



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-2064

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Predicción de existencias a nivel de parcela catastral y otros productos derivados de la aplicación de metodologías basadas en modelos en inventarios forestales: un caso de estudio en Galicia

MARTÍNEZ-CALVO, A. (1), RODRÍGUEZ-RUIZ, J. (1) y PÉREZ-CRUZADO, C. (1)

(1) Proyectos y Planificación (PROEPLA), Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Campus Terra, Universidade de Santiago de Compostela, Lugo (España)

Resumen

Los inventarios forestales nacionales son una herramienta fundamental para la obtención de información forestal fiable y de calidad a nivel comunidad autónoma o provincia. No obstante, al ser la inferencia basada en diseño el enfoque metodológico habitualmente empleado, no es posible producir resultados desagregados a nivel inferior (municipio, monte, etc.) con niveles de incertidumbre aceptables, dado que el número de parcelas a medir requerido sería operativamente inasumible. Este hándicap puede superarse mediante la inferencia basada en modelos que, aunque requiere disponer de información auxiliar adicional, permite predecir las variables forestales de interés con ese nivel de desagregación, manteniendo el número de parcelas a inventariar en valores admisibles.

En este trabajo se presenta como caso de estudio el inventario forestal continuo de Galicia (IFCG), en el cual el uso de metodologías basadas en modelos ha permitido disponer de predicciones para las existencias de eucaliptos y coníferas en la franja costera gallega a nivel de parcela catastral. En base a ellas se han podido generar una serie de productos derivados (mapas de existencias, informes personalizados, etc.) de gran interés para el sector forestal, cuyas potencialidades se ilustran en este trabajo a través de una aplicación web desarrollada por los autores.

Palabras clave

Inferencia basada en modelos, IFCG, catastro, mapa de existencias, aplicación web.

1. Introducción

Los inventarios forestales (IF) son una herramienta fundamental para la obtención de información forestal fiable y de calidad, puesto que permiten conocer y evaluar tanto el estado como la evolución de las masas forestales a lo largo del tiempo a nivel estatal o regional. Este hecho los convierte en una fuente de información de gran valor para la toma de decisiones y la planificación de una gestión forestal sostenible (TOMPPPO et al, 2010). La disponibilidad de información forestal precisa y actualizada resulta de especial importancia en los países o regiones en los que los sistemas forestales representan uno de sus principales recursos, y con un peso importante en su desarrollo socioeconómico. Este es el caso de la comunidad autónoma de Galicia (España) que cuenta con algo más de 2 millones de hectáreas clasificadas como uso forestal (MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, 2024), i.e. aproximadamente el 68% de su superficie, y en la cual la facturación conjunta de los principales subsectores de la cadena de valor forestal-madera alcanzó los 2.438 millones de



euros en 2023 (PICOS, 2024).

Sin embargo, las características de las masas forestales gallegas hacen que los diseños de IF más habituales no satisfagan adecuadamente las necesidades de información forestal. En primer lugar, la población forestal gallega presenta un elevado nivel de fragmentación (TEIXIDO et al, 2010; TIMMERMANS et al, 2015), lo que genera ciertas distorsiones (sobreestimación de superficie correspondiente a masas forestales mixtas, etc.) en los resultados alcanzados cuando se implementan algunos de los diseños muestrales y de parcela más habitualmente empleados en el contexto de IF, tales como los diseños considerados en el Inventario Forestal Nacional español (ALBERDI ASENSIO et al, 2010; ALBERDI et al, 2017). Además, tanto la presencia de especies productivas de crecimiento rápido como el gran dinamismo general de las masas forestales en Galicia, con entre 40.000 y 50.000 ha/año afectadas por aprovechamientos madereros durante la última década (XUNTA DE GALICIA, 2025b), generan la necesidad de implementar IF con ciclos más cortos debido a la rápida obsolescencia de la información forestal recabada en campo o de los resultados de ella derivados. Por otra parte, también se detectó en el sector forestal gallego el interés en disponer de información desagregada a nivel municipio o incluso monte. No obstante, al ser la inferencia basada en diseño el enfoque metodológico usual en IF, no es posible producir resultados desagregados a esos niveles con valores de incertidumbre aceptables, dado que el número de parcelas a medir que se requeriría sería operativamente inasumible. Por ejemplo, la obtención de resultados a nivel provincial para Galicia en el cuarto ciclo del Inventario Forestal Nacional requirió la medición de más de 8.000 parcelas en campo (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO, 2011).

