



9CFE-1773

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



Diseño cuantitativo de inventarios forestales multipropósito a gran escala: caso de estudio del inventario forestal continuo de Galicia

RODRÍGUEZ-RUIZ, J. (1), MARTÍNEZ-CALVO, A. (1), LÓPEZ-FERNÁNDEZ, M. (1), LOMBARDEO-BARRERA, D. (1) y PÉREZ-CRUZADO, C. (1)

(1) Proyectos y Planificación (PROEPLA), Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Campus Terra, Universidade de Santiago de Compostela.

Resumen

Tradicionalmente los inventarios forestales se han empleado para conocer los valores de superficie y existencias de los recursos forestales de un área geográfica concreta. En la actualidad, las necesidades de información que se demandan de los inventarios forestales son cada vez mayores dando lugar a lo que se conoce como inventarios forestales multipropósito. En estos existe una gran controversia a la hora de decidir qué variables medir y cómo medirlas debido a la limitación en los recursos disponibles. En este trabajo se presenta cómo ha sido este proceso de toma de decisiones en un inventario forestal multipropósito: el Inventario Forestal Continuo de Galicia (IFCG). En el caso del IFCG, se estableció un inventario piloto en el que se midieron parcelas rectangulares de 30x90 m dispuestas en una malla de 8x8 km sobre Galicia. Además, se realizó un control de calidad del trabajo de campo realizado, que permitió analizar la incertidumbre de cada variable registrada. El análisis cuantitativo de los resultados obtenidos tras todo este proceso sirvió para establecer prelación entre las variables recogidas en el inventario piloto y disponer de información objetiva, en base a lo cual se tomaron las principales decisiones sobre el diseño definitivo del IFCG.

Palabras clave

toma de decisiones, monitorización, optimización de recursos, control de calidad, inventario piloto.

1. Introducción

Los inventarios forestales son herramientas que permiten conocer los recursos en materia forestal que alberga un área determinada. En este sentido los inventarios forestales nacionales son cruciales para monitorizar los recursos del país (FAO 2015) En muchos casos son también sistemas de apoyo en la toma de decisiones, sobre todo en aquellas relacionadas con estrategias o políticas forestales y/o ambientales por parte de los órganos de gobernanza pertinentes.

En el pasado, el objetivo principal de los inventarios forestales era conocer los recursos madereros existentes en los montes y su calidad. Actualmente, la información demandada por parte de la sociedad es notablemente mayor y diversa, dando lugar a lo que se conoce como inventarios forestales multipropósito. Según IUFRO (2024) los inventarios forestales multipropósito son conceptos modernos de inventario forestal que apoyan una visión holística de los ecosistemas forestales mediante inventarios provenientes de múltiples fuentes, y en los que la información obtenida ayuda directamente a informar y evaluar el estado de los criterios e indicadores de sostenibilidad.

El diseño de inventarios forestales consiste en un proceso complejo que busca satisfacer todas aquellas necesidades que se demanden por parte del sector de la manera más eficiente posible. Para ello, es necesario consumir una gran cantidad



de recursos, los cuales dependen directamente de la información a recabar y al área sobre la cual se obtiene esta. Es por ello por lo que cuando se habla de inventarios forestales multipropósito el grado de complejidad aumenta sustancialmente a la hora de llevar a cabo su diseño. En muchos casos las necesidades que se demandan de los inventarios forestales multipropósito son cuantiosas o muy exigentes en términos de calidad, por lo que resulta inabordable su cumplimiento con los recursos existentes. Es en estas circunstancias cuando se debe iniciar un proceso de toma de decisiones lo más fundamentadas y objetivas posibles, sobre qué necesidades satisfacer o cómo hacerlo. Muchas veces estas decisiones se toman en base al conocimiento experto del equipo encargado del diseño o de experiencias previas similares que pudiese haber. Una premisa a tener en cuenta durante el proceso de diseño de inventarios forestales es que cualquier estimación va a tener una incertidumbre asociada (KANGAS, 1997; KANGAS, 1999), con lo cual el objetivo suele ser el de obtener estimaciones que no superen los niveles de incertidumbre que se establezcan para el inventario forestal con los menores costes posibles (KÖHL et al, 2011).

En el caso de los inventarios forestales se puede decir que existen dos alternativas a la hora de diseñar: por un lado, se puede adoptar o adaptar un diseño de inventario forestal ya existente que se ajuste a la población objetivo, o, por otro lado, realizar el diseño de una solución propia que se ajuste a las necesidades demandadas en mayor medida. MCROBERTS et al (2010) recogen gran cantidad de los diseños de inventarios forestales nacionales existentes en todo el mundo, que pueden aportar información de partida muy valiosa cuando se inicia el proceso de diseño. Hay que tener en cuenta, que cada vez más, los inventarios forestales son sistemas continuos y vivos que pueden mutar, de ahí que sea importante tener herramientas de control que monitoricen en todo momento el sistema. Para ello existe el control de calidad, que habitualmente consiste en procesos de revisión y vigilancia de la información que se obtiene de forma más o menos continua. Un ejemplo de las ventajas que presenta esta herramienta es que podemos conocer los errores de medición de los equipos de trabajo, por lo que podremos tomar las medidas pertinentes ante cualquiera desviación que se detecte antes de que esto perjudique considerablemente a las estimaciones. En este aspecto existen varios estudios que utilizan los errores de medición para el diseño de inventarios forestales o para analizar el efecto que tienen sobre las estimaciones (BERGER et al, 2014; PÉREZ-CRUZADO et al, 2017).

En Galicia, el sector forestal tiene gran relevancia representando el 1,9 % del Producto Interior Bruto (PIB) de la región. En gran medida, esto es debido a la gran cantidad de agentes que intervienen en el sector, desde múltiples empresas de primera y segunda transformación hasta pequeños propietarios forestales, lo que propicia que la demanda de información sobre los recursos que genera el monte sea elevada y variada. Además, el territorio gallego presenta una serie de particularidades como es el minifundismo, que ocasiona una gran cantidad de parcelas y muy pequeñas, o la gran tasa de cambio que tiene debido a los incendios, unas 20.000 ha/año (DIRECCIÓN XERAL DE DEFENSA DO MONTE, 2022), y los aprovechamientos madereros, unas 45.000 ha/año (DIRECCIÓN XERAL DE PLANIFICACIÓN E ORDENACIÓN FORESTAL, 2020), lo que origina una tasa de cambio de aproximadamente el 3,2 % anual. Debido a estas características de la geografía gallega, muchos de los sistemas implementados hasta el momento no lograban el grado de satisfacción de las necesidades demandado. Es por lo que, en el año 2020, tras un mandato político del gobierno autonómico gallego, se puso en



marcha el inventario forestal continuo de Galicia (IFCG) con el fin de dar cumplimiento a las necesidades que demandaba el sector. Hasta el momento, el IFCG ha constado de dos fases. La primera fase consistió en la caracterización de las necesidades del sector forestal gallego y la realización de un inventario piloto con el objetivo de caracterizar la población objetivo y todas sus particularidades. Tras esto, la segunda fase se centró en el establecimiento de un inventario forestal continuo adaptado a cada uno de los elementos caracterizados durante la primera fase.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es la obtención de una metodología que permita tomar decisiones de forma objetiva sobre las variables o grupos de variables a medir cuando se diseña un inventario forestal multipropósito, basándose en los datos recopilados durante el proceso de diseño del IFCG. Como objetivos secundarios se obtendrán una caracterización de los esfuerzos empleados en la medición de los distintos grupos de variables contemplados en este trabajo y una caracterización de los principales errores de medición.

