

Rodes Blanco, M.; Astigarraga, J.; Pugh, T.; Cruz-Alonso, V.; Miguel, S.; Bravo-Hernández, M.; Grajera-Antolín, C.; Tijerín-Triviño, J.; Zavala, M.; Vayreda, J.; Vilà-Cabrera, A.; Ruiz-Benito, P. Estimación de la edad de los bosques de la península Ibérica a partir de datos de Inventario Forestal Nacional y de teledetección

# Estimación de la edad de los bosques de la península Ibérica a partir de datos de Inventario Forestal Nacional y de teledetección

Rodes Blanco, Marina <sup>1,2</sup> Astigarraga, Julen <sup>3</sup> Pugh, Thomas A. M. <sup>3</sup> Cruz-Alonso, Verónica <sup>1</sup> Miguel, Sofía <sup>1,2</sup> Bravo-Hernández, Miriam <sup>1</sup> Grajera-Antolín, Cristina <sup>1</sup> Tijerín-Triviño, Julián <sup>1,2</sup> Zavala, Miguel A. <sup>1</sup> Vayreda, Jordi <sup>4</sup> Vilà-Cabrera, Albert <sup>5</sup> Ruiz-Benito, Paloma <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Alcalá. Department of Life Sciences, Forest Ecology and Restoration Group (FORECO), Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares 28805, Spain

<sup>2</sup> Universidad de Alcalá. Department of Geology, Geography and Environment. Environmental Remote Sensing Research Group (GITA), Alcalá de Henares 28805, Spain

<sup>3</sup> Department of Earth and Environmental Sciences, Lund University, Lund S-223 62, Sweden

<sup>4</sup> CREAM, Campus Bellaterra (UAB), Cerdanyola del Vallès, Catalonia, Spain

<sup>5</sup> Biosciences Department. Faculty of Science, Technology and Engineering. University of Vic – Central University of Catalonia (UVic-UCC), C. de la Laura, 13, 08500, Vic, Catalonia, Spain

**ORCID:** Rodes Blanco 0000-0001-9326-5101 Astigarraga 0000-0001-9520-3713 Pugh 0000-0002-6242-7371 Cruz-Alonso 0000-0002-0642-036X Miguel 0000-0002-1341-8022 Bravo-Hernández 0009-0001-6117-507X Grajera-Antolín 0000-0002-3694-5909 Tijerín-Triviño 0000-0001-9576-4780 Zavala 0000-0003-1456-0132 Vayreda 0000-0002-9538-7361 Vilà-Cabrera 0000-0001-7589-7797 Ruiz-Benito 0000-0002-2781-5870

**Correspondencia:** [marina.rodes@uah.es](mailto:marina.rodes@uah.es) [julenastigarraga@gmail.com](mailto:julenastigarraga@gmail.com) [thomas.pugh@mgeo.lu.se](mailto:thomas.pugh@mgeo.lu.se) [veronica.cruz@uah.es](mailto:veronica.cruz@uah.es) [sofia.miguelr@uah.es](mailto:sofia.miguelr@uah.es) [miriam.bravo@uah.es](mailto:miriam.bravo@uah.es) [cristina.grajera@uah.es](mailto:cristina.grajera@uah.es) [julian.tijerin@uah.es](mailto:julian.tijerin@uah.es) [ma.zavala@uah.es](mailto:ma.zavala@uah.es) [j.vayreda@creaf.uab.cat](mailto:j.vayreda@creaf.uab.cat) [albert.vila@uvic.cat](mailto:albert.vila@uvic.cat) [paloma.ruizb@uah.es](mailto:paloma.ruizb@uah.es)

## RESUMEN

Los bosques desempeñan un papel esencial en la regulación del ciclo de carbono, y la edad forestal es una variable clave para estimar su capacidad de almacenar carbono en la biomasa. Sin embargo, la falta de información espacialmente continua y detallada sobre la distribución de edades limita su uso. La estimación de edad a nivel nacional enfrenta importantes desafíos por la dependencia de datos de campo obtenidos en parcelas de inventarios forestales, los cuales ofrecen alta precisión, pero son espacialmente discontinuos y costosos de obtener. En este contexto, la teledetección ofrece una oportunidad para complementar la información de campo mediante el uso combinado de series temporales de Landsat y datos LiDAR, lo que permite generar estimaciones de edad más precisas y a mayores resoluciones. El objetivo de este trabajo es generar un mapa nacional de edad forestal para 2010 a 0.5 ° y 30 m de resolución, integrando inventarios nacionales, perturbaciones forestales detectadas a partir de series Landsat y alturas derivadas de LiDAR. Para ello, primero generamos un mapa de distribuciones de edad a 0.5 ° de resolución a partir de datos de inventario y de perturbaciones. Posteriormente, reescalamos la distribución de edades a una resolución de 30 m a partir de alturas derivadas de LiDAR, utilizando la relación que existe entre la edad y la altura de los árboles.





