,29	1,32	8,41
	TOTAL				31,83	0,53	2,97	60,13	2,44	15,72

5.4.2. Existencias forestales a nivel de Municipio

En la Figura 5.22. se muestran las existencias de las 5 especies principales de robledales y pinares del municipio de Cervera de Pisuerga (arriba) y Saldaña (abajo). Se han considerado como principales aquellas que tenían un volumen/ha en el último inventario (IFN4) mayor en el municipio. Esta figura sirve para representar de forma más visual los datos que se muestran en la Tabla 5.13.. Cervera de Pisuerga destaca principalmente por formaciones de frondosas (*Q. pyrenaica* y *Q. petraea*) aunque también hay presencia de coníferas (*P. sylvestris* y *P. nigra*). Especialmente el pino silvestre ha experimentado un crecimiento destacable en el

IFN4. Mientras que Saldaña tiene una mayor proporción de coníferas (*P. sylvestris*, *P. nigra*, y *P. pinaster*), aunque se mantiene el melojo (*Q. pyrenaica*) como especie principal.

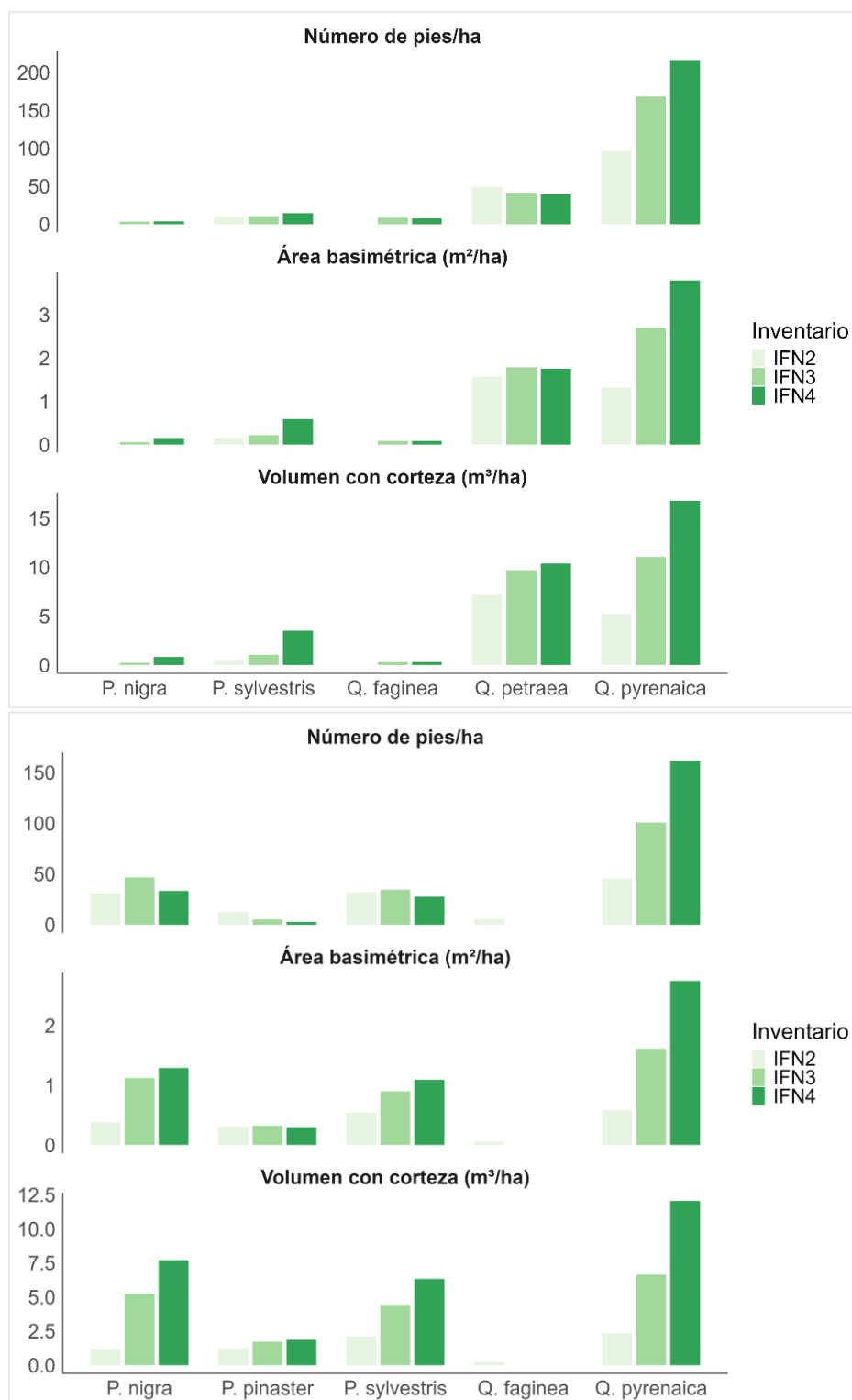


FIGURA 5.22. Existencias forestales de las 5 especies principales de pinares y robledales del de Cervera de Pisuerga (arriba) y Saldaña (abajo) para las distintas ediciones de los IFN

TABLA 5.13. Existencias forestales de las 5 especies principales de robledales y pinares de los municipios de Cervera de Pisuerga y Saldaña.