3. Metodología

El área de estudio de este trabajo es la comunidad autónoma de Galicia en la que se ha establecido un inventario piloto durante el desarrollo del IFCG. En este inventario se estableció una red base situada sobre una malla sistemática de 8x8 km que cubre todo el territorio gallego generando un total de 462 puntos de muestreo. De estos, 117 puntos fueron descartados por tratarse de zonas no forestales, zonas no accesibles o zonas en la que la seguridad de los trabajos podía estar comprometida para los equipos de medición. Por lo tanto, el inventario piloto contó finalmente con los datos recopilados de 345 puntos de muestreo.

En cada uno de los puntos de muestreo se estableció una parcela rectangular de área fija (parcela R), cuyas dimensiones fueron de 30x90 m y en las que se orientó el lado largo de la parcela hacia el norte (Figura 1a). El vértice A (esquina inferior izquierda) de la parcela se correspondió con las coordenadas del punto de muestreo. De ser necesario, cada parcela R fue segmentada, in situ, por los equipos en unidades más pequeñas (subparcelas), en el caso de que se identificasen diferentes especies, diferentes estados de desarrollo o gestión, o diferentes usos del suelo. En cada una de estas subparcelas se registraron variables relativas a las características generales de la subparcela, a los árboles individuales, a la caracterización selvícola, y al estado sanitario. En un punto interior de cada subparcela, situado equidistante de forma visual a cada uno de los límites de la subparcela, se estableció una parcela circular de radio 5 m, llamada parcela C (Figura 1b). En las parcelas C se registraron variables relacionadas con los pies menores y regenerado y se realizaron transectos lineales de 5 m orientados hacia el norte con el fin de recopilar variables relacionadas con incendios. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de parcela R establecida para un punto de muestreo de la red base del inventario piloto, junto con cada una de las parcelas identificadas durante los trabajos de campo y las parcelas C asociadas a cada una de ellas.

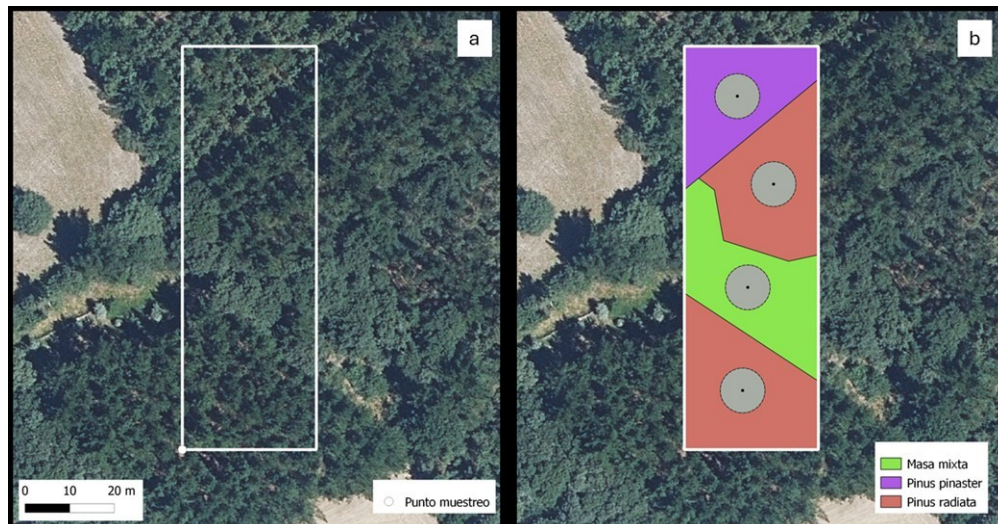


Figura 1. a) Imagen de una parcela R perteneciente a la red base empleada en el inventario piloto del IFCG. b) Segmentación de la parcela R en diferentes subparcelas, junto con sus respectivas parcelas C.

Durante este inventario piloto se elaboró un documento con las pautas de medición de las parcelas de campo del inventario piloto del IFCG, en el cual se recoge el diseño de muestreo, el diseño de parcela y todas las variables a medir dispuestas en los siguientes grupos según la información que proporcionan: Punto, Parcela, Básicas, Estaciones, Incendios, Daños, Selvícola, Pies mayores y Pies menores. Para cada uno de estos grupos se recogió la duración de las mediciones por parcela. Más detalles sobre el registro de variables, y cómo se realizó su medición por parte de los equipos de campo, se pueden encontrar en la última versión del protocolo del inventario piloto del IFCG (XUNTA DE GALICIA, 2024).

Los trabajos de medición fueron llevados a cabo por la Empresa Pública de Servicios Agrarios Gallegos (SEAGA), entre septiembre de 2020 y diciembre de 2021, tras recibir una actividad formativa impartida por la Universidade de Santiago de Compostela y en la que se expusieron el protocolo de campo y los procesos de medición en inventarios forestales. En paralelo a los trabajos de campo, se llevó a cabo un control de calidad implementado por la Universidade de Santiago de Compostela para verificar que se seguían adecuadamente las pautas establecidas en el protocolo de campo, asegurando así la calidad de los datos y además obteniendo información sobre los errores de medición. Durante este proceso de control de calidad, la Universidade de Santiago de Compostela ofrecía, de ser necesario, una formación adicional para mejorar la calidad de las mediciones realizadas por los equipos de campo de SEAGA. En el transcurso del control de calidad, el equipo de la Universidade de Santiago de Compostela realizó el control de calidad en un total de 64 parcelas, lo que supone un 14% de los 462 puntos iniciales. De estas, 34 parcelas fueron total o parcialmente medidas, suponiendo un 10% del total de parcelas medidas en el inventario piloto.

Por un lado, con los tiempos de medición de los trabajos, se caracterizó el esfuerzo expresado en tiempo de las mediciones de cada parcela y de cada uno de los grupos de variables. Para saber cuál de los grupos de variables fue el que consumió una mayor parte del tiempo en cada una de las parcelas medidas en el inventario piloto, se obtuvo el ratio (p_i), expresado en porcentaje, entre el tiempo de medición de cada grupo (t_g) y el total de tiempo de medición de la parcela (t_i), expresándose de la siguiente manera

$$pi = tg/tt \cdot 100.$$

(1)

Por otro lado, con los datos recogidos durante el control de calidad del inventario piloto del IFCG, se caracterizaron los errores de medición de diferentes variables pertenecientes a los distintos grupos de variables contemplados en este trabajo. En el caso de variables categóricas se emplearon matrices de confusión para evaluar la calidad de la información registrada por los equipos de medición. En cuanto a las variables numéricas se calculó el error relativo () expresándose como

$$er = (x_m - x_c) / x_c,$$

(2)

donde es el valor de la variable medida por los equipos de medición y es el valor de la variable medida durante el control de calidad. Se ha asumido que las mediciones hechas durante el control de calidad son los valores correctos, ya que estas se han realizado por equipos con una gran experiencia y de forma más pormenorizada y exhaustiva. Las variables sobre las que se han calculado el error se muestran en la Tabla 1

Tabla 1. Variables para las que se han calculado las matrices de confusión o los errores relativos.

