



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
julio · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

Simulación de la productividad de recursos no maderables (hongos y piñón) bajo diferentes escenarios silvícolas utilizando SIMANFOR

VÁZQUEZ-VELOSO, A.^{1,2}, ORDÓÑEZ, A.C.^{1,2}, BRAVO, F.^{1,2}

¹ Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (iuFOR) Universidad de Valladolid – INIA.

² Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales, ETS de Ingenierías Agrarias de Palencia, Universidad de Valladolid.

Resumen

SIMANFOR es una herramienta que permite la simulación de alternativas de gestión forestal para diferentes especies y localizaciones. El objetivo principal de la plataforma es el conocimiento de la evolución de las masas forestales bajo diferentes escenarios, respaldando la toma de decisiones con información de productividad. En ocasiones, resulta interesante conocer la producción de recursos no maderables, cuyo valor puede superar al de la madera, pasando a ser el recurso principal de la masa. SIMANFOR nos permite utilizar fácilmente modelos que estiman la producción de hongos (*Pinus pinaster mesogeensis*, *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*) y piñón (*Pinus pinea*), sin dejar de conocer la producción de madera de la masa y otras variables de interés. Este trabajo analiza diversos modelos de gestión silvícola reales para conocer la viabilidad, en términos de producción, de estos recursos no maderables. Los resultados nos permiten conocer qué tipo de gestión supone una mayor producción de hongos y piñón, traduciéndose en mayores ingresos económicos al final de turno. Por otro lado, para aquellos escenarios con un propósito principal no productivo (defensa contra incendios o plagas forestales), estos modelos nos permiten conocer si la explotación de estos recursos es viable desde el punto de vista económico.

Palabras clave

Lactarius, *Pinus pinea*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*.

1 Introducción

La gestión forestal es el proceso de planificación y ejecución de actividades sobre las masas forestales con la finalidad de alcanzar un objetivo propuesto. Por otra parte, la gestión forestal sostenible es aquel tipo de gestión que pretende garantizar la producción de recursos a lo largo del tiempo, evitando además daños a la naturaleza. Para garantizar esta sostenibilidad, son necesarias herramientas que permitan planificar y respaldar la toma de decisiones de los gestores. Con este fin, en España se han desarrollado herramientas muy variadas. Es el caso del Inventario Forestal Nacional (IFN) (ALBERDI et al., 2016; BRAVO et al., 2002), la mayor base de datos forestal permanente del país, que permite tanto conocer el estado de las masas forestales de nuestro territorio como su evolución mediante sus sucesivas ediciones. Además, herramientas como el Explorador Forestal (VEGA-GORGOJO et al., 2021) permiten reducir la dificultad que supone trabajar con este tipo de bases de datos a los usuarios. Otro tipo de herramientas son los escenarios silvícolas, recogidos en publicaciones como NICOLAU et al. (2017), que conforman “recetas” que permiten a los gestores tener una silvicultura de referencia para las distintas características y objetivos de su masa. Por último, los simuladores forestales son la herramienta que permite combinar toda esta información para realizar estimaciones del estado presente y futuro de una masa forestal, permitiendo comparar qué tipo de gestión es la más adecuada para cada fin. Estos se componen de modelos forestales como IBERO^{PT} e IBERO^{PS} (LIZARRALDE et al., 2010a, 2010b), que a su vez se construyen a partir de ecuaciones de cálculo para distintas variables (BRAVO et al., 2011), y que se programan siguiendo un orden cálculo correcto, de manera que las variables necesarias para una

determinada ecuación sean calculadas anteriormente, evitando errores por falta de datos. Actualmente existen simuladores con finalidades muy diferentes, como la de cubicación y clasificación de productos forestales (RODRÍGUEZ et al., 2008); gestión de una especie forestal y sus masas (MADRIGAL et al., 2009); simuladores de crecimiento y producción de rodales forestales (ARANDA et al., 2009; GONZÁLEZ et al., 2012), e incluso simuladores que permiten optimizar la gestión forestal adaptada al cambio climático (NADAL et al., 2014). No obstante, la mayoría de estos simuladores se centran en la producción de madera como producto forestal típico, mientras que la realidad nos hace saber que hay otros recursos forestales no maderables que pueden ser de igual o mayor importancia que la madera. Es el caso de frutos como la castaña o el piñón, productos como la resina o el corcho, y otros recursos como el forraje o los hongos, que en determinadas ocasiones suponen el principal aprovechamiento de las masas forestales.

En este contexto, este estudio trata de analizar la producción de dos recursos forestales no maderables, los hongos y el piñón, bajo distintos escenarios silvícolas. Para ello se utilizan los datos de las ediciones 2 y 3 del IFN (ALBERDI et al., 2016; BRAVO et al., 2002), escenarios silvícolas con distintos objetivos (NICOLAU et al., 2017), y el simulador SIMANFOR (BRAVO et al., 2010, 2012; SIMANFOR, 2021), habiéndolo elegido por incorporar cálculos de recursos no maderables dentro de algunos de sus modelos. Los resultados demuestran qué escenarios silvícolas se adaptan mejor a cada tipo de producto, así como la viabilidad de utilizar SIMANFOR para el cálculo de recursos forestales no maderables.

2 Objetivos

Los objetivos del presente estudio son:

- comparar escenarios silvícolas con distintos objetivos para conocer la magnitud de su producción en cuanto a hongos y piñón
- comprobar la viabilidad de SIMANFOR para realizar simulaciones para productos no maderables

3 Metodología

La herramienta utilizada para el desarrollo de las simulaciones ha sido SIMANFOR (BRAVO et al., 2010, 2012; SIMANFOR, 2021). Este simulador de gestión forestal permite el uso de diversos modelos de crecimiento forestal, tanto de árbol individual como de masa, para conocer la evolución de las masas forestales bajo distintos tipos de gestión. Además de las variables de masa generales, SIMANFOR nos permite conocer tanto la producción maderable como la de recursos no maderables asociados a la masa forestal, como son los hongos y el piñón. En este trabajo, se utilizan los modelos de crecimiento de árbol individual para *Pinus nigra*, *P. sylvestris* y *P. pinea* desarrollados para Cataluña, y un modelo de crecimiento de masa para *Pinus pinaster mesogeensis* desarrollado para toda la Península Ibérica. En dichos modelos, las ecuaciones que calculan la producción de hongos comerciales se obtuvieron de PALAHÍ et al. (2009) para el modelo de *P. nigra* y *P. sylvestris*; de BONET et al. (2008) para los *Lactarius* comerciales de *P. sylvestris*; de HERRERO et al. (2019) para el modelo de *P. pinaster mesogeensis*; y de CALAMA et al. (2008) y CALAMA & MONTERO (2007) para la biomasa de piñas sanas en el modelo de *P. pinea*. Aunque en cada modelo se calcula más de una variable de producción, se ha decidido seleccionar tan solo una de ellas para este estudio, siendo la considerada de mayor interés de cara a la gestión forestal.

Para la ejecución de las simulaciones se han utilizado los datos de parcelas permanentes de las ediciones 2 y 3 del Inventario Forestal Nacional (IFN) (ALBERDI et al., 2016; BRAVO et al., 2002). Tras un primer procesado de los datos, se han filtrado aquellas parcelas cuya información de especie principal y localización se corresponde con la de los modelos a estudiar (la localización es Cataluña para todos los casos, incluido el modelo de *Pinus pinaster mesogeensis*), utilizando para ello R (R CORE TEAM, 2019). Siendo la variable “edad de la masa” imprescindible para los modelos utilizados debido a las ecuaciones que los componen, y estando escasamente disponible en el IFN, el tamaño

muestral a emplear para cada caso de estudio ha resultado ser reducido. Aun así, este suficiente para conocer las tendencias de cada escenario. Por otro lado, los datos climáticos utilizados en el modelo de *Pinus pinaster mesogeensis* han sido extraídos de la publicación original de sus ecuaciones de hongos (HERRERO et al., 2019).