Por todo lo comentado previamente, desde 2020 la Consellería de Medio Rural de la Xunta de Galicia, la Universidade de Santiago de Compostela y la Universidade de Vigo trabajan de forma conjunta en el diseño y puesta en marcha del inventario forestal continuo de Galicia (IFCG), iniciativa a la cual se ha incorporado recientemente la Axencia Galega da Industria Forestal. La fase de diseño del IFCG ya fue completada y en la actualidad se está ejecutando el primer ciclo de mediciones de su red base definitiva. Durante su fase de diseño se construyó una cartografía específica para el IFCG combinando la cartografía de recintos del SIGPAC (directamente relacionada con la cartografía catastral), y cartografías de proyectos de ordenación y de gestión de montes de Galicia, y segmentando las unidades cartográficas más grandes que se obtuvieron según los diferentes usos identificados en ellas. La población objetivo del IFCG se definió como el conjunto de unidades de dicha cartografía con uso forestal arbolado. Además, en cuanto al diseño estimacional, se optó por la inferencia basada en modelos que, aunque requiere disponer de información auxiliar adicional, permite estimar las variables forestales de interés para los niveles de desagregación demandados por el sector forestal gallego, puesto que, de hecho, permite obtener predicciones para cada unidad poblacional. Más detalles sobre el diseño del IFCG pueden consultarse en su portal web (Xunta de Galicia, 2025a).

En este trabajo se presentan los resultados preliminares obtenidos hasta el momento en el marco del IFCG para las predicciones de existencias de eucaliptos y



coníferas en la franja costera gallega en base a la metodología establecida para este IF. Puesto que se disponía de predicciones a nivel de parcela catastral, se generaron también una serie de productos derivados (mapas de existencias, informes personalizados, etc.) de gran interés para el sector forestal que, aunque se basan en resultados preliminares, permiten analizar las potencialidades de este tipo de productos. A modo ilustrativo, se muestra también en el trabajo una aplicación web desarrollada por los autores que permite visualizar estos productos derivados.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es presentar los resultados preliminares obtenidos en el marco del IFCG para la franja costera gallega en cuanto a (i) existencias de eucaliptos y coníferas (volumen total y volumen medio del rodal) y (ii) otros productos derivados basados en las predicciones generadas a nivel de parcela catastral (mapas de existencias, informes personalizados, etc.). Las potencialidades de estos últimos se ilustran en el trabajo a través de una aplicación web desarrollada por los autores.

3. Metodología

Área de estudio. Aunque el área de estudio del IFCG es el total del territorio de Galicia, el presente trabajo se ha centrado en los 86 ayuntamientos de Galicia situados en el área costera de la comunidad.

Mapa vectorial de coberturas de suelo. Como mapa de clasificación de coberturas de suelo de referencia para este trabajo se tomó el mapa vectorial de coberturas del suelo 2022 elaborado por los investigadores de la Universidad de Vigo que participan en el IFCG, el cual puede descargarse en el centro de descargas del portal web del IFCG (XUNTA DE GALICIA, 2025a). El mapa, que toma como base cartográfica la cartografía del IFCG descrita previamente, fue construido a partir del mapa de usos estables 2022 de media resolución generado en base a imágenes Sentinel-2. Debido al alcance establecido para este trabajo, se restringió el mapa vectorial de coberturas de suelo al área de estudio y se seleccionaron únicamente dos de los estratos considerados en la clasificación: [1] Eucaliptos y [2] Coníferas.