Especies		Cervera de Pisuerga			Saldaña		
		IFN2	IFN3	IFN4	IFN2	IFN3	IFN4
<i>Quercus pyrenaica</i>	N (pies/ha)	96,50	167,94	216,74	45,56	100,73	161,79
	G (m ² /ha)	1,32	2,69	3,80	0,58	1,61	2,75
	VCC (m ³ /ha)	5,20	11,03	16,79	2,32	6,65	12,05
<i>Quercus petraea</i>	N (pies/ha)	49,36	41,09	39,75			
	G (m ² /ha)	1,56	1,78	1,75			
	VCC (m ³ /ha)	7,20	9,68	10,36			
<i>Quercus faginea</i>	N (pies/ha)		8,55	7,76	5,76		
	G (m ² /ha)		0,08	0,09	0,06		
	VCC (m ³ /ha)		0,31	0,31	0,22		
<i>Pinus sylvestris</i>	N (pies/ha)	9,50	10,17	14,59	31,97	34,25	27,64
	G (m ² /ha)	0,15	0,22	0,58	0,54	0,90	1,09
	VCC (m ³ /ha)	0,51	1,04	3,51	2,11	4,42	6,34
<i>Pinus nigra</i>	N (pies/ha)		3,14	3,74	30,96	46,80	33,46
	G (m ² /ha)		0,06	0,15	0,38	1,12	1,29
	VCC (m ³ /ha)		0,23	0,86	1,18	5,23	7,69
<i>Pinus pinaster</i>	N (pies/ha)				12,22	5,35	2,91
	G (m ² /ha)				0,31	0,32	0,30
	VCC (m ³ /ha)				1,22	1,71	1,86

6. DISCUSIÓN

6. DISCUSIÓN

En este trabajo se ha llevado a cabo la integración de diversas bases de datos forestales y afines (IFNs, MCA, MFEs, MUP, espacios naturales protegidos, límites municipales, límites comarcales y datos climáticos) considerando los dominios de aplicación: docentes y estudiantes, personal investigador y gestores/as locales. A partir de esta información integrada se han calculado indicadores y diseñado gráficos, mapas y tablas que facilitan la visualización y el análisis de los datos. Todos estos elementos se han incorporado en un *dashboard* o panel interactivo aplicado a dos parcelas y dos municipios de ejemplo. El objetivo de estos *dashboards* es acercar la gran cantidad de información forestal disponible en plataformas públicas a los agentes del territorio y educadores que la utilizan. Contextualizado los datos con diferentes fuentes se aporta un valor añadido a la información existente.

El conjunto de datos integrados y de indicadores calculados ha permitido caracterizar e identificar posibles problemas en las masas de robledales y pinares de la zona del Bosque Modelo Palencia (BMP). Entre estos, destaca la falta de gestión de algunas masas, que en la mayoría de los casos pertenecen a entidades locales y no se encuentran legalmente delimitadas ni señalizadas en el terreno. En los últimos años se observa un incremento de daños en el arbolado por dominancia, posiblemente asociados al aumento de la biomasa arbórea, especialmente en los melojares, y a la reducción de su superficie. También se ha registrado una disminución general de la calidad de la madera, una tendencia hacia masas irregulares y un incremento de especies de matorral en las parcelas. Estos resultados sugieren la posible necesidad de una gestión activa de las masas, orientada a mejorar la calidad de los pies, reducir la densidad mediante tratamientos selvícolas y disminuir el riesgo de perturbaciones. En este sentido Aldea et al. (2017) muestran que los aclareos en masas mixtas de pinos y robles en el centro de España son eficaces para incrementar la resiliencia y la estabilidad de estas masas frente a los efectos del cambio climático.

Con la forma de visualizar los datos de las masas de pinares y robledales del BMP en formato *dashboards* se pretende dar soporte en educación, investigación y gestión local. En el ámbito educativo, permiten analizar diferentes aspectos de una masa forestal, incluyendo temas actuales como la gestión multiobjetivo que considere el carbono fijado por el arbolado, la biodiversidad (Hulvey et al., 2013) o el valor de los recursos ecosistémicos (Krsnik et al., 2024).

Asimismo, facilitan el seguimiento temporal de las masas mediante indicadores selvícolas. En investigación, además de lo mencionado, los *dashboards* permiten identificar patrones y valores atípicos que pueden señalar anomalías. Asimismo, pueden ayudar a identificar zonas de interés para probar hipótesis en la resolución de problemas de investigación, como se plantea en el estudio de Cudjoe et al. (2025), que analiza cómo las masas mixtas de pino silvestre y melojo influyen en la acumulación de biomasa. Además, los *dashboards* pueden complementar otros enfoques como los marteloscopios que según Soucy et al. (2016) también facilitan el aprendizaje práctico y apoyan la toma de decisiones en la gestión.