Los escenarios silvícolas utilizados han sido obtenidos de ORGEST (NICOLAU et al., 2017), programando para cada modelo escenarios con distintas finalidades y un escenario control donde no se aplican cortas. Estos modelos de gestión son específicos de cada una de las especies y orientados a ser empleados en Cataluña con finalidades diferentes. En la Tabla 1 se puede consultar un resumen de los mismos.

Tabla 1. Resumen de los escenarios silvícolas utilizados (no se muestran escenarios control).

Modelo	Especie	Parcelas IFN	Escenario	Finalidad del escenario
<i>Pinus nigra</i> para masas forestales de Cataluña – modelo de árbol individual	<i>Pinus nigra</i> Arnold	10	Pn06 (BELTRÁN et al., 2012)	Producción de madera comercial
			Pn08 (BELTRÁN et al., 2012)	Aumento de la resistencia al fuego
<i>Pinus sylvestris</i> para plantaciones forestales de Cataluña – modelo de árbol individual	<i>Pinus sylvestris</i> L.	22	Ps08 (PIQUÉ et al., 2011)	Producción de madera comercial
			Ps11 (PIQUÉ et al., 2011)	Aumento de la resistencia al fuego
<i>Pinus pinaster mesogeensis</i> para masas forestales de la Península Ibérica - modelo de masa	<i>Pinus pinaster mesogeensis</i> Ait.	7	Ppr01 (VERICAT et al., 2014)	Producción de madera de alta calidad con diámetro final ~45 cm
			Ppr02 (VERICAT et al., 2014)	Producción de madera de alta calidad o comercial con diámetro final ~35-40 cm
			Ppr03 (VERICAT et al., 2014)	Producción de madera comercial con diámetro final ~30-35 cm
			Ppa05 (PIQUÉ et al., 2015)	Producción de madera comercial
<i>Pinus pinea</i> para masas forestales de Cataluña – modelo de árbol individual	<i>Pinus pinea</i> L.	10	Ppa06 (PIQUÉ et al., 2015)	Producción de piña
			Ppa07 (PIQUÉ et al., 2015)	Aumento de la resistencia al fuego

Nota: los colores con los que se resalta cada escenario silvícola son los mismos que los que se muestran en sus figuras.

Los resultados de las simulaciones han sido analizados y graficados con R (R CORE TEAM, 2019). Dado que se han utilizado parcelas reales con condiciones iniciales diferentes, se ha promediado la evolución de todas ellas para cada uno de los escenarios propuestos.

4 Resultados

Los resultados obtenidos nos permiten visualizar diferencias claras en la producción de recursos no maderables a lo largo de los diferentes casos de estudio.

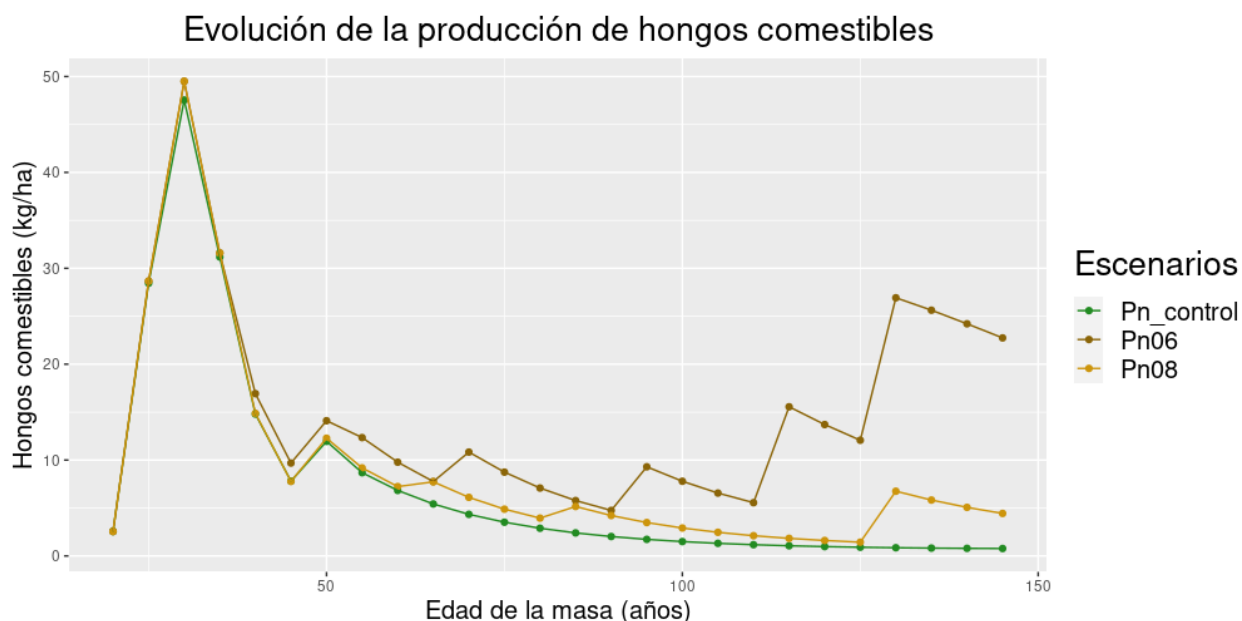


Figura 1. Producción de hongos comerciales para los escenarios estudiados de *Pinus nigra*: escenario control (Pn_control), de producción de madera comercial (Pn06), y de resistencia a incendios forestales (Pn08).

La producción de hongos en masas de *Pinus nigra* y *P. sylvestris* siguen tendencias muy parejas. Mientras que inicialmente los modelos Pn08 y Ps11 (ambos de aumento de la resistencia al fuego) muestran una mayor producción tanto de hongos comestibles (Figura 1 y Figura 2A), a medida que la masa madura, los escenarios Pn06 y Ps08 (producción de madera comercial) pasan a mostrar producciones mayores que los anteriores. Para el caso concreto de *P. sylvestris*, la producción de hongos comerciales del género *Lactarius* (Figura 2B) muestra tendencias similares a las anteriores. Mientras que las producciones del escenario Ps08 son más bajas que las del escenario Ps11 hasta aproximadamente 100 años de edad, la silvicultura de ambos escenarios comienza a reducir la densidad de la masa y las producciones se homogeneizan, superando finalmente el escenario Ps08 al Ps11.