Datos de teledetección. Como información auxiliar para los modelos de regresión a utilizar para predecir las variables forestales de interés, se utilizó un producto de teledetección LiDAR con cobertura para los municipios gallegos situados en el área de estudio. El vuelo para la captura de estos datos se realizó entre julio y septiembre de 2019, estableciéndose como densidad de puntos 3 puntos/m².

Datos de campo. Para la construcción de los modelos preliminares presentados en este trabajo se consideraron 378 parcelas correspondientes al estrato [1] Eucaliptos y 200 parcelas correspondientes al estrato [2] Coníferas. Todas ellas fueron medidas como parte de la red base definitiva del IFCG entre marzo de 2022 y marzo de 2023, según el protocolo de campo establecido (PÉREZ-CRUZADO et al, 2022).

Modelos de regresión. Para cada estrato considerado, esto es, [1] Eucaliptos y [2] Coníferas, se ajustaron modelos de regresión paramétricos para la variable volumen total del rodal (V , m^3/ha) considerando como variables independientes las métricas derivadas de los datos de teledetección asociadas a las parcelas de campo y como variables dependientes los valores de volumen total del rodal calculados a partir de los datos de campo. Todos los procesos de depuración y cálculo de métricas y variables, selección de variables independientes y ajuste de modelos se realizó con el software estadístico R (R Core Team, 2024).

Cálculo de existencias. Los modelos de regresión ajustados se utilizaron para obtener las predicciones de la variable volumen total del rodal (V , m^3/ha) para todas las unidades de la cartografía del IFCG situadas en el área de estudio para las que fue posible obtener las métricas LiDAR. A partir de estas predicciones se derivaron las estimaciones de la variable volumen total (V , m^3). Los resultados por municipio y para el área de estudio fueron derivados a partir de las predicciones obtenidas para las unidades cartográficas. De nuevo, todos los cálculos requeridos se realizaron con R (R Core Team, 2024).

4. Resultados

La tabla 1 recoge los resultados preliminares obtenidos para el volumen total (m^3) y el volumen medio del rodal (m^3/ha) en el área de estudio por cada uno de los estratos considerados. Debe tenerse en cuenta que estos datos no corresponden a la superficie total ocupada por los estratos considerados en el área de estudio, sino a la superficie para la cual fue posible predecir las existencias por disponer de suficiente cobertura del producto de teledetección para poder calcular las métricas LiDAR necesarias para aplicar los modelos ajustados. Concretamente, la superficie para la que fue posible predecir existencias, la cual se recoge en la Tabla 1, corresponde al 10,0% de la superficie clasificada como [1] Eucalipto y el 12,3% de la clasificada como [2] Coníferas en el área de estudio.

Tabla 1. Resumen por estrato de superficies (ha) para las que fue posible predecir existencias en el área de estudio y valores obtenidos para volumen total (m^3) y volumen medio del rodal (m^3/ha).

Estrato	Superficie (ha)	Volumen total (m^3)	Volumen medio del rodal (m^3/ha)
Eucaliptos	157.330	29.612.202	188
Coníferas	75.981	13.165.082	173
Total	233.311	42.777.284	183

Además, se han obtenido los resultados agregados a nivel municipio. En la Figura 1 se presentan a modo de ejemplo para el estrato [2] Coníferas.