En gestión forestal, los *dashboards* permiten visualizar rápidamente la evolución de las masas e identificar zonas que requieren manejo específico, presentan mayor riesgo de perturbaciones o alta productividad (Shahbaz Badr et al., 2024). De esta forma, los *dashboards* facilitan una primera toma de decisiones sobre zonas concretas sin necesidad de realizar un inventario inicial. Con información básica del sitio, es posible planificar de manera más eficiente los muestreos y obtener una visión preliminar que sirva de base para la planificación de las actuaciones necesarias en las distintas zonas (Haara et al., 2018).

En definitiva, los *dashboards* son ampliamente utilizados en muchos ámbitos para representar información relevante y ayudar al análisis de los datos y la toma de decisiones informada (Few, 2006). En los últimos años ha habido un auge de plataformas que presentan datos forestales en zonas concretas como comunidades autónomas. Un ejemplo de esto es el portal de datos forestales de Castilla y León²³ que muestra la información de la evolución de la superficie forestal, tipo de propiedad, biomasa... a nivel municipal y provincial. En Castilla-La Mancha, también existe una plataforma que muestra las parcelas del IFN4 y su información básica asociada²⁴, algo similar se ha hecho para Cataluña²⁵. Otro ejemplo es el caso del Sistema de indicadores de la Xunta de Galicia, que muestra información forestal por provincia en formato tabla y gráficos²⁶ o el visor ForestAdapt²⁷ para la provincia de Soria.

No obstante, en España no se han encontrado plataformas que integren los datos de las tres últimas ediciones del IFN a nivel de parcela y municipio, incluyendo información sobre

²³ <https://datos.pfcyl.es/>

²⁴ <https://www.arcgis.com/apps/dashboards/006083906ff8463fb4846beab9ff92ea>

²⁵ https://laboratoriforestal.creaf.cat/nfi_app/

²⁶ [Sistema de Indicadores Administración Dixital- Xunta de Galicia](#)

²⁷ <https://zonas.soriaforestadapt.es/>

calidad de la madera, daños del arbolado, datos climáticos o situación administrativa. Además, el formato de *dashboard* es todavía poco habitual para este tipo de información, predominando los mapas interactivos que permiten añadir o quitar capas temáticas, como ocurre con el visor del Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad creado por el MITECO²⁸ o de algunos visores desarrollados por el INIA (Aguirre et al., 2023).

A nivel internacional, existen más ejemplos de *dashboards* para representar la información forestal. Por ejemplo, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) ha desarrollado *dashboards* sobre los propietarios de terrenos forestales²⁹ o sobre los recursos forestales a partir de los inventarios (FIA)³⁰. Otros ejemplos son los *dashboards* de inventarios de plantaciones forestales de Perú³¹ o datos de deforestación presentados en formato *dashboard* en México³².

Los ejemplos mencionados anteriormente, son plataformas desarrolladas por administraciones públicas o asociaciones, en algunos casos en colaboración con centros tecnológicos del sector, como es el caso de CESEFOR en el ámbito de Castilla y León. Sin embargo, también hay empresas que han desarrollado productos que se basan en la integración de bases de datos forestales para apoyar a la gestión de zonas concretas. Algunos ejemplos son: FORESTHQ³³ de la empresa *Treemetrics* y las plataformas desarrolladas por la empresa *ResourceWise* más orientadas al apoyo a la industria forestal³⁴.

En conjunto, estos ejemplos evidencian la necesidad del sector forestal de integrar y poner en valor el gran volumen de información disponible. También muestran los esfuerzos por presentar los datos de manera visual, accesible y fácil de interpretar. De esta forma, se acerca la información pública directamente a las personas usuarias, facilitando su uso en la toma de decisiones y el estudio de las masas forestales.

No obstante, la integración y visualización de esta información presenta ciertas limitaciones. Por ejemplo, elegir un tipo de visualización en lugar de otro, como gráficos en

²⁸ <https://iepnb.gob.es/visor-bdn/>

²⁹ <https://research.fs.usda.gov/products/dataandtools/national-woodland-owners-survey-dashboard>

³⁰ <https://experience.arcgis.com/experience/ddb54b68e915431182d406f9778694cb/page/Land-Resources-Dashboard/>

³¹ <https://sniffs.serfor.gob.pe/inventarios/#/reportedinamico/7>

³² <https://snmf.cnf.gob.mx/deforestacion/>

³³ <https://treemetrics.com/forest-management/>

³⁴ <https://www.resourcewise.com/markets/forest-products>

lugar de tablas, puede hacer que se pierda información concreta, aunque facilita una comprensión más rápida de la evolución de la parcela o el municipio a lo largo de los inventarios (Haara et al., 2018). En la elaboración de los *dashboards* presentados en este trabajo, se identificaron limitaciones especialmente al integrar los datos de los tres inventarios y al agregar la información a nivel municipal.

La comparación entre inventarios ha evidenciado una reducción en el número de parcelas muestreadas desde el IFN2 hasta el IFN4. En las pocas parcelas que se mantienen de un inventario a otro, existe continuidad en solo algunos árboles, lo que limita el análisis longitudinal a nivel de parcela. Como resultado, muchos datos de parcelas sin continuidad temporal no se utilizan en el análisis transversal de la parcela, aunque sí se han empleado en los análisis agregados a nivel municipal.