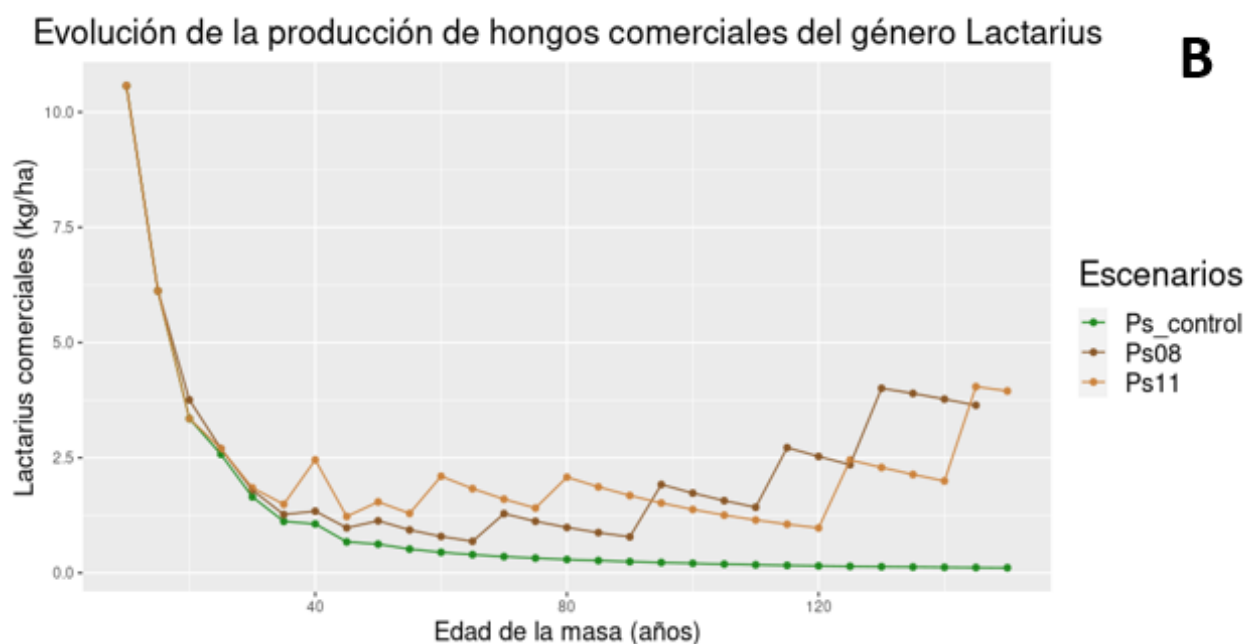
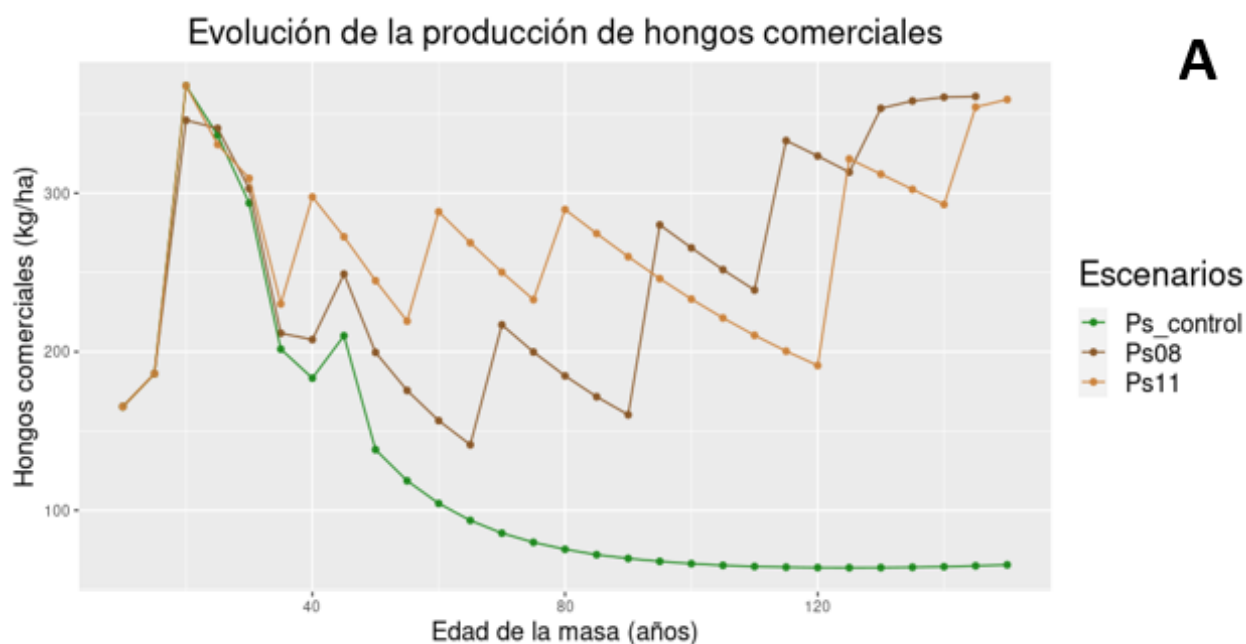


Figura 2. Producción de hongos comerciales (en general) (A) y comerciales del género *Lactarius* (B) para los escenarios estudiados de *Pinus sylvestris*: escenario control (Ps_control), de producción de madera comercial (Ps08), y de resistencia a incendios forestales (Ps11).

En el modelo de *Pinus pinaster mesogeensis* se evalúan tres escenarios silvícolas diferentes para conocer la producción de hongos en peso fresco (Figura 3). En ellos, se puede apreciar que la producción inicial es muy similar, ya que las actividades silvícolas iniciales son semejantes. No obstante, a partir de los 20 años de edad la producción comienza a divergir, siendo el escenario Ppr01 (diámetro de corta final > 45 cm) el que tiene una mayor producción de hongos, seguido de

Ppr02 (35 cm < diámetro de corta final < 40 cm) y Ppr03 (30 cm < diámetro de corta final < 45 cm), cuyas producciones son similares. Por otro lado, el escenario control (Ppr_control) comienza a divergir de los demás con una edad de masa de 30 años, donde los efectos de la silvicultura comienzan a repercutir sobre la producción de hongos.

Evolución de la producción de hongos

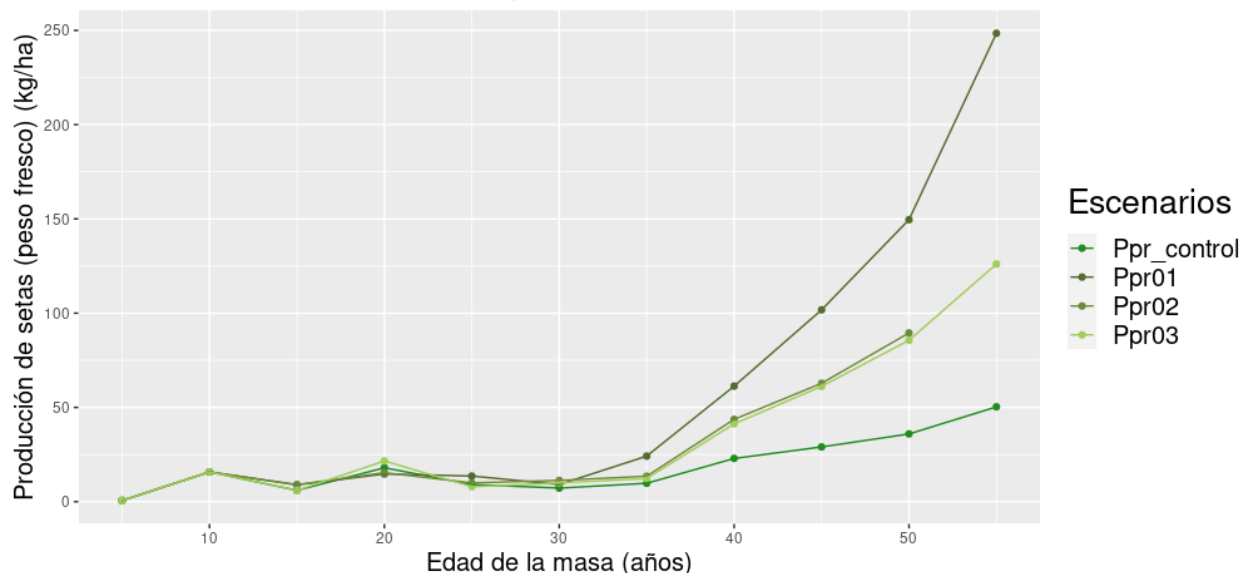


Figura 3. Producción de hongos para los escenarios estudiados de *Pinus pinaster mesogeensis*: escenario control (Ppr_control), y de producción de madera comercial con diámetro final ~ 45 cm (Ppr01), diámetro final entre 35 y 40 cm (Ppr02), y diámetro final entre 30 y 35 cm (Ppr03).