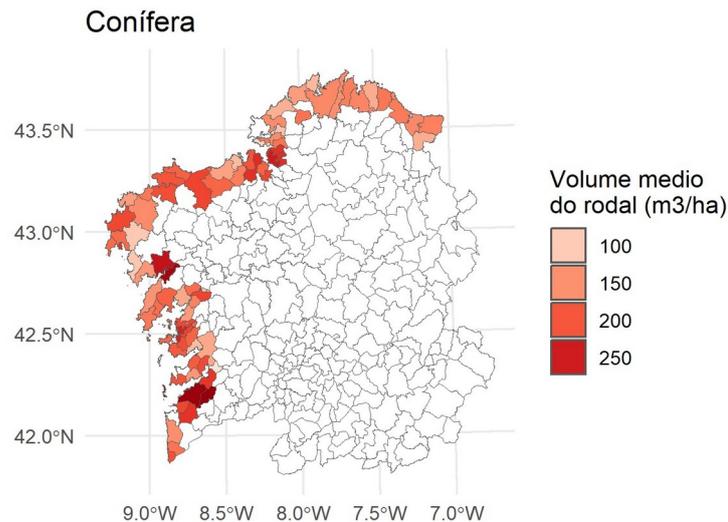


Figura 1. Representación gráfica de los valores obtenidos para el volumen medio del rodal (m³/ha) del estrato [2] Coníferas en cada municipio del área de estudio.

A modo ilustrativo de las potencialidades que se derivan del hecho de disponer de resultados para las variables de interés a nivel de unidad cartográfica, se presentan a continuación como ejemplos: un histograma de la superficie acumulada (ha) por volumen medio del rodal (m³/ha) para el estrato [2] Coníferas (Figura 2), visualizaciones del mapa de existencias derivado de los resultados (Figura 3) y de las posibilidades que esto ofrece en cuanto a la elaboración de informes personalizados, por ejemplo, realizando una selección ad hoc de las unidades cartográficas de interés y obteniendo los resultados agregados para dicha selección (Figura 4). Estas dos últimas visualizaciones se han realizado con una aplicación web desarrollada por los autores.





Figura 2. Superficie acumulada (ha) por volumen medio del rodal (m^3/ha) para el estrato [2] Coníferas, en base a las existencias preliminares obtenidas para el área de estudio.