Otra limitación se presenta a nivel municipal, ya que los inventarios están diseñados para agregaciones provinciales. Al realizar agregaciones por municipio, incluso usando medias ponderadas, algunos municipios son muy pequeños o cuentan con pocas parcelas, lo que aumenta los errores debido a la diversidad de formaciones presentes o a la falta de información.

Además, no existe un mapa de los estratos forestales del IFN3 publicado comparable a los de los otros inventarios, lo que genera errores al calcular áreas mediante la unión de identificadores que a veces no coinciden exactamente o cuyo tamaño difiere. También hay que considerar que, en algunas ocasiones, se detectan errores en las anotaciones y datos que, al compararlos, no parecen tener sentido. No obstante, esto es asumible dado que se trata de muestreos de gran escala realizados en campo, a menudo en condiciones difíciles (sol, pendientes, acceso complicado). Además, las metodologías y variables muestreadas han cambiado a lo largo del tiempo tanto en los mapas como en los inventarios haciendo que en ocasiones sea más difícil seguir su trazabilidad.

Como trabajo futuro, se plantea ampliar el *dashboard* desarrollado para el BMP, actualmente como zona piloto, a toda España, incorporando todas las formaciones arboladas disponibles. Debido a las limitaciones de visualización en una sola imagen, actualmente no se muestran todos los datos integrados. La intención es implementar el *dashboard* en *Forest Explorer* (Vega-Gorgojo et al., 2022), mejorando la versión previamente diseñada para esta aplicación (Crespo Lera et al., 2025). Desde la aplicación, se permitirá seleccionar la

información de interés y visualizarla en distintos formatos, ya sea gráfico o tabular, para todo el territorio nacional. Además, nuestro propósito con la base de datos *Semantic Forest* es integrar más información forestal y afines para toda España, como la recopilada en este trabajo, facilitando el acceso y la visualización de los datos sin necesidad de realizar un esfuerzo manual de integración.

Con todo ello, la integración de información procedente de distintos ámbitos para apoyar el estudio y la gestión forestal favorece la toma de decisiones informada, una práctica cada vez más demandada. Muchos trabajos han utilizado los datos de los inventarios con el objetivo de generar información útil a partir de fuentes públicas para fines concretos, lo que evidencia el valor de estos datos.

No obstante, la gran cantidad de información disponible en bases de datos no interconectadas dificulta su aprovechamiento y, en muchos casos, limita el conocimiento sobre la existencia y accesibilidad de estas bases de datos en abierto. Los *dashboards* constituyen una forma amigable de representar la información y acercarla al ámbito de la educación, la gestión y la investigación, mostrando el potencial de los datos disponibles para distintos usos específicos.

7. CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

Este trabajo pone de manifiesto el gran potencial de integrar la amplia información pública disponible en un único espacio, facilitando su uso para agentes implicados en el estudio y la gestión del territorio.

Entre las principales conclusiones destacan:

- En el BMP se ha visto un aumento en la superficie tanto de pinares y como de robledales, siendo mayoritarias las áreas ocupadas por robledales, sobre todo melojo. En ambas masas destacan las formaciones puras o poco diversas.
- En general, se aprecia en la zona una necesidad de estudio y gestión más activa de las masas de pinares y robledales cuya calidad ha disminuido con los años, así como han aumentado los daños por dominancia, las masas irregulares y la biomasa en las parcelas.
- Los *dashboards* han resultado útiles para mostrar la evolución de parcelas o de los municipios en una sola imagen. Además, mostrar la información a diferentes escalas espaciales permite navegar de lo más general a lo más particular, o viceversa.
- El uso de las bases de datos públicas está limitado por la falta de interoperabilidad, la diversidad de formatos y la complejidad de su organización. Facilitar su acceso y comprensión potencia su utilización en educación, investigación y gestión.
- La calidad de los *dashboards* depende de las bases de datos originales. Aunque no siempre es posible corregir errores históricos, la comunidad usuaria está informada de la fuente de los datos lo que permite interpretarlos correctamente y entender posibles discrepancias.

En definitiva, este trabajo demuestra que la integración de datos públicos en un formato accesible y visual, como los *dashboards*, constituye una herramienta inicial y versátil para distintos fines: análisis científico, gestión forestal y disseminación de información. De este modo, se aprovecha el esfuerzo invertido en la recogida de datos y se pone en valor la información disponible, acercándola a los usuarios finales y favoreciendo su aplicación práctica.

Como trabajo futuro, se plantea ampliar el *dashboard* del BMP a toda España, incorporando todas las formaciones arboladas y permitiendo seleccionar y visualizar la información en distintos formatos a nivel nacional en la aplicación *Forest Explorer* mejorando

el ya existente (Crespo Lera et al., 2025). Para el caso del BMP toda la información genera en este trabajo se encuentra en un GitHub (https://github.com/nacresle/Dashboards_BMP) y se describe en la sección 9.