Para el modelo de *Pinus pinea* (Figura 4) la producción de piñón muestra un claro aumento con la edad de la masa, aun sufriendo reducciones puntuales en la producción cuando se aplica una tarea silvícola. El escenario Ppa05 (producción de madera) muestra las producciones más reducidas, teniendo además un turno inferior; el escenario Ppa07 (prevención de incendios) muestra producciones similares, siendo el turno de corta mayor; y el escenario Ppa06 (producción de piña/piñón) muestra los resultados más productivos, aunque no es hasta una edad bastante avanzada cuando estas diferencias resultan ser claras. En el escenario control (Ppa_control) las producciones son similares a los restantes hasta edades de 50 años, mostrando producciones menores a los demás escenarios a final de turno. Es necesario aclarar que, pese a que los escenarios silvícolas originales superan los 100 años de edad de la masa, a partir de dicha edad las predicciones del modelo dejan de ser fiables debido al diseño de sus ecuaciones, por lo que se establece esta edad como límite para el análisis.

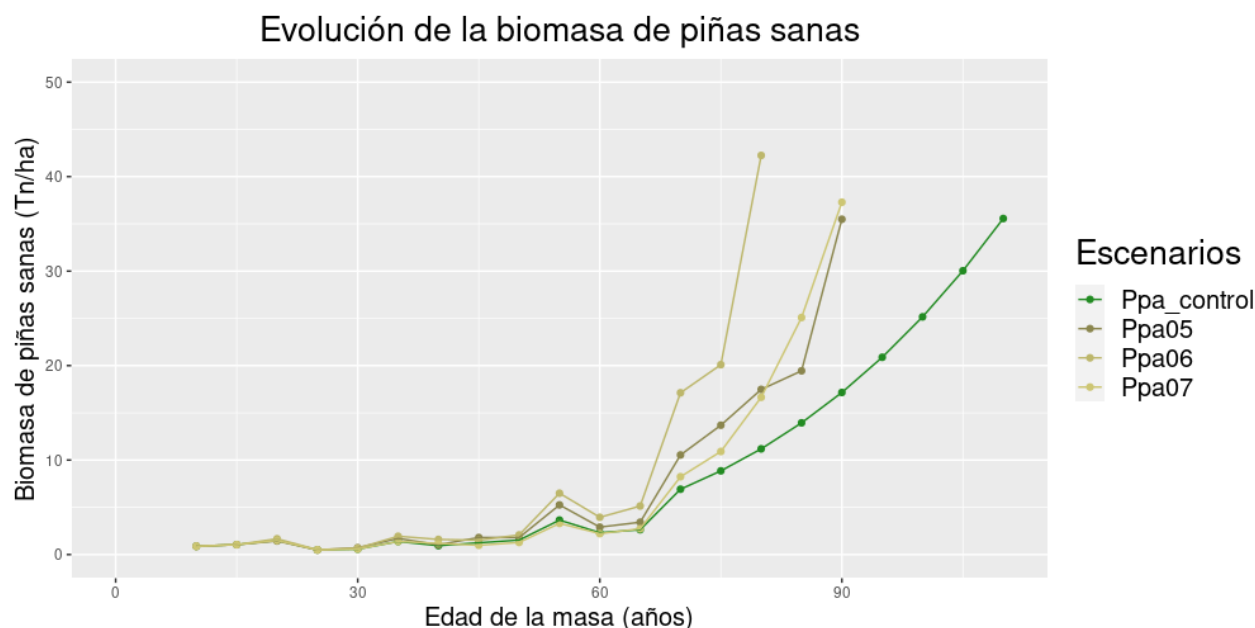


Figura 4. Biomasa de conos sanos para los escenarios estudiados de *Pinus pinea*: escenario control (Ppa_control), de producción de madera comercial (Ppa05), de producción de piña (Ppa06), y de resistencia a incendios forestales (Ppa07).

5 Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio refuerzan la necesidad ya conocida de tener en cuenta los productos forestales no maderables en la gestión de las masas forestales. A este respecto, BONET et al. (2008) reportaba la necesidad de tener en cuenta la producción de hongos en la gestión de masas de *Pinus nigra* y *P. sylvestris* de Cataluña, incluso orientando la gestión forestal a este producto cuando las producciones esperadas son altas. Además, otros autores ponen de manifiesto que la gestión orientada a la producción de hongos contribuye a reducir el riesgo de incendios forestales (GONZÁLEZ et al., 2005) y permite realizar un régimen de cortas moderado (HERRERO et al., 2019), obteniendo beneficios complementarios de la madera. Pese a que la recogida de hongos suele estar regulada por autoridades y permisos de recolecta locales (CROITORU, 2007), todavía existe mucha recolecta libre ligada tanto al consumo propio como a la venta en mercados locales (CROITORU, 2007), lo cual debe regularse. Complementario a la importancia económica y ecológica que conlleva el aprovechamiento micológico en los ecosistemas forestales (HERRERO et al., 2019), otro factor interesante es la importancia de la actividad recreativa que conlleva su recolección (BONET et al., 2008; CROITORU, 2007), siendo un servicio ecosistémico añadido a la propia producción. Además, priorizar la producción de hongos en condiciones climáticas favorables puede suponer que los beneficios superen, incluso, a los de la producción de madera (GARCÍA-BUSTAMANTE et al., 2021; PALAHÍ et al., 2009). Situaciones en las que altos costes de extracción y transporte de la madera, pagada a bajos precios, suponen un ejemplo claro donde los beneficios de la madera son menores a los de las hongos en Cataluña (PALAHÍ et al., 2009), pese a que sus precios oscilan considerablemente en función de la demanda (VOCES et al., 2012). Dado que la dependencia climática de la producción de hongos es muy alta (BONET et al., 2008; GARCÍA-BUSTAMANTE et al., 2021; HERRERO et al., 2019; PALAHÍ et al., 2009), su combinación con la producción de maderera supone garantizar beneficios anuales y finales que pueden resultar muy interesantes a los gestores.