**Palabras clave:** *Edad forestal, estimaciones de edad, observación de la tierra, Inventario Forestal Nacional, modelización espacial*

Fecha de recepción: 18 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 18 febrero 2026


# Estimación de la edad de los bosques de la península Ibérica a partir de datos de Inventario Forestal Nacional y de teledetección

Rodes Blanco, Marina <sup>(1,2)</sup>, Astigarraga, Julen <sup>(3)</sup>, Pugh, Thomas A. M. <sup>(3)</sup>, Cruz-Alonso, Verónica <sup>(1)</sup>, Miguel, Sofia <sup>(1,2)</sup>, Bravo-Hernández, Miriam <sup>(1)</sup>, Grajera-Antolín, Cristina <sup>(1)</sup>, Tijerín-Triviño, Julián <sup>(1,2)</sup>, Zavala, Miguel A. <sup>(1)</sup>, Vayreda, Jordi <sup>(4)</sup>, Vilà-Cabrera, Albert <sup>(5)</sup>, Ruiz-Benito, Paloma <sup>(1,2)</sup>



<sup>(1)</sup> Universidad de Alcalá. Department of Life Sciences, Forest Ecology and Restoration Group (FORECO), Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares 28805, Spain.

 0000-0002-0642-036X, veronica.cruz@uah.es ;  0009-0001-6117-507X, miriam.bravo@uah.es  
 0000-0002-3694-5909, cristina.grajera@uah.es ;  0000-0003-1456-0132, ma.zavala@uah.es


<sup>(2)</sup> Universidad de Alcalá. Department of Geology, Geography and Environment. Environmental Remote Sensing Research Group (GITA), Alcalá de Henares 28805, Spain.

 0000-0001-9326-5101, marina.rodes@uah.es ;  0000-0002-1341-8022, sofia.miguelr@uah.es  
 0000-0001-9576-4780, julian.tijerin@uah.es ;  0000-0002-2781-5870, paloma.ruizb@uah.es


<sup>(3)</sup> Department of Earth and Environmental Sciences, Lund University, Lund S-223 62, Sweden.

 0000-0001-9520-3713, julenastigarraga@gmail.com ;  0000-0002-6242-7371, thomas.pugh@mgeo.lu.se

<sup>(4)</sup> CREAM, Catalonia, Spain.

 0000-0002-9538-7361, j.vayreda@creaf.uab.cat

<sup>(5)</sup> Biosciences Department. Faculty of Science, Technology and Engineering. University of Vic – Central University of Catalonia (UVic-UCC), C. de la Laura, Catalonia, Spain.

 0000-0001-7589-7797, albert.vila@uvic.cat

**Resumen:** Los bosques desempeñan un papel esencial en la regulación del ciclo de carbono, y la edad forestal es una variable clave para estimar su capacidad de almacenar carbono en la biomasa. Sin embargo, la falta de información espacialmente continua y detallada sobre la distribución de edades limita su uso. La estimación de edad a nivel nacional enfrenta importantes desafíos por la dependencia de datos de campo obtenidos en parcelas de inventarios forestales, los cuales ofrecen alta precisión, pero son espacialmente discontinuos y costosos de obtener. En este contexto, la teledetección ofrece una oportunidad para complementar la información de campo mediante el uso combinado de series temporales de Landsat y datos LiDAR, lo que permite generar estimaciones de edad más precisas y a mayores resoluciones. El objetivo de este trabajo es generar un mapa nacional de edad forestal para 2010 a 0.5 ° y 30 m de resolución, integrando inventarios nacionales, perturbaciones forestales detectadas a partir de series Landsat y alturas derivadas de LiDAR. Para ello, primero generamos un mapa de distribuciones de edad a 0.5 ° de resolución a partir de datos de inventario y de perturbaciones. Posteriormente, reescalamos la distribución de edades a una resolución de 30 m a partir de alturas derivadas de LiDAR, utilizando la relación que existe entre la edad y la altura de los árboles.