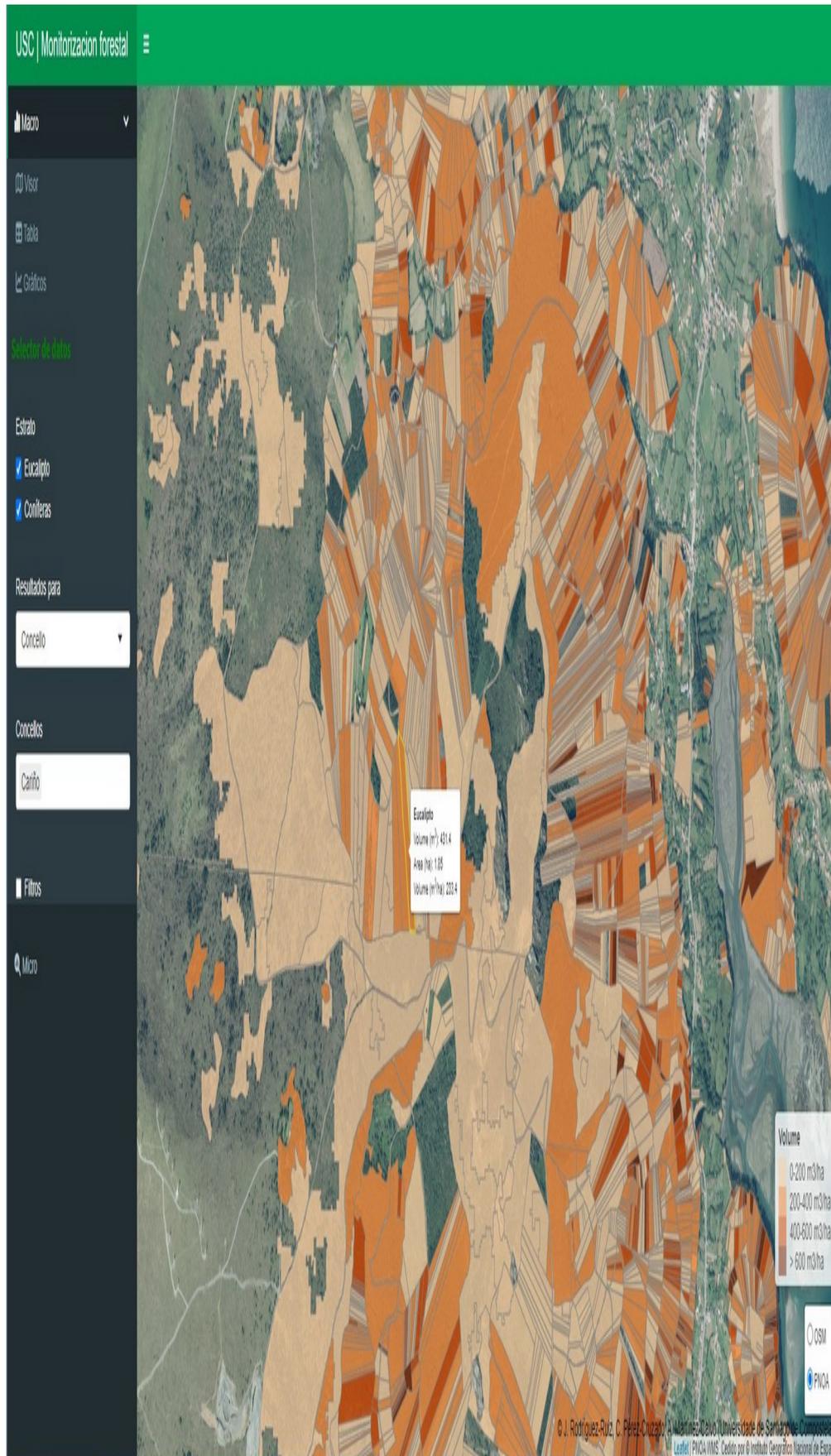


Figura 3. Ejemplo de visualización del mapa de existencias obtenido para el área de estudio.



Figura 4. Ejemplo de visualización de informe personalizado basado en el mapa de existencias obtenido para el área de estudio.

5. Discusión

Son varios los enfoques inferenciales empleados en el ámbito de los IF, entre los que destacan la inferencia basada en diseño, la asistida por modelos y la basada en modelos. La inferencia basada en diseño, ampliamente estudiada en la bibliografía estadística (COCHRAN, 1977), es quizás el enfoque más habitualmente utilizado para los IF y otros estudios relacionados con la naturaleza y el medioambiente (SUKHATME & SUKHATME, 1970; TOMPPPO et al, 2010). En particular, esta es la metodología considerada en el Inventario Forestal Nacional español (ALBERDI ASENSIO et al, 2010; ALBERDI et al, 2017). La inferencia asistida por modelos combina elementos del enfoque basado en diseño y del basado en modelos, puesto que en ella se reduce la varianza de los estimadores basados en diseño mediante la incorporación de un término adicional proveniente del ajuste de un modelo de regresión que relaciona la variable de interés con cierta información auxiliar disponible para todos los elementos de la población (SÄRNDAL et al, 1992). Varios autores han empleado este enfoque en IF (NÆSSET et al, 2013; SAARELA et al, 2015; KANGAS et al, 2016), utilizando usualmente datos provenientes de sensores remotos como información auxiliar. Por último, un tercer enfoque sería el de la inferencia basada en modelos (MANDALLAZ, 1991). Aunque el enfoque predominante en el ámbito forestal ha sido el de la inferencia basada en diseño, como se ha comentado previamente, durante los últimos años han proliferado los trabajos que aplican la inferencia basada en modelos en el contexto de los IF (MCROBERTS, 2006; SAARELA et al, 2016).