8. REFERENCIAS

8. REFERENCIAS

- Aguirre, A., Moreno Fernández, D., Alberdi, I., Hernández, L., Adame Hernando, P., Cañellas Rey de Viñas, I., Montes Pita, F., y Martínez Fernández, J. (2023). Calidad de estación de las principales especies forestales en España: Un visor cartográfico online. *Revista Montes*, 154, 14-20.
- Alberdi, I., Adame, P., Aulló-Maestro, I., Hernández, L., Montes, F., Rubio-Cuadrado, Á., Oliveira, N., Cañellas Rey de Viñas, I., Ramírez-Zea, C., Veloso de Freitas, J., y Vergara Asenjo, G. (2023). *Estimación e interpretación de indicadores de biodiversidad forestal considerando la información de los inventarios forestales nacionales*. <https://bibliotecadigital.infor.cl/>
- Alberdi, I., Vallejo, R., Álvarez-González, J. G., Condés, S., González-Ferreiro, E., Guerrero, S., Hernández, L., Martínez-Jauregui, M., Montes, F., Oliveira, N., Pasalodos-Tato, M., Robla, E., Ruiz-González, A. D., Sánchez-González, M., Sandoval, V., Miguel, A. S., Sixto, H., y Cañellas, I. (2017). The multi-objective Spanish National Forest Inventory. *Forest Systems*, 26(2), Article 2. <https://doi.org/10.5424/fs/2017262-10577>
- Aldea, J., Bravo, F., Bravo-Oviedo, A., Ruiz-Peinado, R., Rodríguez, F., y del Río, M. (2017). Thinning enhances the species-specific radial increment response to drought in Mediterranean pine-oak stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237-238, 371-383. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.009>
- Allison-Cassin, S., y Scott., D. (2018). Wikidata: A platform for your library's linked open data. *The Code4Lib Journal*, 40. https://journal.code4lib.org/articles/13424?utm_source=rssyutm_medium=rssyutm_campaign=wikidata-a-platform-for-your-librarys-linked-open-data

- Almendros-Jiménez, J., Becerra-Terón, A., Torres, M., y Chirkova, R. (2019). Integrating and Querying OpenStreetMap and Linked Geo Open Data. *Computer Journal*, 62, 321-345.
<https://doi.org/10.1093/comjnl/bxx079>
- Bauer, F., y Kaltenböck, M. (2012). *Linked Open Data: The Essentials: A quick start guide for decision makers*.
- Berners-Lee, T., Hendler, J., y Lassila, O. (2001). The Semantic Web: A New Form of Web Content That is Meaningful to Computers Will Unleash a Revolution of New Possibilities. *ScientificAmerican.com*.
- Besseau, P., Dansou, K., y Johnson, F. (2002). The International Model Forest Network (IMFN): Elements of Success. *The Forestry Chronicle*, 78(5), 648-654.
<https://doi.org/10.5558/tfc78648-5>
- Bizer, C., Heath, T., y Berners-Lee, T. (2023). Linked Data—The Story So Far. En *Linking the World's Information: Essays on Tim Berners-Lee's Invention of the World Wide Web* (1.^a ed., Vol. 52, pp. 115-143). Association for Computing Machinery.
<https://doi.org/10.1145/3591366.3591378>
- Bravo, F., del Río, M., y del Peso, Carlos. (2002). *El inventario forestal nacional. Elemento clave para la gestión forestal sostenible*. Fundación General de la Universidad de Valladolid.
- Bravo, F., Oviedo, A., Calama, R., Calvo, L., Candel-Pérez, D., Canepa Oneto, A., Colino-Rabanal, V., Taranco, C., Gaztelurrutia, M., Diez, J., Manso, A., Nieto, M., Sanz, V., Celia, H., Lizana, M., Lopez, D., Madrigal-González, J., Montero, G., Mutke, S., y Velázquez, E. (2022). *Adaptación al cambio climático. Directrices para la adaptación de la gestión del patrimonio natural y la política forestal al cambio climático en Castilla y León*.

- Cetl, V., Tomas, R., Kotsev, A., de Lima, V. N., Smith, R. S., y Jobst, M. (2019). Establishing Common Ground Through INSPIRE: The Legally-Driven European Spatial Data Infrastructure. En J. Döllner, M. Jobst, y P. Schmitz (Eds.), *Service-Oriented Mapping: Changing Paradigm in Map Production and Geoinformation Management* (pp. 63-84). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72434-8_3
- Crespo Lera, N., Vega-gorgojo, G., Giménez-García, J., Vázquez Veloso, A., Bravo, F., y Ruano, I. (2025). *Dashboard para la Visualización y Consulta de Información Forestal Multi-Inventario*.
- Cruz, F. (2019). Bosque Modelo Palencia: Landscape Approach y redes para la sostenibilidad de los territorios rurales. *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 27(98), Article 98. <https://doi.org/10.33349/2019.98.4463>
- Cruz, F., y García-Bengochea, A. (2020). Vínculos socio-espaciales y gobernanza local: Apego al lugar y participación en la iniciativa Bosque Modelo Palencia. *Estudios Geográficos*, 81(289), Article 289. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202062.062>
- Cudjoe, E., Ruiz-Peinado, R., Pretzsch, H., Ahmed, S., y Bravo, F. (2025). Neighborhood competition improves biomass estimation for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) but not Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) in young mixed forest stands. *Forest Ecosystems*, 13, 100317. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2025.100317>
- del Peso, C., Sanijitjas, A., Monreal, J. A., Guerra, B., Villada, D., Reque, J. A., Domínguez, M., Prieto, C., y Ruiz, I. (2002). Caracterización selvícola de masas forestales mediante el Inventario Forestal Nacional. En *El Inventario Forestal Nacional. Elemento Clave para la Gestión Forestal Sostenible* (pp. 79-104). Fundación General de la Universidad de Valladolid.
- Few, S. (2006). *Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data*. O'Reilly Media, Inc.