**Palabras clave:** Edad forestal, estimaciones de edad, observación de la tierra, Inventario Forestal Nacional, modelización espacial

## ***Estimation of forest age in the Iberian Peninsula fr NFI and remote sensing data***

**Abstract:** Forests play a key role in regulating the carbon cycle, and forest age is a critical variable for estimating their carbon storage capacity in biomass. However, the lack of spatially continuous and detailed information on age distribution limits its use. Estimating forest age at the national scale faces major challenges due to the reliance on field data from forest inventory plots, which provide high accuracy but are spatially discontinuous and costly to obtain. In this context, remote sensing offers an opportunity to complement field information by combining Landsat time series with LiDAR data, enabling more accurate and higher-resolution age estimates. The aim of this study is to produce a national forest age map for 2010 at 0.5 ° and 30 m resolution, integrating national inventories, forest disturbances detected from Landsat time series, and LiDAR-derived

*heights. To this end, we first generated an age-distribution map at 0.5 ° resolution using inventory and disturbance data. We then rescaled this distribution to 30 m resolution using LiDAR-derived heights and the relationship between tree age and height.*

**Keywords:** Forest age, Age estimations, Earth observation, National Forest Inventory, Spatial modelling

## 1. INTRODUCCIÓN

Los bosques juegan un papel crucial en la regulación del ciclo de carbono, fijando CO<sub>2</sub> atmosférico en su biomasa y amortiguando los efectos del cambio global (Bonan, 2008; Harris *et al.*, 2021; Sha *et al.*, 2022). La edad de los bosques influye directamente en la absorción y almacenamiento de este elemento en los ecosistemas forestales puesto que es uno de los principales determinantes de la cantidad de carbono que los bosques pueden almacenar (Hoover & Smith, 2023; Wei *et al.*, 2013). Además, constituye un atributo esencial para la gestión forestal, pues es un factor a tener en cuenta en decisiones relacionadas con la planificación de aprovechamientos, priorización de áreas de conservación y la evaluación de riesgos. Sin embargo, la falta de datos detallados espacialmente continuos dificulta el uso de la edad como una variable clave en análisis a gran escala.

A pesar de los avances recientes en datos globales de edad forestal (Besnard *et al.*, 2021; Poulter *et al.*, 2018), los productos disponibles presentan una resolución espacial limitada e incertidumbres relativamente elevadas, lo que limita su utilidad en aplicaciones que requieren mayor detalle. Persiste así la necesidad de desarrollar productos con resoluciones más finas y metodologías que permitan capturar patrones locales con mayor precisión.

Uno de los principales desafíos para estimar la edad del bosque a escalas espaciales nacionales y continuas radica en la disponibilidad y calidad de los datos de referencia que cubra adecuadamente la diversidad de condiciones climáticas, estructurales y de legado de uso. Esto es especialmente relevante en zonas de elevada diversidad de composición y estructura, como es el caso de la península Ibérica. Tradicionalmente, la información de edad proviene de parcelas del Inventario Forestal Nacional (IFN), donde se obtienen estimaciones por técnicas directas o indirectas de manera sistemática pero espacialmente discontinua (Villaneva, 2005).

La existencia misiones satelitales de acceso abierto como Landsat, el desarrollo de técnicas de análisis de series temporales y el aumento de la capacidad de procesamiento computacional ha permitido detectar perturbaciones anuales que generan reemplazamiento del bosque a partir de cambios espectrales en series temporales (Senf & Seidl, 2021), proporcionando así una vía para inferir la edad de rodales jóvenes que han experimentado eventos de perturbación recientes, desde 1986. Sin embargo, esta aproximación presenta limitaciones para bosques cuya edad excede el periodo de observación de la serie. En estos casos, sigue siendo indispensable contar con registros de campo u otras fuentes de información histórica que permitan datar

adecuadamente los bosques establecidos antes del inicio de la misión Landsat.

Dada la relación bien establecida entre la edad del bosque y su altura (ej.- Zhang *et al.*, 2014), la reciente disponibilidad de datos de altura derivados de sensores LiDAR ofrece una oportunidad valiosa para generar estimaciones espacialmente continuas. Estos datos permiten complementar y ampliar la información obtenida en campo, facilitando la producción de mapas de edad a nivel nacional a mayores resoluciones.