En el caso del IFCG, durante su proceso de diseño se tomó la decisión de optar por las metodologías basadas en modelos debido a las ventajas que estas presentan, entre ellas (i)la posibilidad de incorporar información auxiliar a través de los propios modelos o (ii)la obtención de resultados desagregados a nivel municipio o monte con valores de incertidumbre aceptables y con requerimientos, en cuanto al número de parcelas de campo a medir, asumibles en términos de costes y tiempos. Adicionalmente, como se muestra en los resultados preliminares recogidos en el apartado previo, la utilización de estas metodologías permite obtener como subproducto predicciones de las variables de interés a nivel unidad poblacional. Debido a que la cartografía base establecida para el IFCG está directamente vinculada a la cartografía catastral de Galicia, es posible, por tanto, disponer de mapas de existencias a nivel de parcela catastral o incluso informes de resultados ad hoc para cualquier área de interés siempre y cuando esta se corresponda con un conjunto de parcelas catastrales.

Tanto los resultados de existencias preliminares del IFCG, como los potenciales productos derivados de ellos comentados en este trabajo, han sido presentados en varios eventos y encuentros con distintos agentes del sector forestal gallego. Gracias a ello se ha confirmado el interés que tiene el sector en este tipo de productos y en las potenciales aplicaciones que estos tendrían para la cadena de valor del sector forestal de Galicia. No obstante, será necesario esperar a disponer de los resultados definitivos del primer ciclo de mediciones del IFCG para poder



realizar una valoración más completa de las potencialidades de estos productos y de su demanda por parte de los usuarios finales provenientes del sector forestal gallego.

6. Conclusiones

En este trabajo se presenta como caso de estudio el inventario forestal continuo de Galicia (IFCG), en el cual el uso de metodologías basadas en modelos ha permitido disponer de predicciones para las existencias de eucaliptos y coníferas en la franja costera gallega a nivel de parcela catastral. En base a ellas se han podido generar una serie de productos derivados (mapas de existencias, informes personalizados, etc.) de gran interés para el sector forestal, cuyas potencialidades se ilustran en este trabajo a través de una aplicación web desarrollada por los autores.

7. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Xunta de Galicia en el marco del convenio "Desenvolvemento do inventario forestal continuo de Galicia" [2020-CP3031]. Los autores han recibido financiación de las siguientes organizaciones: Adela Martínez-Calvo de la Xunta de Galicia en el marco del convenio "Desenvolvemento do inventario forestal continuo de Galicia" [2020-CP3031]; Joel Rodríguez-Ruiz del Campus Terra (Universidade de Santiago de Compostela) a través del programa predoctoral Campus Terra-USC 2022; y César Pérez-Cruzado del Ministerio de Ciencia e Innovación [RYC2018-024939-I].

8. Bibliografía

ALBERDI, I.; CAÑELLAS, I.; VALLEJO BOMBÍN, R.; 2017.O Inventário Florestal Nacional Espanhol: história, desenvolvimento, desafios e perspectivas. *Pesqui. Florest. Bras.*37(91) 361 – 368.

ALBERDI ASENSIO, I.; CONDÉS RUIZ, S.; MARTÍNEZ MILLÁN, J.; SAURA MARTÍNEZ DE TODA, S.; SÁNCHEZ PEÑA, G.; PÉREZ MARTÍN, F.; VILLANUEVA ARANGUREN, J.A.; VALLEJO BOMBIN, R; 2010.Spain. En: TOMPPO, E.; GSCHWANTNER, T.; LAWRENCE, M.; MCROBERTS, R. (eds.): National Forest Inventories. 527 – 540. Springer. Dordrecht.

COCHRAN, W. G.; 1977.Sampling techniques. Wiley.

KANGAS, A.; MYLLYMÄKI, M.; GOBAKKEN, T.; NÆSSET, E.; 2016.Model-assisted forest inventory with parametric, semiparametric, and nonparametric models. *Can. J. For. Res.*46(6) 855 –868.

MANDALLAZ, D.; 1991.A unified approach to sampling theory for forest inventory based on infinite population and superpopulation models. Tesis doctoral.