- Fick, S. E., y Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Franklin, A., Gantela, S., Shifarrow, S., Johnson, T. R., Robinson, D. J., King, B. R., Mehta, A. M., Maddow, C. L., Hoot, N. R., Nguyen, V., Rubio, A., Zhang, J., y Okafor, N. G. (2017). Dashboard visualizations: Supporting real-time throughput decision-making. *Journal of Biomedical Informatics*, 71, 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2017.05.024>
- Gao, W., Qiu, Q., Yuan, C., Shen, X., Cao, F., Wang, G., y Wang, G. (2022). Forestry Big Data: A Review and Bibliometric Analysis. *Forests*, 13(10), 1549. <https://doi.org/10.3390/f13101549>
- Gardner, S. P. (2005). Ontologies and semantic data integration. *Drug Discovery Today*, 10(14), 1001-1007. [https://doi.org/10.1016/S1359-6446\(05\)03504-X](https://doi.org/10.1016/S1359-6446(05)03504-X)
- Gschwantner, T., Alberdi, I., Bauwens, S., Bender, S., Borota, D., Bosela, M., Bouriaud, O., Breidenbach, J., Donis, J., Fischer, C., Gasparini, P., Heffernan, L., Hervé, J.-C., Kolozs, L., Korhonen, K. T., Koutsias, N., Kovácsseics, P., Kučera, M., Kulbokas, G., ... Tomter, S. M. (2022). Growing stock monitoring by European National Forest Inventories: Historical origins, current methods and harmonisation. *Forest Ecology and Management*, 505, 119868. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119868>
- Haara, A., Pykäläinen, J., Tolvanen, A., y Kurttila, M. (2018). Use of interactive data visualization in multi-objective forest planning. *Journal of Environmental Management*, 210, 71-86. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.002>
- Hoppen, M., Chen ,J., Kemmerer ,J., Baier ,S., Bektas ,A. R., Schreiber ,L. J., Mayer ,Dorothea George, Kaulen ,A., Ziesak ,M., y and Rossmann, J. (2024). Smart forestry – a forestry 4.0 approach to intelligent and fully integrated timber harvesting. *International Journal*

- of Forest Engineering*, 35(2), 137-152.
<https://doi.org/10.1080/14942119.2024.2323238>
- Hulvey, K. B., Hobbs, R. J., Standish, R. J., Lindenmayer, D. B., Lach, L., y Perring, M. P. (2013). Benefits of tree mixes in carbon plantings. *NATURE CLIMATE CHANGE*, 3(10), 869-874. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1862>
- Köhler, J., Philippi, S., y Lange, M. (2003). SEMEDA: Ontology based semantic integration of biological databases. *Bioinformatics (Oxford, England)*, 19(18), 2420-2427. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btg340>
- Krsnik, G., Reynolds, K. M., Aquilue, N., Mola-Yudego, B., Pecurul-Botines, M., Garcia-Gonzalo, J., y Olabarria, J. R. G. (2024). Assessing the dynamics of forest ecosystem services to define forest use suitability: A case study of *Pinus sylvestris* in Spain. *ENVIRONMENTAL SCIENCES EUROPE*, 36(1), 128. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00956-z>
- Kumar, S. M., y Belwal, M. (2017). Performance dashboard: Cutting-edge business intelligence and data visualization. *2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon)*, 1201-1207. <https://doi.org/10.1109/SmartTechCon.2017.8358558>
- LaPierre, L. (2003). Canada's Model Forest Program. *The Forestry Chronicle*, 79(4), 794-798. <https://doi.org/10.5558/tfc79794-4>
- Lazdinis, M., Angelstam, P., y Pülzl, H. (2019). Towards sustainable forest management in the European Union through polycentric forest governance and an integrated landscape approach. *Landscape Ecology*, 34(7), 1737-1749. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00864-1>