El objetivo de este trabajo es generar un mapa de edad de bosques para el año 2010 a 0.5 ° y 30 m de resolución, integrando: (i) datos provenientes del Inventario Forestal Nacional, (ii) registros de perturbaciones forestales derivados de la serie temporal Landsat (Senf & Seidl, 2021) y (iii) estimaciones de altura obtenidas a partir de datos LiDAR (Turubanova, 2023). Esta combinación de fuentes de datos permite proporcionar información espacial de la edad de los bosques y avanzar hacia productos precisos y consistentes a escala nacional.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Distribuciones de edad a 1° de resolución

El primer lugar se generaron distribuciones de edad a 1° de resolución. Para ello se usaron datos de edad provenientes del Inventario Nacional Forestal (IFN) y datos del mapa europeo de perturbaciones de Senf & Seidl (2021) que usan compuestos anuales derivados de Landsat (Fig. 1).

#### 2.1.1. Inventario Forestal Nacional

Para considerar el efecto de las condiciones ambientales en las distribuciones de edad se generó esta información en mallas de 1° utilizando los datos del IFN3 (1997-2007) e IFN4 (2008-2022). Los IFN estiman la edad mediante métodos indirectos, como consultas y directos mediante barrenado de los árboles dominantes. La resolución de 1° se seleccionó para garantizar un número mínimo de parcelas con información de edad dentro de cada celda. Se seleccionó el año 2010 por ser el año más próximo al levantamiento de información de las parcelas de inventario utilizadas. Para cada celda, se calculó la mediana de las fechas de realización de los censos.

#### 2.1.2. Perturbaciones

Se calcularon los píxeles perturbados entre 1986 y la mediana de la fecha del censo del IFN por celda, obteniendo distribuciones de edad en la malla de 1° de resolución para los bosques más jóvenes. La edad se calculó como la diferencia entre el año del censo y el año de mayor perturbación.

### 2.1.3. Distribuciones de edad a 1° de resolución

Las distribuciones finales de edad a 1° de resolución se obtuvieron integrando la información procedente del IFN y de las perturbaciones. Para ello, las edades de rodal derivadas de perturbaciones y las obtenidas a partir del IFN se transformaron en fracciones, ponderándolas según el número de píxeles y de parcelas, respectivamente. Dado que el número de parcelas era muy inferior al de píxeles, las fracciones a nivel de parcela se ajustaron en función de la proporción de bosque no perturbado desde 1986, dentro de cada celda de 1° (i.e. bosques relativamente maduros).

A continuación, se combinaron ambas distribuciones, optando por utilizar exclusivamente la información de perturbaciones para caracterizar los bosques jóvenes (i.e. perturbados posteriormente a 1986) debido a su mayor precisión y cobertura espacial continua en comparación con el IFN. Finalmente, las distribuciones se desplazaron al año 2010 con base en la mediana del año de censo en cada celda.

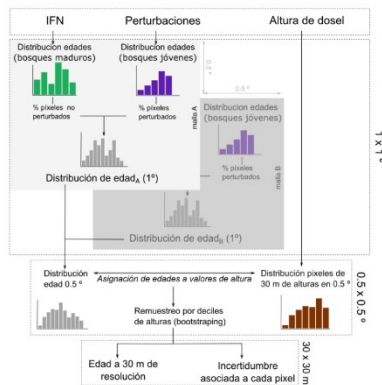


Figura 1: Flujo de trabajo para generar información de edad a 0.5° y 30 m de resolución.

### 2.2. Distribuciones de edad a 0.5° de resolución

El proceso descrito en el punto 2.1 se aplicó a dos mallas de 1°, desplazados entre sí 0.5° tanto en latitud como en longitud (malla<sub>A</sub> y malla<sub>B</sub> en Fig. 1), obteniéndose así distribuciones de edad en cada celda de 1° de ambas mallas. Las distribuciones a 0.5° se calcularon a partir del promedio de las distribuciones a 1°, ya que cada celda de 0.5° corresponde a una combinación única de las celdas de malla<sub>A</sub> y malla<sub>B</sub>. Posteriormente se agruparon los resultados en clases de edad de 5 años.