Variable	Grupo	Definición
TIPO	Básicas	Variable categórica que define el uso del suelo
SUBTIPO	Básicas	Variable categórica que describe la especie en las subparcelas forestales arboladas, la formación de matorral en las subparcelas forestales desarboladas o el uso específico de suelo en las subparcelas no forestales
ORIGEN	Selvícola	Variable categórica que hace referencia a la forma de regeneración
ESTADO	Selvícola	Variable categórica que hace referencia a la fase natural de desarrollo del estrato arbóreo
ESPECIE	Pies mayores	Variable categórica que describe la especie a nivel árbol
d	Pies mayores	Variable numérica que define el diámetro normal del árbol
h	Pies mayores	Variable numérica que define la altura total del árbol

Todos los cálculos y gráficos fueron generados con el software *R* (R CORE TEAM, 2024).

4. Resultados

Tiempos de medición

La Figura 2 muestra la función de densidad estimada de las duraciones totales de medición de las parcelas R. El valor medio de duración obtenido fue de 10,37 horas, mientras que la mediana fue de 9,28 horas. La duración mínima obtenida para la medición completa de una parcela R ha sido de 0,55 horas, mientras que la duración máxima fue de 47,78 horas. La desviación típica fue de 7,21 horas. Como se puede observar en la figura no son muchas las parcelas que exceden las 20 horas de medición.

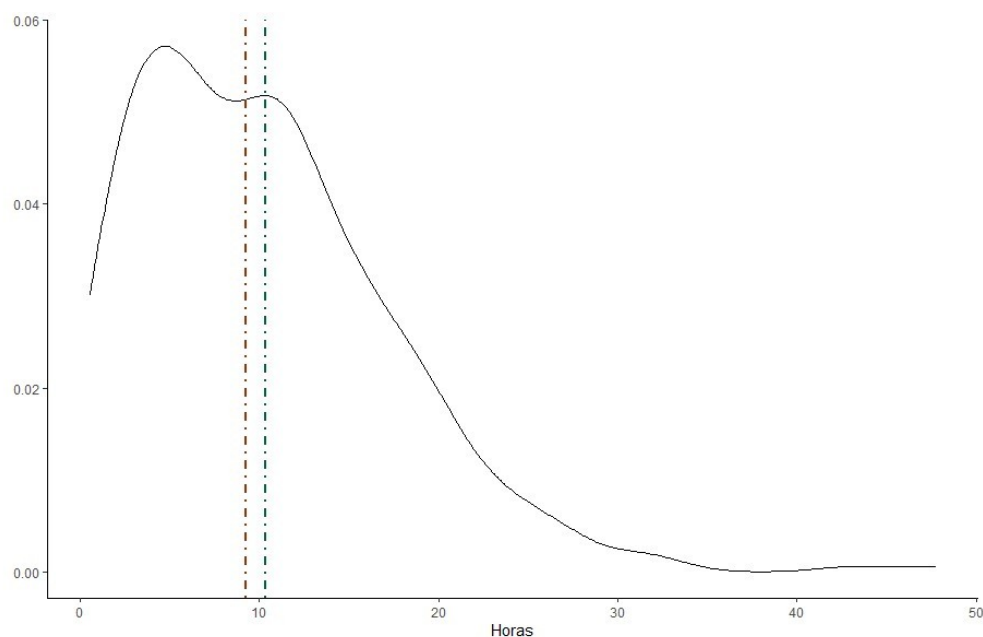


Figura 2. Función de densidad estimada de las duraciones de medición para las parcelas R expresadas en horas. La línea marrón representa la mediana y la línea verde la media.

En la Figura 3 se muestra un diagrama de violín con el calculado para cada grupo de variables. Como se puede observar el grupo de variables relacionado con los pies mayores (Pies mayores) fue el que presentó un mayor consumo del tiempo de medición en proporción al total del tiempo de medición de la parcela, con una media del 48,8%. Lo sigue el grupo donde se toman variables relacionadas con la localización de la parcela (Punto) con una media del 19,4%. El tercer lugar fue ocupado por el grupo en el que se toma variables relacionadas con los incendios (Incendios), con un valor medio del 13,8%. El grupo de variables que presentó un menor valor medio (3,5%) fue el relacionado con la caracterización selvícola de la parcela (Selvícola).

Tabla 2. Estadísticos de los tiempos de medición expresados en minutos para cada grupo de variables.

Grupo	Mín.	1er Q.	Mediana	Media	3er Q.	Máx.	Desv. típ.
Básicas	1	7	20	26	30	270	33
Daños	1	7	15	22	30	185	25
Estaciones	2	11	20	46	35	420	76
Incendios	8	28	50	68	90	533	61
Parcela	1	4	10	20	20	330	36
Pies mayores	2	150	325	401	550	2325	338
Pies menores	1	10	25	42	45	540	61
Punto	2	37	60	92	115	940	104
Selvícola	1	5	11	19	30	153	20

La Tabla 2 muestra los estadísticos de los tiempos de medición (en minutos) en términos absolutos. Como se puede observar volvió a ser el grupo de las variables relacionadas con los pies mayores quien presenta unos mayores tiempos de media en términos absolutos, 401 minutos. En segundo lugar, volvió a estar el grupo de Punto que arrojó una media de duración de las mediciones de 92 minutos, seguido por el grupo de Incendios con una media de 68 minutos por parcela. En este caso el grupo que presenta un menor valor medio fue el grupo Parcela, que es en el cual se recogen las variables que caracterizan de forma genérica cada subparcela.

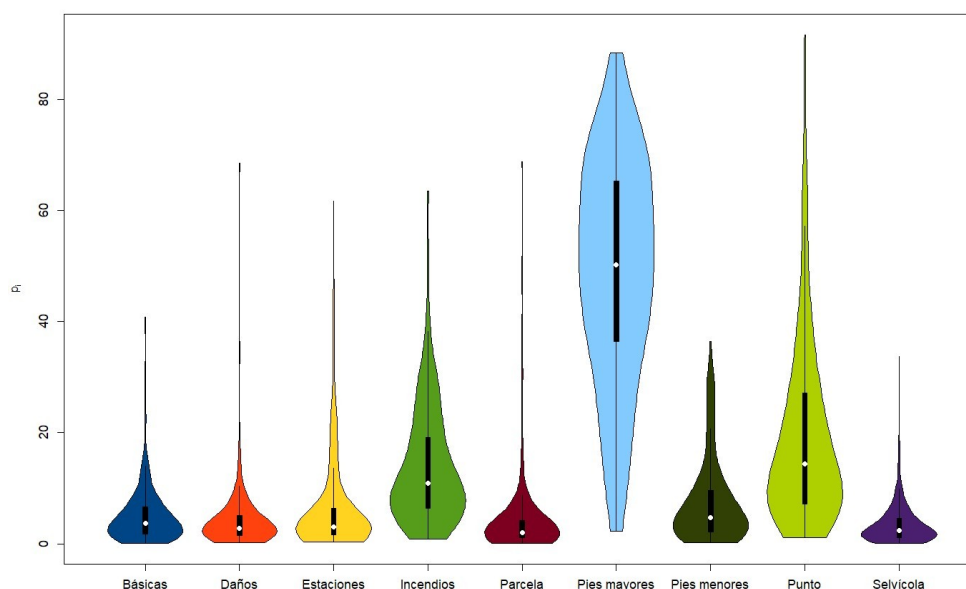


Figura 3. Diagrama de violín del ratio entre la duración de las mediciones para cada grupo de variables y la duración total de la medición de la parcela R expresado en porcentaje.