MCROBERTS, R.E.; 2006. A model-based approach to estimating forest area. *Remote Sens. Environ.*103 (1) 56 – 66.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO; 2011. Cuarto Inventario Forestal Nacional. GALICIA. 55. Recuperado en 2025 de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/galicia_tcm30-531786.pdf.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO; 2024. Anuario de Estadística Forestal 2022. MITECO. 176. Madrid. Recuperado en 2025 de <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/estadisticas/aef2022/Anuario%20Estadistica%20Forestal%202022.pdf>.

NÆSSET, E.; BOLLANDSÅS, O.M.; GOBAKKEN, T.; GREGOIRE, T.G.; STÅHL, G.; 2013. Model-assisted estimation of change in forest biomass over an 11 year period in a sample survey supported by airborne LiDAR: A case study with post-stratification to provide “activity data”. *Remote Sens. Environ.*128 299 – 314.

PÉREZ-CRUZADO, C.; RODRÍGUEZ RUIZ, J.; MARTÍNEZ CALVO, A.; 2022. Pautas del inventario forestal y protocolo de campo para la Red Base definitiva. Proyecto IFCG. Dirección Xeral de Planificación e Ordenación Forestal, Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia. Recuperado en 2025 de https://invega.xunta.gal/invega/appdata/documents/Protocolo_IFCG_RB_v1_3_Esp.pdf.

PICOS, J.; 2024. A cadea forestal-madeira de Galicia 2023-2024*. Axencia Galega da Industria Forestal, Consellería do Medio Rural y Universidade de Vigo. 70. Recuperado en 2025 de <https://xera.xunta.gal/sites/default/files/Cadena%20Forestal%20Madera%202023%202024%20.pdf>.

R Core Team; 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.

SAARELA, S.; HOLM, S.; GRAFSTRÖM, A.; SCHNELL, S.; NÆSSET, E.; GREGOIRE, T.G.; NELSON, R.F.; STÅHL, G.; 2016. Hierarchical model-based inference for forest inventory utilizing three sources of information. *Ann. For. Sci.* 73 895 – 910.

SAARELA, S.; GRAFSTRÖM, A.; STÅHL, G.; KANGAS, A.; HOLOPAINEN, M.; TUOMINEN, S.; NORDKVIST, K.; HYYPPÄ, J.; 2015. Model-assisted estimation of growing stock volume using different combinations of LiDAR and Landsat data as auxiliary information. *Remote Sens. Environ.*158 431 – 440.

SÄRNDAL, C.E.; SWENSSON, B.; WRETMAN, J.; 1992. Model Assisted Survey



Sampling. Springer. New York.

SUKHATME, P.V.; SUKHATME, B.V.; 1970. Sampling theory of surveys with applications. Asia Pub. House.

TEIXIDO, A.L.; QUINTANILLA, L.G.; CARREÑO, F.; GUTIÉRREZ, D.; 2010. Impacts of changes in land use and fragmentation patterns on Atlantic coastal forests in northern Spain. *J. Environ. Manage.* 91(4)879 – 886.

TIMMERMANS, W.; ÓNEGA LÓPEZ, F.; TUBIO, J.M.; CRECENTE MASEDA, R.; 2015. A Complexity Perspective on Institutional Change: Dealing with Land Fragmentation in Galicia. *Soc. Evol. Hist.* 14(2) 77 – 107.

TOMPPO, E.; SCHADAUER, K.; MCROBERTS, R.E.; GSCHWANTNER, T.; GABLER, K.; STÅHL, G.; 2010. Introduction. En: TOMPPO, E.; GSCHWANTNER, T.; LAWRENCE, M.; MCROBERTS, R. (eds.): National Forest Inventories. 1 – 18. Springer. Dordrecht.

XUNTA DE GALICIA; 2025a. Inventario forestal continuo de Galicia. Recuperado en 2025 de <https://invega.xunta.gal/invega/>.

XUNTA DE GALICIA; 2025b. Sistema de indicadores de la administración forestal. Recuperado en 2025 de https://indicadores-forestal.xunta.gal/portal-bi-internet/dashboard/Dashboard.action#IOBSFOR_BI_073_INT0BSFOR_010-summary.