Los resultados de las simulaciones para los modelos de *Pinus nigra* y *P. sylvestris* mostraron resultados muy similares. En ambos casos se comparan escenarios silvícolas donde se prioriza la producción de madera contra escenarios donde se prioriza la resistencia de la masa al fuego. Estos últimos son los que aportan una mayor producción inicial de hongos comerciales, pero a medida que la masa madura, las producciones son mayores en los escenarios orientados a producción de madera. Este cambio en la tendencia se debe al régimen de cortas de cada escenario, donde el

efecto acumulativo y a largo plazo de las mismas hace variar la producción de hongos (PALAHÍ et al., 2009), lo cual se aprecia en todos los casos de estudio. Además, BONET et al. (2008) indica que los picos de producción de hongos son muy próximos a los de madera para masas de *P. sylvestris* en Cataluña, hecho ligado a la mayor actividad fotosintética de la masa (HOËGBERG et al., 2001). BONET et al. (2008) reportaba también mayores producciones de hongos comerciales y del género *Lactarius* en masas donde el área basimétrica era próxima a los 20 m²·ha⁻¹, al igual que hemos encontrado en el presente estudio para los modelos de *P. nigra* y *P. sylvestris* (Figura 1, Figura 2, Figura 5A y Figura 6A). Por otro lado, los resultados obtenidos para los escenarios en los que se prioriza la resistencia al fuego también son compatibles con la producción de los distintos tipos de hongos aquí estudiadas, como ya reportaba GONZÁLEZ et al. (2005) en masas de Cataluña, permitiendo un aprovechamiento más temprano la optimización del recurso según los resultados obtenidos. Comparando las masas de ambas especies, hay una diferencia sustancial en cuanto a la producción de hongos, siendo las de *P. sylvestris* mucho mayores, al igual que ha encontrado PALAHÍ et al. (2009). Este hecho, sin duda, está ligado tanto a las características de la masa como al tipo de gestión que en ella se aplica (BONET et al., 2008). De hecho, respecto a la gestión silvícola, este estudio pone de manifiesto su importancia para maximizar la producción de hongos frente a la no actuación (escenarios control).

Para el caso de *P. pinaster mesogeensis*, la comparativa entre escenarios trata los diámetros finales de corta, lo cual supone que la madera pueda ser aprovechada para distintos usos tecnológicos. Comparando tres escenarios diferentes, hemos encontrado que la mayor producción de hongos se encuentra en el escenario donde se espera un diámetro final de corta mayor. HERRERO et al. (2019) reportaba mayores producciones de hongos en escenarios con cortas medias y altas, dado que la menor competencia provoca mayores crecimientos de los árboles y mayor disponibilidad de luz. Además, HERRERO et al. (2019) y BONET et al. (2012) reportan efectos inmediatos de las cortas sobre la producción de hongos, como podemos ver de manera más evidente en el escenario Ppr01 a la edad de 40 años. Por otro lado, las producciones de hongos de nuestras simulaciones se encuentran dentro de las descritas por los desarrolladores de dicha ecuación (HERRERO et al., 2019), aunque creemos que podrían ser superiores si la masa lograra alcanzar los 35-40 m²·ha⁻¹ en área basimétrica y estabilizarse, cifra donde DE-MIGUEL et al. (2014) reportaron la mayor producción de hongos para masas de *P. pinaster*, al igual que hemos encontrado en este estudio (Figura 7A).

Por último, en cuanto a la producción de piñón (estudiada por medio de la biomasa de piñas sanas) para masas de *P. pinea* se estudiaron escenarios enfocados a la producción de madera, producción de piñón y resistencia al fuego. Como era de esperar, el escenario diseñado para obtener una mayor producción de piñón fue el que ha mostrado mayores producciones, aunque las diferencias no son notables hasta edades de masa avanzadas. Este hecho ya era reportado por CALAMA & MONTERO (2007), desarrolladores de las ecuaciones utilizadas en la simulación, los cuales hacían hincapié en que masas de árboles más grandes y en menores densidades son las que proporcionan producciones de piña mayores (ver área basimétrica en Figura 8). Además de la producción de piñón como aprovechamiento económico, estos resultados resultan también interesantes desde el punto de vista de la regeneración de la masa, dado que la producción de semilla es un factor limitante de cara a su regeneración, pudiendo ser de utilidad estos resultados para ayudar a los gestores a fijar las cortas de regeneración (CALAMA & MONTERO, 2007). Por último, y dado que España es el principal productor de piñón de *P. pinea* (PÉREZ, 2012), un mayor esfuerzo en conocer la gestión óptima de cada masa utilizando SIMANFOR (BRAVO et al., 2010, 2012; SIMANFOR, 2021) puede ser de gran ayuda para conservar esta posición puntera en el mercado global.

6 Conclusiones

La importancia de conocer la producción de las masas forestales es clave para los gestores. Mediante este trabajo se aportan estimaciones de producción de recursos no maderables (hongos y piñón) bajo diferentes escenarios silvícolas, que pueden contribuir en el proceso de toma de

decisiones. Así, se pone de manifiesto la importancia de configurar el escenario silvícola que mejor se adapte a nuestras necesidades, y se muestra el potencial de SIMANFOR para trabajar con datos de producción de recursos no maderables. Con estos resultados se marca la ruta a seguir para que cualquier usuario pueda realizar sus propias simulaciones con SIMANFOR y conocer la producción de su masa forestal.

7 Bibliografía

ALBERDI, I.; SANDOVAL, V.; CONDES, S.; CAÑELLAS, I.; VALLEJO, R; 2016. El Inventario Forestal Nacional español, una herramienta para el conocimiento, la gestión y la conservación de los ecosistemas forestales arbolados. *Ecosistemas* 25: 88-97.

BELTRÁN, M.; VERICAT, P.; PIQUÉ, M.; CERVERA, T; 2012. Models de gestió per als boscos de pinassa (*Pinus nigra* Arn.): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. *Sèrie Orientacions gestió For Sosten per a Catalunya (ORGEST) Cent la Prop For Dep d'Agricultura, Ramad Pesca, Aliment i Medi Nat General Catalunya* (153 pages).

BONET, JA.; DE-MIGUEL, S.; DE ARAGÓN, JM.; PUKKALA, T.; PALAHÍ, M; 2012. Immediate effect of thinning on the yield of *Lactarius group deliciosus* in *Pinus pinaster* forests in Northeastern Spain. *For Ecol Manage* 265: 211-217.

BONET, JA.; PUKKALA, T.; FISCHER, CR.; PALAHÍ, M.; MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J.; COLINAS, C; 2008. Empirical models for predicting the production of wild mushrooms in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in the Central Pyrenees. *Ann For Sci* 65: 206.

BRAVO, F.; DEL RÍO, M.; DEL PESO, C; 2002. El inventario forestal nacional: elemento clave para la gestión forestal sostenible. Fundación General de la Universidad de Valladolid. Grafistaff.

BRAVO, F.; RODRÍGUEZ, F.; ORDÓÑEZ, C; 2012. A web-based application to simulate alternatives for sustainable forest management: SIMANFOR. *For Syst* 21: 4-8.

BRAVO, F.; RODRÍGUEZ, F.; ORDÓÑEZ, C.; BROTO, M.; LIZARRALDE, I.; RUANO, I.; DEL RÍO, M.; CALAMA, R; 2010. Simanfor: aplicación web para la simulación de alternativas selvícolas. *Divulg 1er Trimest.*

CALAMA, R.; GORDO, F.; MUTKE, S.; MONTERO, G; 2008. An empirical ecological-type model for predicting stonepine (*Pinus pinea* L.) cone production in the Northern Plateau (Spain). *For Ecol Manage* 255: 660-673.

CALAMA, R.; MONTERO, G; 2007. Cone and seed production from stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Central Range (Spain). *Eur J For Res* 126: 23-35.

CORE TEAM, R; 2019. R: A language and environment for statistical computing v. 3.5. 1. Vienna, Austria: Foundation for Statistical Computing.

CROITORU, L; 2007. Valuing the non-timber forest products in the Mediterranean region. *Ecol Econ* 63: 768-775.

DE-MIGUEL, S.; BONET, JA.; PUKKALA, T.; DE ARAGÓN, JM; 2014. Impact of forest management intensity on landscape-level mushroom productivity: a regional model-based scenario analysis. *For Ecol Manage* 330: 218-227.