Control de calidad

La matriz de confusión para la variable cualitativa donde se determina si la subparcela es forestal arbolada, forestal desarbolada o no forestal se representa en la Figura 4. En ella se puede observar que el porcentaje de coincidencias entre lo clasificado por los equipos de medición (eje vertical) y lo clasificado por el equipo de control de calidad (eje horizontal) es alto. En los tres casos se superó el 80% de coincidencia, siendo el valor más elevado en la clase forestal arbolado, un 95,16%.

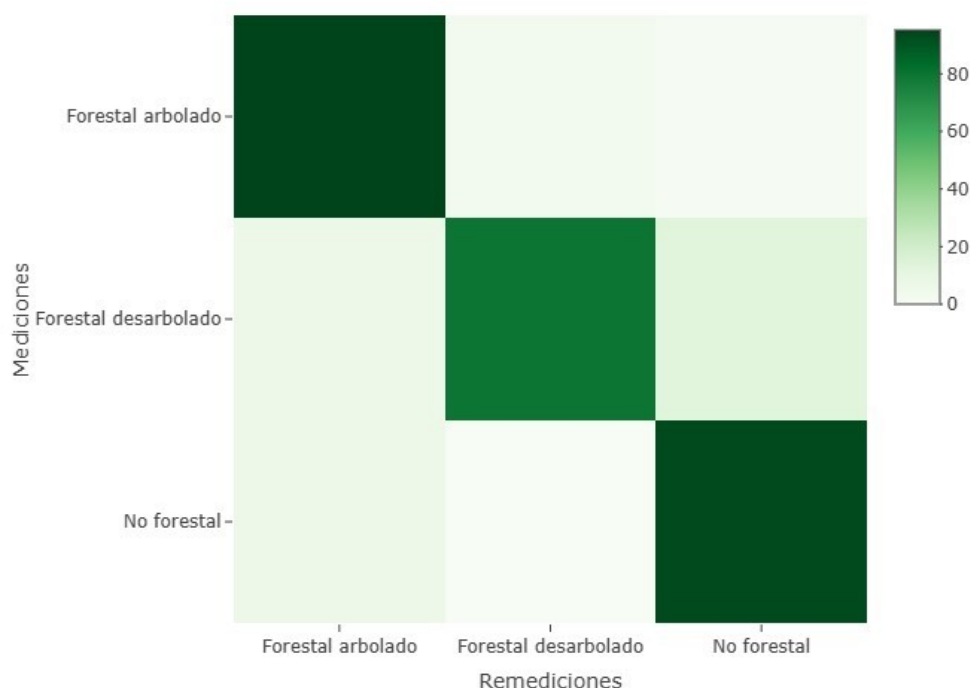


Figura 4. Matriz de confusión de la variable donde se determina si la subparcela es forestal arbolada, forestal desarbolada o no forestal.

En el caso de la variable que recoge la especie principal de la subparcela (Figura 5), se observó que para la mayor parte de los casos se obtuvieron unos porcentajes de coincidencia elevados. En el caso de las subparcelas forestales arboladas, las principales especies obtuvieron valores del 100% o muy próximos, excepto para la especie *Quercus robur* cuyo valor fue del 50%. Para las subparcelas forestales desarboladas, los porcentajes de coincidencia para las principales clases también fueron muy cercanas al 100%. En el caso de las subparcelas no forestales, los valores de coincidencia obtenidos fueron más bajos.

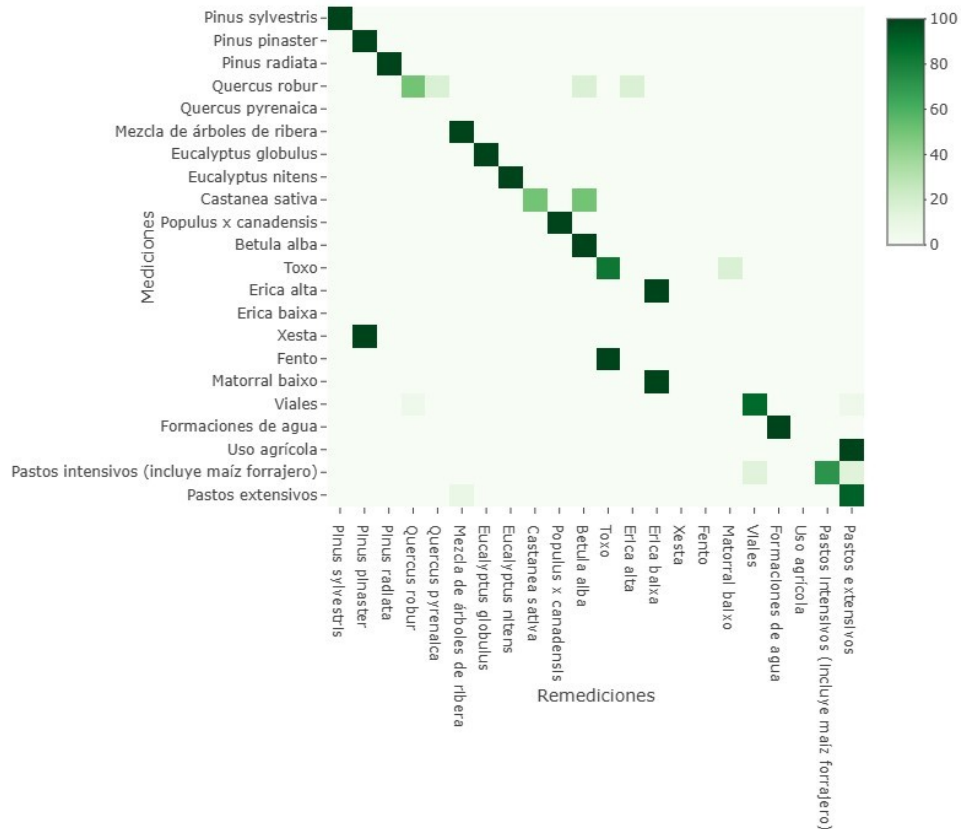


Figura 5. Matriz de confusión de la variable donde se recoge la especie del estrato mayoritario de la subparcela

La Figura 6 muestra la matriz de confusión en cuanto a la variable que determina el origen de la subparcela, solamente cuando estas son forestales arboladas. Como se puede ver en el caso de natural y artificial los porcentajes de coincidencia obtenidos fueron altos, 91,67% y 85,29%, respectivamente. Para el caso de naturalizado, solo el 50% de las subparcelas controladas coincidieron con las mediciones, siendo marcado el otro 50% como artificial por el equipo que realizaba el control de calidad.