- Llompart, R. B. (2019). CROSS-FOREST, data harmonization and modelization. A cross-border project of open forest data from Spain and Portugal. *REVISTA INTERNACIONAL MAPPING*, 28(198), Article 198.
- Lock, O., Bednarz, T., Leao, S. Z., y Pettit, C. (2020). A review and reframing of participatory urban dashboards. *City, Culture and Society*, 20, 100294. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2019.100294>
- Martonne, E. de. (1926). L'indice d'aridité. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 3(9), 3-5. <https://doi.org/10.3406/bagf.1926.6321>
- Matheus, R., Janssen, M., y Maheshwari, D. (2020). Data science empowering the public: Data-driven dashboards for transparent and accountable decision-making in smart cities. *Government Information Quarterly*, 37(3), 101284. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.01.006>
- Olawade, D. B., Wada, O. Z., Ige, A. O., Egbewole, B. I., Olojo, A., y Oladapo, B. I. (2024). Artificial intelligence in environmental monitoring: Advancements, challenges, and future directions. *Hygiene and Environmental Health Advances*, 12, 100114. <https://doi.org/10.1016/j.heha.2024.100114>
- Polinko, A. D., y Coupland, K. (2021). Paradigm shifts in forestry and forest research: A bibliometric analysis. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(2), 154-162. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0311>
- QGIS.org. (2023). *QGIS Geographic Information System. QGIS Association* [Software]. <https://www.qgis.org/>
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Riofrío, J., Rio, M., y Bravo, F. (2016). Mixing effects on growth efficiency in mixed pine forests. *Forestry*, 90, 381-392. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw056>

- Rodríguez de Prado, D., San Martín, R., Bravo, F., y Herrero de Aza, C. (2020). Potential climatic influence on maximum stand carrying capacity for 15 Mediterranean coniferous and broadleaf species. *Forest Ecology and Management*, 460, 117824. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117824>
- Ruano, I., y Vázquez-Veloso, A. (2022). Climodiagramas de Walter-Lieth. En *Adaptación al cambio climático: Directrices para la adaptación de la gestión del patrimonio natural y la política forestal al cambio climático en Castilla y León* (p. 507). Universidad de Valladolid.
- Ruiz-Peinado, R., Montero, G., y Río, M. del. (2012). *Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species*. <https://doi.org/10.5424/fs/2112211-02193>
- Ruiz-Peinado, R., Río, M. del, y Montero, G. (2011). New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *Forest Systems*, 20(1), Article 1. <https://doi.org/10.5424/fs/2011201-11643>
- Shahbaz Badr, A., Hsiao, D. D., Rundel, S., y de Amicis, R. (2024). Leveraging data-driven and procedural methods for generating high-fidelity visualizations of real forests. *Environmental Modelling y Software*, 172, 105899. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105899>
- Soucy, M., Adégbidi, H. G., Spinelli, R., y Béland, M. (2016). Increasing the effectiveness of knowledge transfer activities and training of the forestry workforce with martelosopes. *The Forestry Chronicle*, 92(04), 418-427. <https://doi.org/10.5558/tfc2016-076>
- Stadler, C., Lehmann, J., Höffner, K., y Auer, S. (2012). LinkedGeoData: A Core for a Web of Spatial Open Data. *Semantic Web Journal*, 3, 333-354. <https://doi.org/10.3233/SW-2011-0052>

- Taylor, R., Davis, C., Brandt, J., Parker, M., Stäuble, T., y Said, Z. (2020). The rise of big data and supporting technologies in keeping watch on the world's forests. *International Forestry Review*, 22(1), 129-141. <https://doi.org/10.1505/146554820829523880>
- Thorlund, K., Dron, L., Park, J., Hsu, G., Forrest, J. I., y Mills, E. J. (2020). A real-time dashboard of clinical trials for COVID-19. *The Lancet Digital Health*, 2(6), e286-e287. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30086-8](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30086-8)
- Tilley, I., y Pettit, C. (2020). A Dashboard for the Unexpected: Open Data for Real-Time Disaster Response. En S. Hawken, H. Han, y C. Pettit (Eds.), *Open Cities | Open Data: Collaborative Cities in the Information Era* (pp. 265-286). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6605-5_12
- Vega-Gorgojo, G., Giménez-García, J. M., Ordóñez, C., Bravo, F., y Schlieder, C. (2022). Pioneering easy-to-use forestry data with Forest Explorer. En *Semantic Web* (Vol. 13, Número 2, pp. 147-162). <https://doi.org/10.3233/SW-210430>
- Williamson, K., y Kizilcec, R. (2022). A Review of Learning Analytics Dashboard Research in Higher Education: Implications for Justice, Equity, Diversity, and Inclusion. *LAK22: 12th International Learning Analytics and Knowledge Conference*, 260-270. <https://doi.org/10.1145/3506860.3506900>
- Yusuf, R., Shafik, W., Kalinaki, K., y Iheaturu, C. (2024). Internet of Forestry Things (IoFT) Technologies and Applications in Forest Management. En *Advanced IoT Technologies and Applications in the Industry 4.0 Digital Economy* (1st Edition, p. 21). CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003434269-15/internet-forestry-things-ioft-technologies-applications-forest-management-rufai-yusuf-zakari-wasswa-shafik-kassim-kalinaki-chima-jude-iheaturu>

Zou, W., Jing, W., Chen, G., Lu, Y., y Song, H. (2019). A Survey of Big Data Analytics for Smart Forestry. *IEEE Access*, 7, 46621-46636.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907999>

9. MATERIAL SUPLEMENTARIO

9. MATERIAL SUPLEMENTARIO

Los datos generados en este trabajo para las masas de robledales y pinares del Bosque Modelo Palencia se encuentran disponibles en [GitHub](#). En la Tabla 30 se incluyen los enlaces directos a los datos a nivel de parcela para las 130 parcelas y a nivel de municipio para 70 municipios (de los cuales solo 55 tienen datos de existencias de parcelas).