### 2.3. Estimaciones de edad a 30 m de resolución

Para la obtención del producto final a 30 m de resolución se utilizó la base de datos de altura de bosques europeos de Turbanova (2023) para el año 2010 y disponible para alturas mayores de 5 m. En concordancia, la distribución de edades a 0.5° se acotó usando el tiempo medio que cada celda tardaba en alcanzar los primeros 5 m de altura. Para ello, se identificaron los píxeles perturbados en 1986, se estimó su altura en 2010 y, mediante interpolación lineal, se calculó el número de años promedio necesarios para llegar a 5 m en cada celda.

Se estimaron las edades a 30 m a partir de la distribución de edades de referencia y la distribución de alturas a 30 m en cada celda de 0.5°. Este proceso se realizó por celda para tener en cuenta las condiciones ambientales en la edad de los rodales. Para ello, se generaron distribuciones de edad manteniendo la proporción de las clases de edad, pero para el número total de los píxeles de bosque con datos de altura en cada celda. Las distribuciones de alturas y edades, ahora con el mismo número de píxeles, se ordenaron de manera creciente y se asignaron por pares de manera que los píxeles de más altura correspondieran a píxeles de más edad asignada. A continuación, los datos se agruparon en deciles de altura, y se tomaron 100 muestras con reemplazo (bootstraps) de cada decil. Este procedimiento, por el rango de alturas mucho menor que el de edades, generó un conjunto de posibles edades para cada píxel de altura, a partir de la cual se calcularon la media (edad asignada) y los intervalos de confianza al 95%. Los datos finales de edad se limitaron superiormente en 140 años ya que la relación entre altura y edad no es lineal y tiende a saturar.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

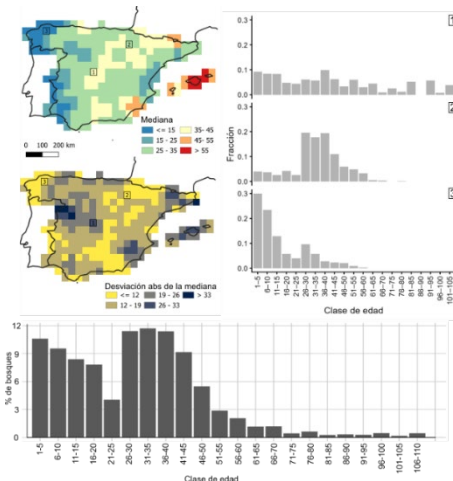


Figura 2: (A) Mediana de las distribuciones de edad en píxeles de 0.5° y desviación absoluta de la mediana; (B) ejemplos de distribuciones para las celdas señaladas en A y B (D) distribución de edades para todo el país.

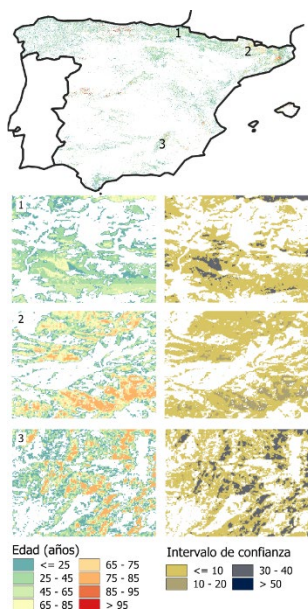
Las distribuciones de edad calculadas a 0.5° presentaron medianas de edad entre 7.76 y 64.2 años con una desviación absoluta respecto a la mediana comprendida entre 5.9 y 37 años según la celda (Fig. 2A y 2B). A nivel nacional se observa que las clases dominantes de edad se sitúan entre 1-15 años y entre 26-45 años según los datos de inventario y de perturbaciones (Fig. 2D).

A 30 m el rango de edades se encuentra entre 24 y 110 años con una incertidumbre entre 0 y 64, con una mediana de la incertidumbre de 4 años. Los píxeles de mayor incertidumbre son aquellos que presentan unos mayores valores para la edad.

Al comparar este resultado con otros estudios que cuantifican la edad de las masas forestales en Europa (Besnard *et al.*, 2010; Poulter *et al.*, 2019; Vilén *et al.*,

2018), en general obtenemos menores incertidumbres, mayor resolución espacial y clases de edad en rangos menos amplios.