DIÉGUEZ-ARANDA, U.; ROJO, A.; CASTEDO-DORADO, F.; GONZÁLEZ, JG.; BARRIO-ANTA, M.; CRECENTE-CAMPO, F.; GONZÁLEZ, JM.; PÉREZ-CRUZADO, C.; SOALLEIRO, R.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, CA.; ...; 2009. Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. *Forestry* 82: 1-16.

GARCÍA-BUSTAMANTE, E.; GONZÁLEZ-ROUCO, JF.; GARCÍA-LOZANO, E.; MARTÍNEZ-PEÑA, F.; NAVARRO, J; 2021. Impact of local and regional climate variability on fungi production from *Pinus sylvestris* forests in Soria, Spain. *Int J Climatol*.

GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, JM.; CASTEDO DORADO, F.; DIÉGUEZ-ARANDA, U.; ROJO, A.; ÁLVAREZ, JG; 2012. GesMO Simulador de crecimiento y producción de rodales forestales. *Santiago Compost Esc Politécnica Super Lugo Univ Santiago Compost (Galicia, Spain)*.

GONZÁLEZ, JR.; PUKKALA, T.; PALAHÍ, M; 2005. Optimising the management of *Pinus sylvestris* L. stand under risk of fire in Catalonia (north-east of Spain). *Ann For Sci* 62: 493-501.

HERRERO, C.; BERRAONDO, I.; BRAVO, F.; PANDO, V.; ORDÓÑEZ, C.; OLAIZOLA, J.; MARTÍN-PINTO, P.; ORIA DE RUEDA, JA; 2019. Predicting mushroom productivity from long-term field-data series in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. forests in the context of climate change. *For-ests* 10: 206.

HOËGBERG, P.; NORDGREN, A.; BUCHMANN, N.; TAYLOR, A.; EKBLAD, A.; HOËGBERG, MN.; NYBERG, G.; OTTOSSON-LOËFVENIUS, M.; READ, DJ; 2001. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature* 411: 789-792.

MADRIGAL, G.; GORDO, J.; MONTERO, G.; CALAMA, R; 2009. PINEA2 v1. 0: aplicación informática para la gestión de las masas regulares de *Pinus pinea* L. en la Meseta Norte. 5º Congreso Forestal Español. En: 5º Congreso Forestal Español. Mesa.

NADAL, D.; I JORBA, S.; GRACIA, C; 2014. GOTILWA+: una herramienta para optimizar la gestión forestal adaptada al cambio climático. *Ambienta* 108: 106-120.

PALAHÍ, M.; BONET, JA.; PUKKALA, T.; FISCHER, CR.; DE ARAGÓN, J.; COLINAS, C; 2009. Modeling the Production of Wild Mushrooms in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Forests in Catalonia (North-East of Spain). *Model Valuing Manag Mediterr For Ecosyst Non-Timber Goods Serv*: 29.

PALAHÍ, M.; PUKKALA, T.; BONET, JA.; COLINAS, C.; FISCHER, CR.; MARTÍNEZ DE ARAGÓN, JR; 2009. Effect of the inclusion of mushroom values on the optimal management of even-aged pine stands of Catalonia. *For Sci* 55: 503-511.

PÉREZ, SF; 2012. Estructura económica del sector forestal en España. *Quebracho-Revista Ciencias For* 20: 49-59.

PIQUÉ, M.; BELTRÁN, M.; VERICAT, P.; CERVERA, T.; FARRIOL, R.; BAIGES, T; 2011. Models de gestió per als boscos de pi roig (*Pinus sylvestris* L.): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. *Sèrie Orientacions gestió For Sosten a Catalunya (ORGEST) Cent la Prop For Dep d'Agricultura, Ramad Pesca, Aliment i Medi Nat General Catalunya*.

PIQUÉ, M.; VERICAT, P.; BELTRÁN, M; 2017. Resource communication. ORGEST: Regional guidelines and silvicultural models for sustainable forest management. *For Syst* 26: 18.

PIQUÉ, M.; VERICAT, P.; BELTRÁN, M.; CALAMA, R.; CERVERA, T; 2015. Models de Gestió per a les Pinedes de pi Pinyer (*Pinus pinea* L.): Producció de Fusta i Pinya i Prevenció de Incendis Forestals; Centre de la Propietat Forestal. *Dep d'Agricultura, Ramad Pesca, Aliment i Medi Nat*.

RODRÍGUEZ, F.; BROTO, M.; LIZARRALDE, I; 2008. CubiFOR: herramienta para cubicar, clasificar productos y calcular biomasa y CO2 en masas forestales de Castilla y León. *Rev Montes* 95: 33-39.

SIMANFOR; 2021. SIMANFOR - Sistema de Apoyo para la Simulación de Alternativas de Manejo Forestal Sostenible. *Recuper el 10 enero 2022*.

VEGA-GORGOJO, G.; GIMÉNEZ-GARCÍA, JM.; ORDÓÑEZ, C.; BRAVO, F; 2021. Pioneering easy-to-use forestry data with Forest Explorer. *Semant Web*: 1-14.

VERICAT, P.; PIQUÉ, M.; BELTRÁN, M.; CERVERA, T; 2014. Models de gestió per a les plantacions de coníferes: producció de fusta. *Sèrie Orientacions gestió For Sosten per a Catalunya (ORGEST) Cent la Prop For Dep d'Agricultura, Ramad Pesca, Aliment i Medi Nat General Catalunya (153 pages)*.

VOCES, R.; DÍAZ-BALTEIRO, L.; ALFRNACA, O; 2012. Demand for wild edible mushrooms. The case of *Lactarius deliciosus* in Barcelona (Spain). *J For Econ* 18: 47-60.