Tabla 17. Material complementario generado en este trabajo.

Nivel	Sección <i>Dashboard</i> (links)	Descripción
Parcela	Situación de la Parcela	Archivo CSV con las características de la situación de las 130 parcelas. Mapas de localización (.png) de las 2 parcelas de ejemplo en el BMP.
	Estado Natural	Archivo CSV con las características fisiográficas de las 130 parcelas. Carpeta de “Clima” que contiene un archivo CSV con los datos climáticos de las 130 parcelas con los que se han realizado los climodiagramas y una carpeta “Climodiagramas” con un diagrama de W-L (.png) para cada parcela.
	Estado Forestal	Un archivo CSV del estado forestal general de las 130 parcelas. Un archivo CSV con el estado arbóreo de las 130 parcelas. Un archivo CSV con el estado arbustivo de las 130 parcelas.
	Existencias Forestales	Archivo CSV con los datos de existencias por especie y CD (pies/ha, área basimétrica, volumen) para las 130 parcelas en los 3 inventarios. Carpeta con gráficos de barras (.png) de las existencias por especie en cada inventario de las 130 parcelas. Carpeta con gráficos de barras (.png) del nº pies/ha por especie y CD en cada inventario de las 130 parcelas.
	Daños Arbolado	Archivos CSV con el porcentaje del número de árboles que tienen daños en cada inventario para las 130 parcelas. Carpetas con gráficas tipo pastel (.png) donde se representan los datos para las 130 parcelas para el IFN3 y el IFN4.
	Carbono Fijado por el Arbolado	Archivo CSV con el carbono fijado por cada fracción de biomasa para las 130 parcelas en los 3 inventarios. Carpeta con gráficas de barras acumuladas (.png) que representan los datos que se encuentran en el CSV anterior para las 130 parcelas.
	Calidad Madera	Archivo CSV con el porcentaje de volumen por hectárea de cada calidad de madera para las 130 parcelas en los 3 inventarios. Carpeta con gráficas tipo rosco (.png) que compara la calidad de la madera para las 130 parcelas en cada inventario.
	Dashboards Ejemplos	<i>Dashboards</i> de las 2 parcelas de ejemplo (.png) presentados en el TFM.

Nivel	Sección <i>Dashboard</i> (links)	Descripción
Municipio	Situación del Municipio	Archivo CSV con los datos de los MUP de los 91 municipios del BMP. Archivo CSV con los datos de localización de los municipios y los espacios protegidos de los 91 municipios del BMP. Mapas de localización en el BMP (.png) de los dos municipios de ejemplo.
	Existencias Forestales	Archivo CSV con los datos de existencias forestales por especie (nº pies/ha, área basimétrica y volumen) para los 70 municipios del BMP para los 3 inventarios. Gráficos de barras (.png) que representan las existencias forestales de los 70 municipios por especie comparando los 3 inventarios.
	Calidad Madera	Archivo CSV con el porcentaje de volumen por hectárea de cada calidad de madera para los 55 municipios en los 3 inventarios. Carpeta con gráficas tipo rosco (.png) que compara la calidad de la madera para los 55 municipios en cada inventario.
	Daños Arbolado	Archivos CSV con el porcentaje del número de árboles que tienen daños en cada inventario para los 55 municipios. Carpetas con gráficas tipo pastel (.png) donde se representan los datos para los 55 municipios para el IFN3 y el IFN4.
	Carbono Fijado por el Arbolado	Archivo CSV con el carbono fijado por cada fracción de biomasa para los 70 municipios en los 3 inventarios. Carpeta con gráficas de barras acumuladas (.png) que representan los datos que se encuentran en el CSV anterior para los 70 municipios.
	Estado Forestal	Archivo CSV con los datos del número de parcelas y árboles que hay en cada edición del inventario en los municipios. Archivo CSV con los datos de la superficie de las masas de pinares y robledales en cada municipio en el MFE50 y en el MFE25. Carpeta con gráficas de barras (.png) que representan los cambios en la superficie del MFE50 al MFE25 en los 70 municipios. Archivo CSV con los datos de la valoración económica de los recursos ecosistémicos de los 70 municipios. Archivo CSV con los identificadores de las 130 parcelas de pinares y robledales del BMP de las que se han integrado y calculado distintos indicadores para las 3 ediciones de los inventarios con los municipios a los que pertenecen.
	Dashboard Ejemplos	<i>Dashboards</i> de los 2 municipios de ejemplo (.png) presentados en el TFM.