Una de las principales limitaciones de la base de datos presentada se debe a que las distribuciones de edad reflejan pocos bosques con más de 100 años, a pesar de que existen numerosos registros que confirman su existencia en la zona de estudio. Esto se debe a la falta de datos de edad disponibles para bosques maduros en el IFN y a que el tamaño del árbol puede no ser altamente representativo de la edad por constricciones ambientales y de legado de uso. Además, la falta de coordenadas precisas en las parcelas del IFN (Schadauer, 2024) dificultan la validación. No obstante, la metodología aquí propuesta permite reescalar los datos de campo y de perturbaciones a resolución de píxel de 30 m, lo que facilita la actualización del producto mejorando las estimaciones de las distribuciones de edad a medida que se incorporen nuevos datos en futuros censos del IFN.



**Figura 3:** (A) Edad a 30 m de resolución. (B) Ampliación de las zonas 1, 2 y 3 en A, a la izquierda edades a la derecha intervalo de confianza.

#### 4. AGRADECIMIENTOS

Financiación: CLIMB-FOREST Horizon Europe project (No. 101059888), Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados son únicamente de los/as autores/as y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea. La Unión Europea no puede ser considerada responsable de ellos. J.A. recibió el apoyo del Programa Posdoctoral de Perfeccionamiento de Personal Investigador Doctor del Gobierno Vasco (POS\_2024\_1\_0026).

Agradecemos a todas las organizaciones y personas que hacen posible la creciente disponibilidad de datos de alta calidad como el caso de los procedentes de los Inventarios Forestales Nacionales, incluido el MITECO (Ministerio de Transición Ecológica y del reto demográfico) en el caso de España; Senf & Seidl en el

caso del mapa de perturbaciones; y Turubanova y colaboradores en el caso de los mapas de altura.

#### 5. REFERENCIAS

- Besnard, S., Koirala, S., Santoro, M., Weber, U., Nelson, J., Gütter, J., ... & Carvalhais, N. (2021). Mapping global forest age from forest inventories, biomass and climate data. *Earth System Science Data Discussions*, 2021, 1-22.
- Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320(5882), 1444-1449.
- Harris, N. L., Gibbs, D. A., Baccini, A., Birdsey, R. A., De Bruin, S., Farina, M., ... & Tyukavina, A. (2021). Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*, 11(3), 234-240.
- Hoover, C. M., & Smith, J. E. (2023). Aboveground live tree carbon stock and change in forests of conterminous United States: influence of stand age. *Carbon balance and management*, 18(1), 7.
- Poulter, B. et al. The global forest age dataset and its uncertainties (GFADv1.1). *NASA National Aeronautics and Space Administration PANGAEA* <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.897392> (2019).
- Senf, C. & Seidl, R. Mapping the forest disturbance regimes of Europe. *Nature Sustainability* 4, 63-70 (2021).
- Schadauer, K., Astrup, R., Breidenbach, J., Fridman, J., Gräber, S., Köhl, M., ... & Riedel, T. (2024). Access to exact National Forest Inventory plot locations must be carefully evaluated. *New Phytologist*, 242(2).
- Sha, Z., Bai, Y., Li, R., Lan, H., Zhang, X., Li, J., ... & Xie, Y. (2022). The global carbon sink potential of terrestrial vegetation can be increased substantially by optimal land management. *Communications Earth & Environment*, 3(1), 8.
- Turbanova, S., Potapov, P., Hansen, M. C., Li, X., Tyukavina, A., Pickens, A. H., ... & Stolle, F. (2023). Tree canopy extent and height change in Europe, 2001-2021, quantified using Landsat data archive. *Remote Sensing of Environment*, 298, 113797.
- Villanueva, J.A. Tercer Inventario Forestal Nacional (1997-2007) (Ministerio de Medio Ambiente, 2005).
- Vilén, T., Gunia, K., Verkerk, P. J., Seidl, R., Schelhaas, M. J., Lindner, M., & Bellassen, V. (2012). Reconstructed forest age structure in Europe 1950-2010. *Forest Ecology and Management*, 286, 203-218.
- Wei, Y., Li, M., Chen, H., Lewis, B. J., Yu, D., Zhou, L., ... & Dai, L. (2013). Variation in carbon storage and its distribution by stand age and forest type in boreal and temperate forests in northeastern China. *PloS one*, 8(8), e72201.
- Zhang, C., Ju, W., Chen, J. M., Li, D., Wang, X., Fan, W., ... & Zan, M. (2014). Mapping forest stand age in China using remotely sensed forest height and observation data. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 119(6), 1163-1179.