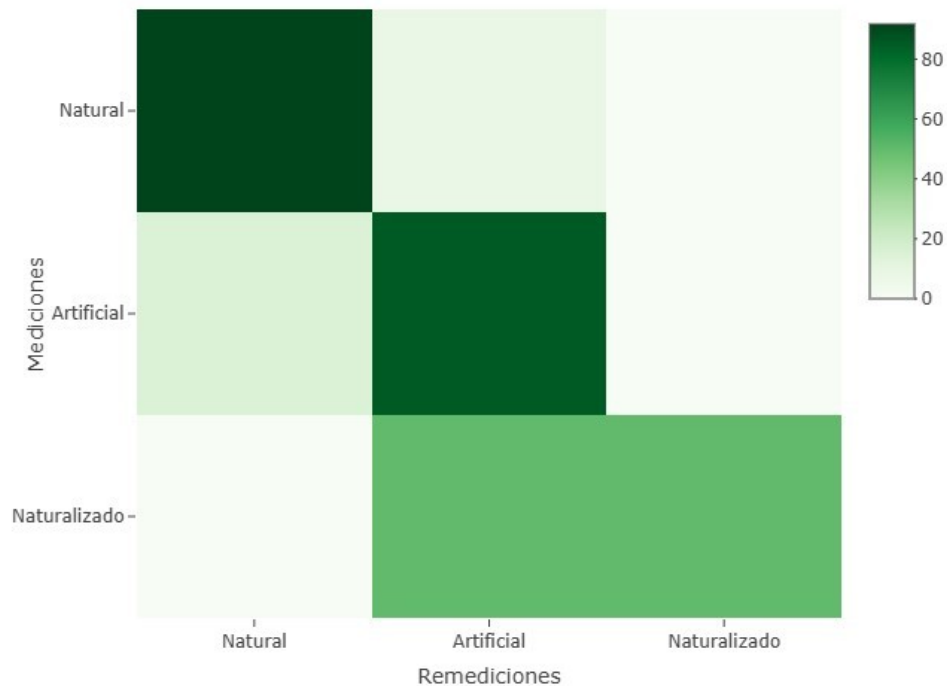


Figura 6. Matriz de confusión para la variable referente al origen de las subparcelas forestales arboladas

En la variable que describe el estado selvícola de la subparcela forestal arbolada, los porcentajes de coincidencia entre las mediciones y el control de calidad fueron bastante diferentes entre sí para cada una de las clases (Figura 7). El mayor porcentaje se obtuvo en la clase Fustal con un valor del 73,33%, seguido de Latizal con un 63,64%. Para las clases de monte bravo y repoblado los valores estuvieron por debajo del 50%.

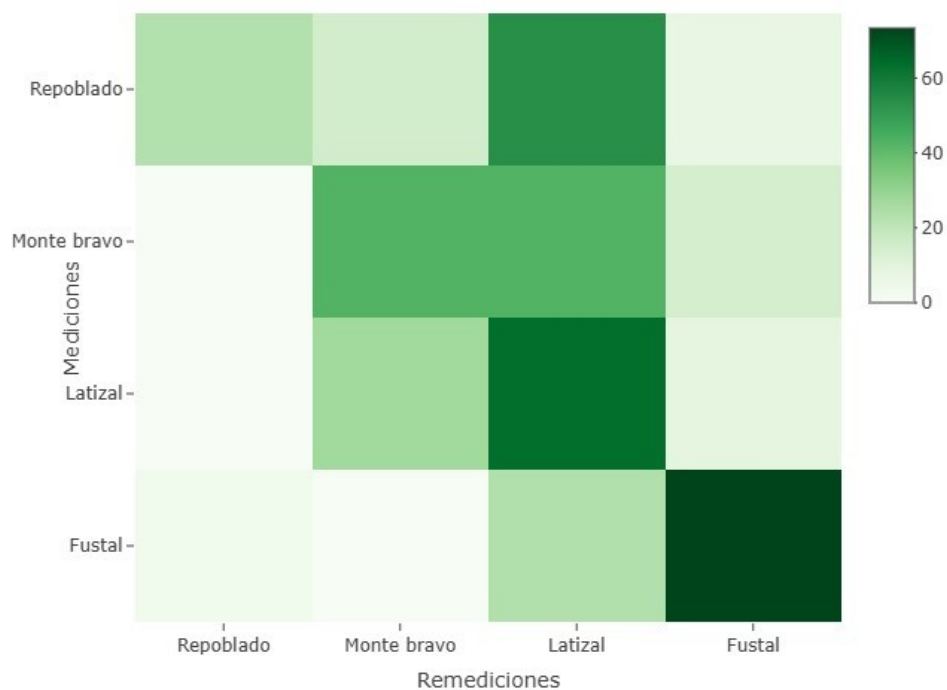


Figura 7. Matriz de confusión para la variable que toma el estado selvícola de las

subparcelas forestales arboladas.

A nivel árbol individual y dentro del grupo de variables de pies mayores los valores de error obtenidos en cuanto a la identificación botánica de cada árbol se muestran en la Figura 8. Como se puede observar en términos generales, los porcentajes de coincidencia fueron elevados en la mayoría de los casos. Para las principales especies de Galicia los valores fueron el 100% o muy cercanos, excepto para las especies *Quercus robur* y *Quercus pyrenaica* que se encontraron algo por debajo del 75%.