8 Anexo: Gráficos complementarios

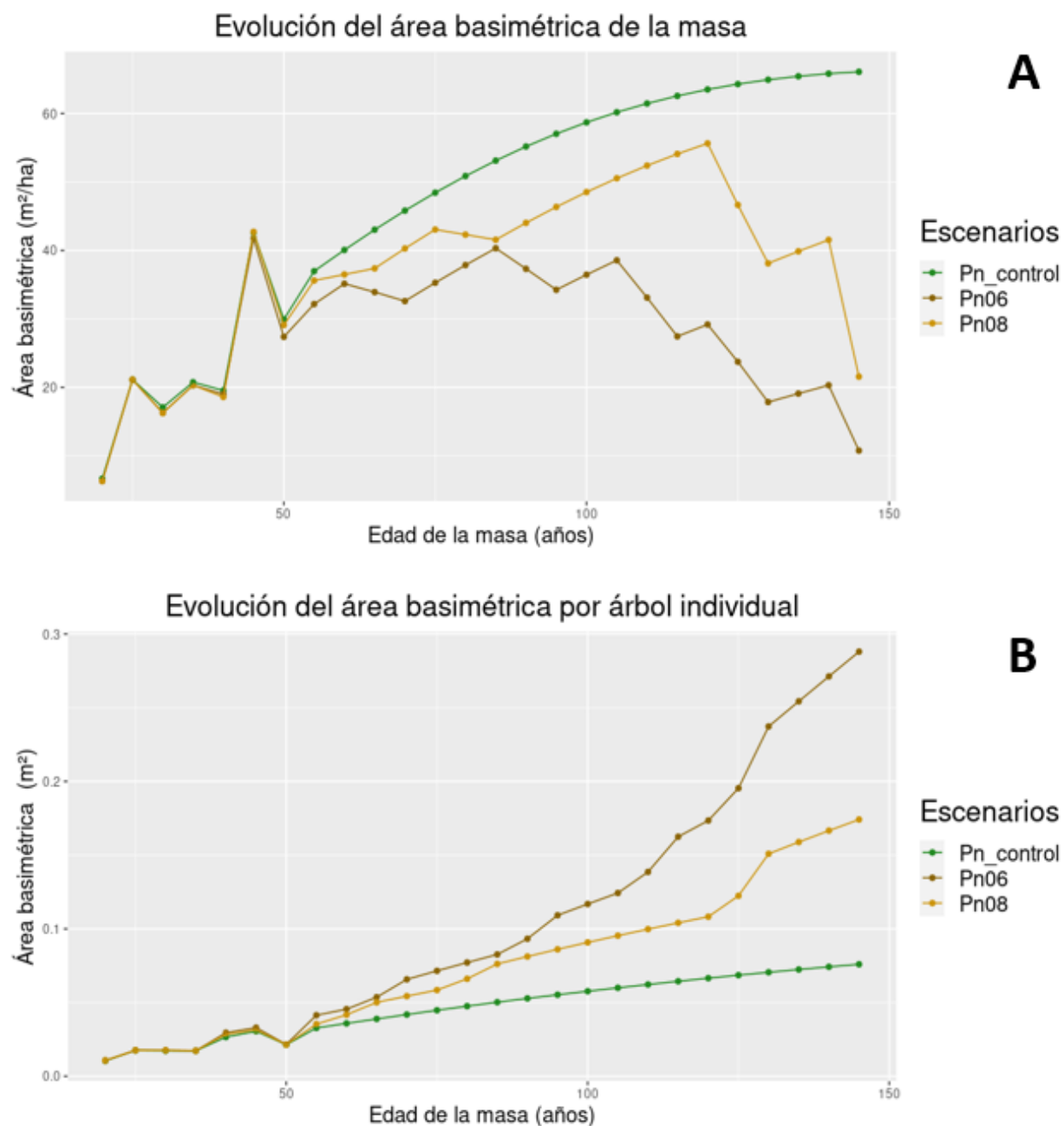


Figura 5. Área basimétrica a nivel de masa (A) y árbol individual (B) para el modelo de *Pinus nigra* en los distintos escenarios de estudio: escenario control (Pn_control), de producción de madera comercial (Pn06), y de resistencia a incendios forestales (Pn08).

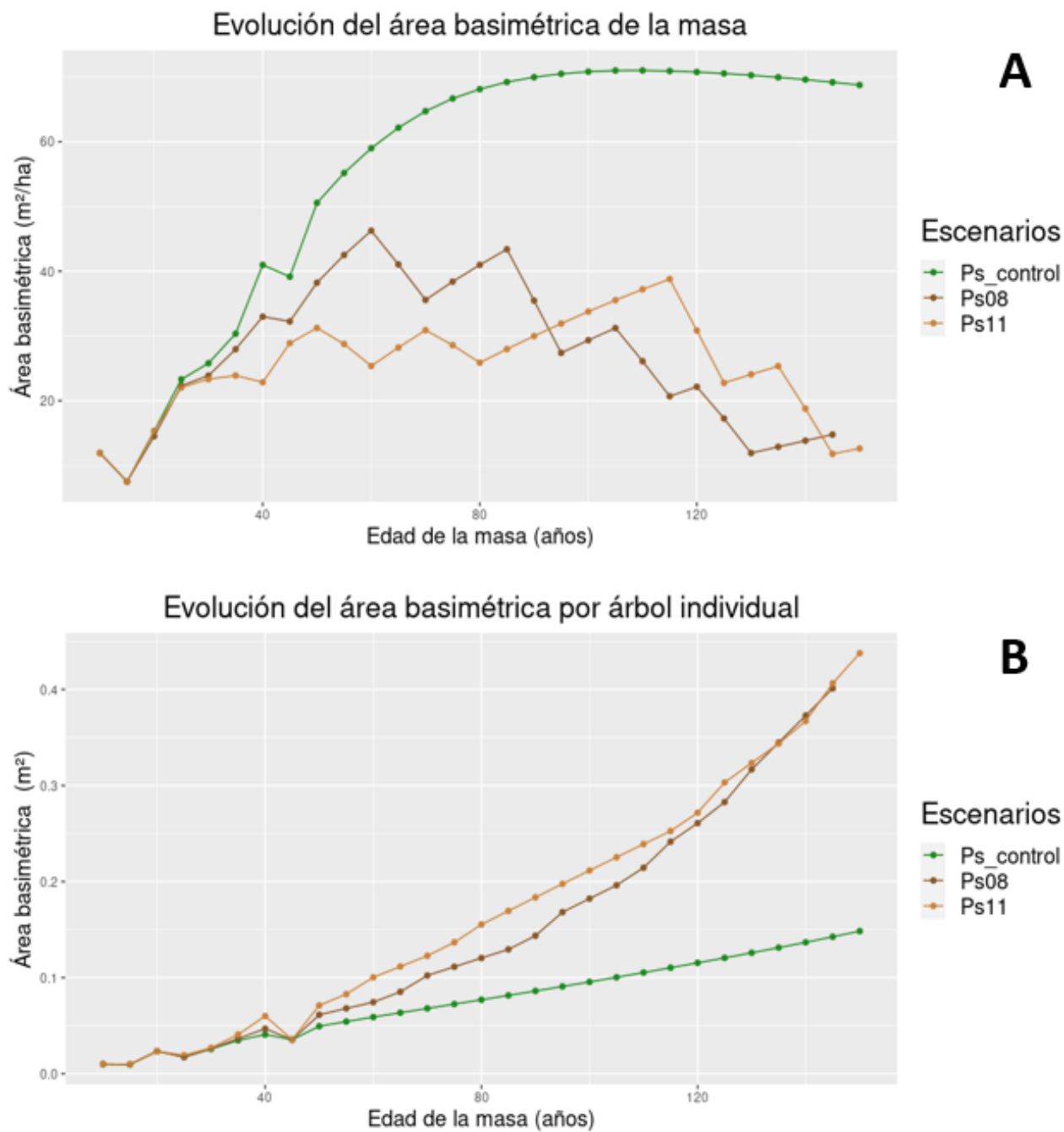


Figura 6. Área basimétrica a nivel de masa (A) y árbol individual (B) para el modelo de *Pinus sylvestris* en los distintos escenarios de estudio: escenario control (Ps_control), de producción de madera comercial (Ps08), y de resistencia a incendios forestales (Ps11).