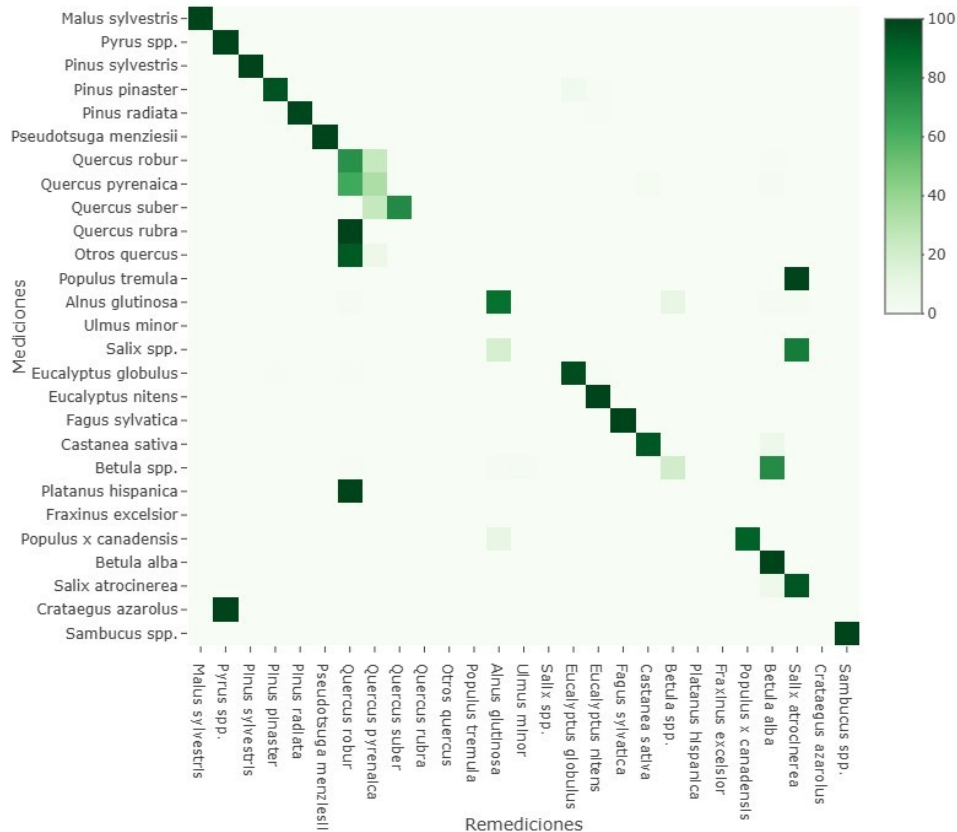


Figura 8. Matriz de confusión para la identificación botánica de cada árbol individual.

La Figura 9 muestra los resultados obtenidos en cuanto al error relativo de medición para el diámetro normal. Como se puede observar la mayor parte de los errores relativos en diámetro se encuentran por debajo del 0,5% en términos absolutos. La media del error relativo resultante fue de -0,0084%, mientras que el valor de la mediana fue de -0,0103%.

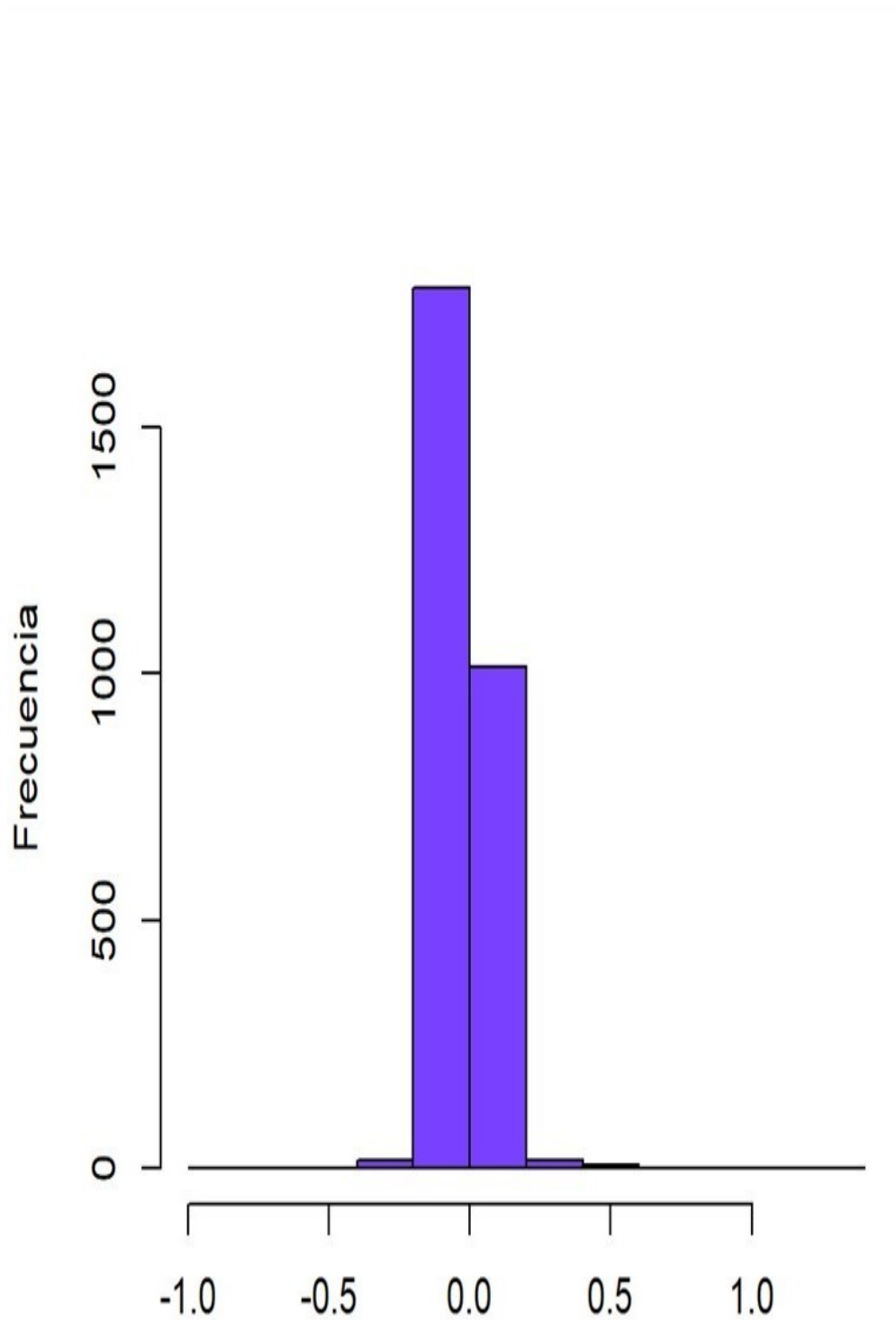


Figura 9. Histograma del error relativo de medición para el diámetro normal (%).

Para el caso de la altura, los resultados obtenidos en cuanto al error relativo se muestran en la Figura 10, donde se puede ver que ocurrió algo similar al diámetro normal, encontrándose la mayor parte de los errores por debajo del 0.5% en términos absolutos. La media obtenida fue de -0,0135 y la mediana fue -0,0255.