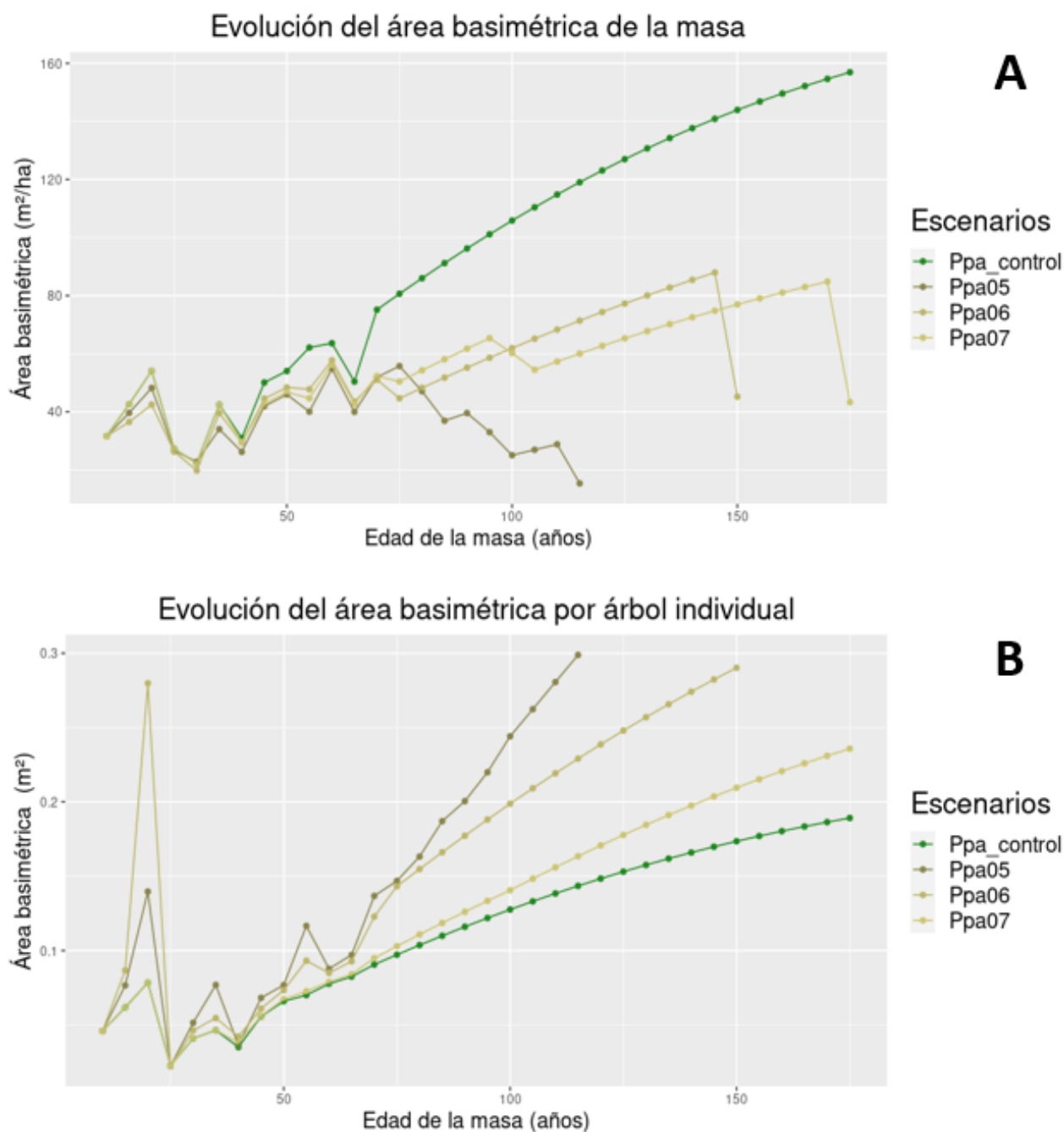


Figura 7. Área basimétrica a nivel de masa (A) y árbol individual (B) para el modelo de *Pinus pinea* en los distintos escenarios de estudio: escenario control (Ppa_control), de producción de madera comercial (Ppa05), de producción de piña (Ppa06) y de resistencia a incendios forestales (Ppa07).

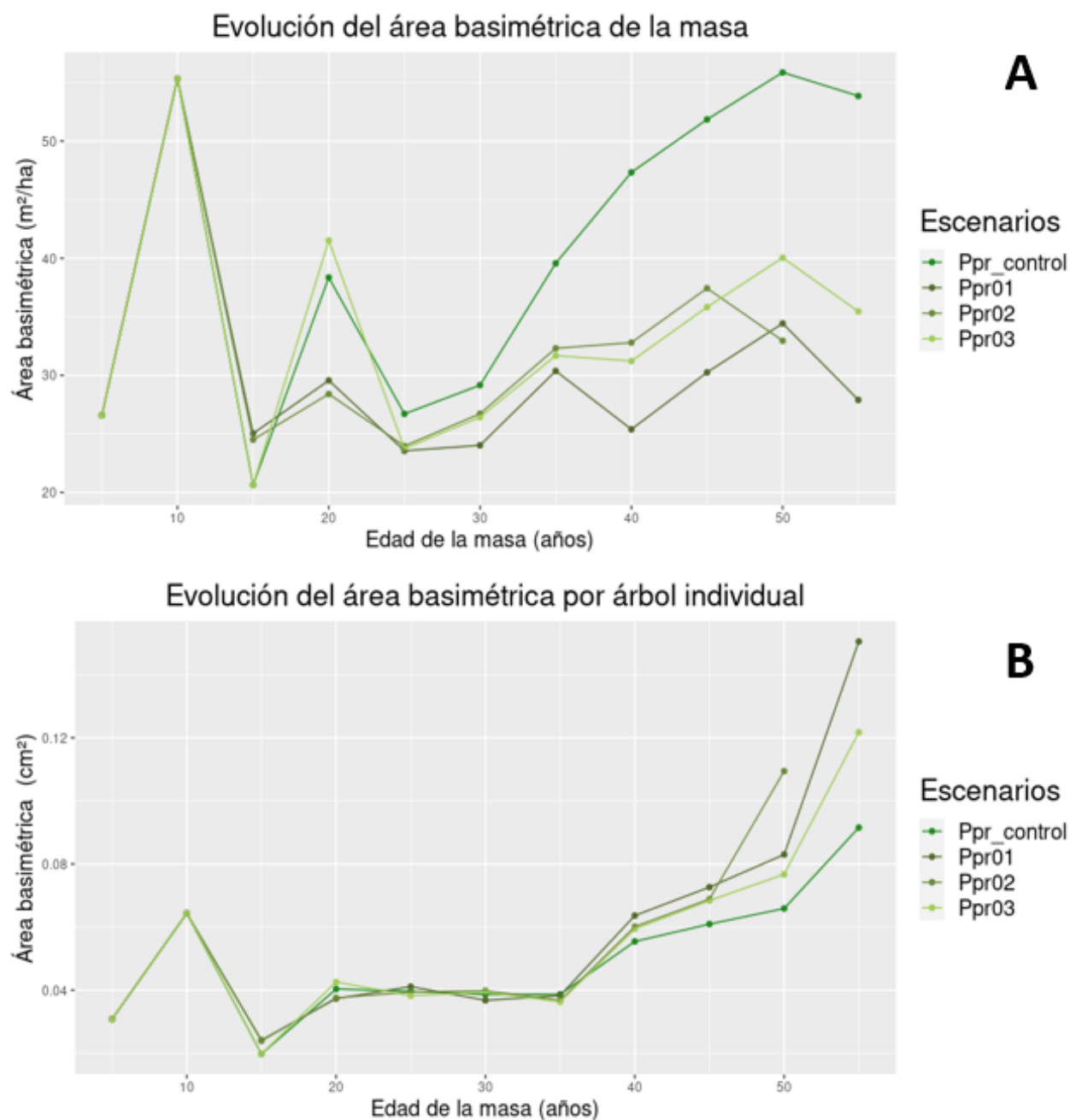


Figura 8. Área basimétrica a nivel de masa (A) y árbol individual (B) para el modelo *Pinus pinaster* mesogeensis en los distintos escenarios de estudio: escenario control (Ppr_control), de producción de madera comercial con diámetro final ~ 45 cm (Ppr01), diámetro final entre 35 y 40 cm (Ppr02), y diámetro final entre 30 y 35 cm (Ppr03).