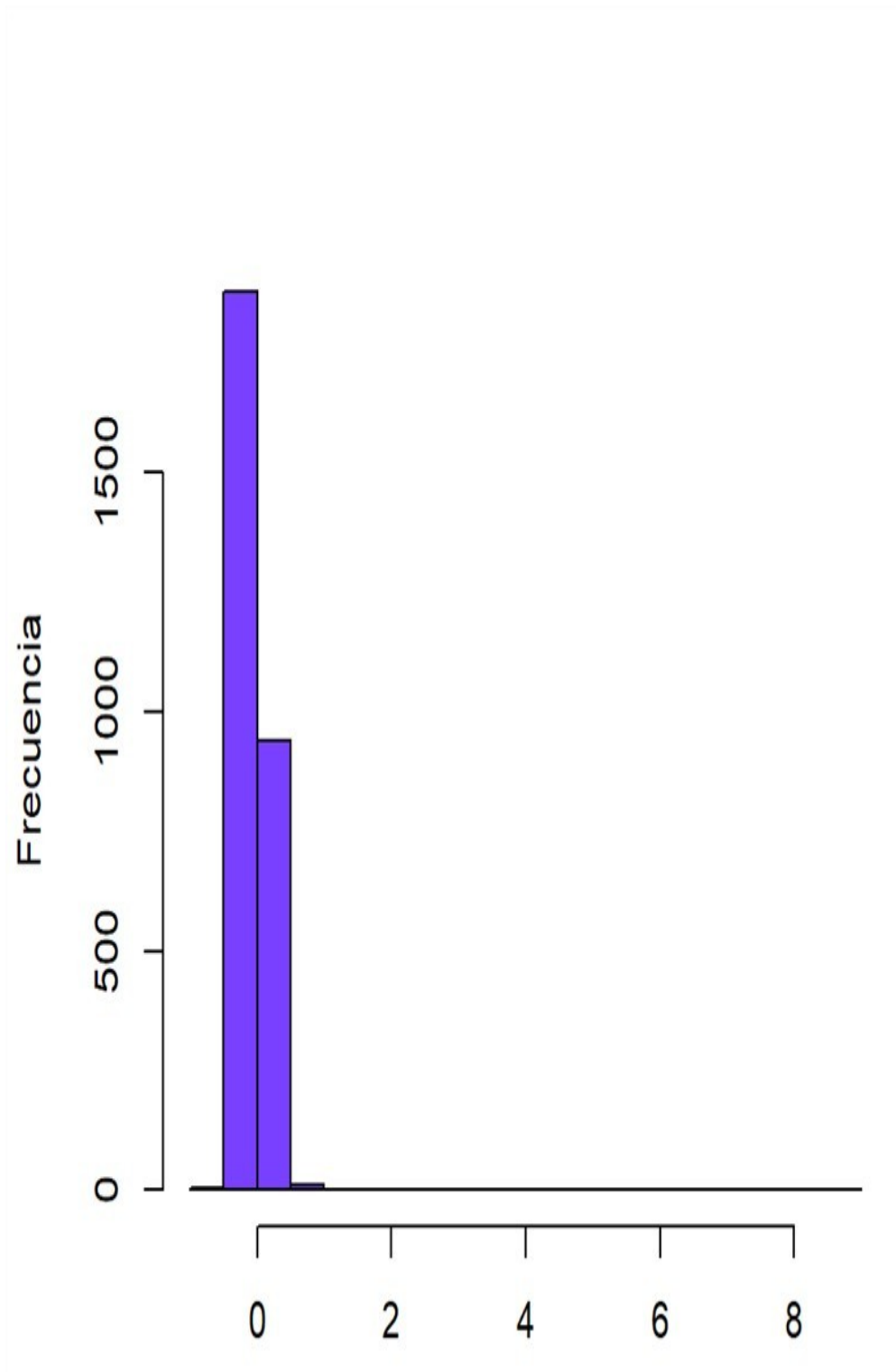


Figura 10. Histograma del error relativo para la altura total (%).

5. Discusión

La interoperabilidad y resiliencia son dos características que deben presentar los inventarios forestales multipropósito modernos en aras de aumentar la eficiencia y eficacia del sistema. En los momentos actuales, con un panorama cada vez más digitalizado, son multitud las bases de datos y fuentes de información disponibles que pueden ser objeto de inclusión en los inventarios forestales multipropósito. En



consecuencia, el diseño debe contemplar estas fuentes y hacer que el sistema pueda incorporarlas en función de sus necesidades. Por otro lado, la evolución de la tecnología ha hecho que la transferencia de los resultados sea más efectiva y trascendente haciendo que estos sean más accesibles e inmediatos. En este sentido, los usuarios finales de la información pueden transmitir si el grado de cumplimiento de las necesidades es aceptable o no, pudiendo muchas veces plantear nuevas necesidades o definirlas mejor al poseer un producto tangible. Es por lo que el diseño de los inventarios forestales debe ser resiliente adaptándose a nuevas necesidades y también a otros muchos paradigmas como puede ser la falta de un recurso o la aparición de una nueva tecnología. Tal es así que, la Comisión Europea ha lanzado en el año 2023 una propuesta de reglamento del parlamento europeo y del consejo sobre un marco de seguimiento para lograr unos bosques europeos resilientes (UNIÓN EUROPEA, 2023), buscando la armonización de los inventarios forestales nacionales existentes en el marco de la Unión Europea. A este respecto los controles de calidad, y más concretamente el conocimiento de los recursos consumidos durante cada etapa del inventario forestal y la caracterización de los errores de medición, son aspectos claves a la hora de obtener un sistema resiliente, ya que nos permiten tomar decisiones sobre la adaptación a las nuevas circunstancias que se presenten.

En este sentido los resultados obtenidos en este estudio permiten conocer y monitorizar los aspectos comentados anteriormente para apoyar la toma de decisiones sobre cuestiones futuras que se pudiesen plantear en el marco del IFCG. En los tiempos de medición obtenidos durante el inventario piloto del IFCG, se observó que el grupo que contiene las variables de pies mayores, es decir, las que se miden a nivel de árbol individual, ha sido el que ha presentado una mayor proporción de tiempo consumido respecto al total de la medición de la parcela. Es algo que cabría esperar ya que el número de registros que se hace en este grupo de variables es notablemente superior al que se puede hacer en cualquiera de los otros grupos que se hacen a nivel de parcela o subparcela. Además, también ha sido el grupo que ha presentado una mayor variabilidad en las duraciones y porcentajes relativos. Esto puede ser debido a la gran variabilidad que se produce entre los estratos forestales muestreados, y más concretamente en la densidad de estos, ya que esta afecta de forma directa al número de registros a medir por variable.

Como se ha visto anteriormente, el grupo de las variables de punto es el segundo en tener unos mayores valores de tiempos consumidos por parcela. Esto podría estar motivado por dos factores principalmente: uno relacionado con el diseño de parcela escogido en este inventario piloto y otro con el entorno de trabajo sobre el que se realizan las mediciones. Las parcelas rectangulares son una tipología de parcelas que a la hora de replantarlas en el medio forestal tienen una serie de desventajas con respecto a las circulares, por ejemplo. Las parcelas circulares solo tienen un punto de replanteo (el centro), una menor relación perímetro/área lo que facilita los criterios de inclusión y exclusión a nivel árbol y la determinación de las posiciones de los árboles es más sencilla (MCROBERTS et al, 2015). Otros autores también concluyeron que las parcelas circulares son más eficientes y su medición es más rápida que las rectangulares (PAUDEL & MANDAL, 2019). En este sentido, la medición de las coordenadas de los vértices de una parcela rectangular cuadruplica como mínimo el tiempo de medición con respecto a las circulares. Pero además de esto, en este caso, debido al entorno de trabajo y a las dimensiones de la parcela, hay una gran probabilidad de que existan oclusiones intermedias



que compliquen la operativa de replanteo de la parcela, sobre todo en los bordes largos de la misma. Por otro lado, la georreferenciación de las parcelas en los medios forestales resulta un proceso arduo y tedioso debido a la baja cobertura satelital o móvil que puede haber, sobre todo en aquellas masas con una gran cobertura forestal, complicando así más el proceso.

En contraposición, los grupos de variables que presentaron unos menores consumos de tiempo fueron Selvícola y Parcela. Se trata de un resultado esperable, ya que estos registros son hechos a nivel subparcela y contemplan básicamente variables categóricas o de estimación visual, por lo que el número de registros está condicionado principalmente a la fragmentación en estratos que pueda haber en la parcela. El grupo de Daños, cuyas variables son también todas categóricas, mostró un valor superior de media en las duraciones, esto puede ser debido a que los equipos de trabajo tienen una menor habilidad en la medición de este tipo de variables.

La caracterización de los errores es uno de los componentes principales a la hora de monitorizar el desarrollo de un inventario forestal. En este estudio, se ha visto que en términos generales los errores de medición han sido aceptables. Las variables categóricas son las que mostraron una mayor variabilidad en los resultados. Esto puede ser debido a que parte de las definiciones sobre las clases consideradas no sean lo suficientemente clara o precisas, dejando camino a la subjetividad. De acuerdo con esto, es importante realizar jornadas formativas y de calibración de los equipos de campo cuando se encuentren desviaciones considerables para homogeneizar el criterio en este tipo de variables. De acuerdo con PRODAN et al (1997) los errores de medición pueden reducirse mejorando la formación y supervisión del personal de campo.

En este trabajo se han caracterizado los errores de las principales variables de los grupos Básicas, Selvícola y Pies mayores. En el caso de Básicas y Selvícola se escogieron estos grupos porque presentan información de gran interés a la hora de caracterizar la población en términos forestales, además de presentar unos tiempos, relativamente bajos en ambos casos, ya que tiempos bajos de medición pueden indicar que no se hayan dedicado los esfuerzos suficientes a la medición afectando así a la calidad. En el caso Pies mayores, se trata del grupo con una mayor duración media, por lo que se ha estudiado con el fin de evaluar la calidad de las mediciones como justificación de los recursos empleados. En los tres casos evaluados, los tres grupos de variables presentaron una buena calidad de las mediciones, con algún pequeño matiz en las identificaciones botánicas del género *Quercus*. Por otro lado, las variables numéricas (diámetro normal y altura) han tenido unos valores medios de error de medición muy próximos a cero y con una baja variabilidad. Algunas desviaciones observadas extremadamente elevadas probablemente sean debidas a errores de transcripción a la hora de registrar los datos. Los errores de medición juegan un papel importante en las estimaciones finales y han sido objeto de estudio en varios trabajos relacionados con las estimaciones finales y la modelización de estos (HAARA, 2003; PHILLIPS et al, 2000; PEREZ-CRUZADO et al, 2017), denotando así la importancia que tiene su caracterización.

6. Conclusiones

En este trabajo se caracterizaron los esfuerzos consumidos durante las mediciones del inventario piloto del IFCG y los errores de medición de algunas de las principales variables. La caracterización de la duración de las mediciones ha



puesto de manifiesto cuales son aquellos grupos de variables que consumen una mayor parte del tiempo de medición y sobre los cuales se debe poner foco. En el caso estudiado, estas variables han sido las relacionadas con la medición a nivel de árbol individual. En cuanto a los errores de medición relativos a variables categóricas, los porcentajes de coincidencias obtenidos fueron bastante elevados. Los errores en identificación botánica a nivel árbol sobre las especies principales de los géneros *Pinus* y *Eucalyptus* fueron más bajos que en las especies principales del género *Quercus*. En el caso de las dos variables numéricas analizadas en este trabajo (diámetro normal y altura), ambas presentaron unos valores de error de medición extraordinariamente bajos. En el caso del diámetro normal estos valores fueron ligeramente mejores que en la altura total.

7. Agradecimientos

Las investigaciones del presente trabajo han sido financiadas en el marco del proyecto “Desarrollo del inventario forestal continuo de Galicia” (2020-CP3031). El autor principal de este trabajo ha sido financiado mediante un contrato predoctoral del Campus Terra.

8. Bibliografía

BERGER, A.; GSCHWANTNER, T.; MCROBERTS, R. E.; SCHADAUER, K.; 2014. Effects of measurement errors on individual tree stem volume estimates for the Austrian National Forest Inventory. *For. Sci.* 60(1) 14-24.

DIRECCIÓN XERAL DE DEFENSA DO MONTE; 2022. Memoria PLADIGA 2022. Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia. Recuperado en 2024 de https://mediorural.xunta.gal/sites/default/files/temas/forestal/pladiga/2022/01_Memoria_Pladiga_2022_Cast.pdf

DIRECCIÓN XERAL DE PLANIFICACIÓN E ORDENACIÓN FORESTAL; 2020. Anuario de Estadística Forestal de Galicia 2019. Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia. Recuperado en 2024 de https://mediorural.xunta.gal/sites/default/files/temas/forestal/estadistica/2020_AEF_doc_de_traballo_IMPRESION.pdf

FAO; 2015. Knowledge reference for national forest assessment. Food and agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia.

HAARA, A.; 2003. Comparing Simulation Methods for Modelling the Errors of Stand Inventory Data. *Silva Fenn.* 37(4) 477-491.

IUFRO; 2024. Working party 4.02.02 Multipurpose inventories. IUFRO Headquarters. Recuperado en 2025 de <https://www.iufro.org/divisions/40000-forest-assessment-modeling-and-management/40200-forest-resources-inventory-and-monitoring/40202-multipurpose-inventories>

KANGAS, A. S.; 1997. On the prediction bias and variance in long-term growth projections. *For. Ecol. Manag.* 96(3) 207-216.

KANGAS, A. S.; 1999. Methods for assessing uncertainty of growth and yield predictions. *Can. J. For.* 29(9) 1357-1364.

KÖHL, M.; LISTER, A.; SCOTT, C. T.; BALDAUF, T.; PLUGGE, D.; 2011. Implications of sampling design and sample size for national carbon accounting systems. *Carbon Balance and Management* 6 1-20.

MCROBERTS, R. E.; TOMPPO, E. O.; NÆSSET, E.; 2010. Advances and emerging issues in national forest inventories. *Scand. J. For. Res.* 25(4) 368-381.



MCROBERTS, R. E.; TOMPPA, E. O.; CZAPLEWSKI, R. L.; 2015. Sampling designs for national forest assessments. *knowledge reference for national forest assessments* 23-40.

PAUDEL, P.; MANDAL, R.; 2019. Comparing growing stock using circular, square and rectangular plots shape in inventory (A study from Community Forests in Chitwan District, Nepal). *OAJESS* 4(1) 448-454.

PÉREZ-CRUZADO, C.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J. G.; MAGDON, P.; SARODJA, D.; FHERMANN, L.; KLEINN, C.; 2017. Propagación de errores en el inventario de biomasa en bosques naturales: efecto de las distintas fuentes de incertidumbre. 7º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales.

PHILLIPS, D. L.; BROWN, S. L.; SCHROEDER, P. E.; BIRDSEY, R. A.; 2000. Toward error analysis of large-scale forest carbon budgets. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 9(4) 305-313.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P.; 1997. *Mensura Forestal*. Instituto Interamericano de Cooperación Para La Agricultura, San José (Costa Rica). ISBN: 92-9039-304

R CORE TEAM; 2024. *_R: A Language and Environment for Statistical Computing* _R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

UNIÓN EUROPEA; 2023. Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo sobre un marco de seguimiento para lograr unos bosques europeos resilientes. EUR-lex. Recuperado en 2024 de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=COM%3A2023%3A728%3AFIN>