



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



Oportunidades y barreras a la innovación en los sectores de fruto seco forestal

MUTKE, S.^{1,2}, RUBIO, R.³, BAUDRILLER-CACAUD, H.⁴ CORREIA, A.C.⁵

¹ Centro de Investigación Forestal (INIA, CSIC).

² IUFRO RG1.08.00 *Silviculture for edible non-wood forest products*.

³ CESEFOR, Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León.

Resumen

En el marco de la red temática europea INCREdible sobre productos forestales no madereros (PFNM), se ha desarrollado una hoja de ruta para desarrollar las cadenas de valor de dos frutos secos mediterráneos relevantes, castaña y piñón. Los modelos tradicionales de producción de ambos, concentrada en unas comarcas muy definidas, se han visto expuesto en el pasado reciente a unas plagas exóticas muy dañinas que han colapsado la producción, a las que se añade el impacto creciente del cambio climático. Otro reto sectorial es responder con medidas de mercado a la importación indiscriminada de productos similares, pero diferentes: castañas y piñones de diversas especies asiáticas distintas, de características nutricionales y organolépticas no comparables con el producto mediterráneo, pero que llegan al consumidor europeo sin etiquetar de forma clara que no se trata del original, aprovechándose así de su alta valoración. Esta comunicación expone las respuestas de ambos sectores a estos retos, que a su vez pueden ser una oportunidad de reinventarse, recopiladas por la red de innovación de frutos secos forestales de la red INCREdible durante dos años de jornadas técnicas y consultas, con una validación final por un panel de 24 expertos sectoriales en Portugal, España y Francia.

Palabras clave

Productos forestales no madereros, piñón, castaña, cadena de valor, DAFO.

1. Introducción

Entre los servicios de ecosistema que los bosques ofrecen a la sociedad, destaca su papel como proveedor de recursos biológicos renovables esenciales, tanto madereros como no madereros. La propia naturaleza de recurso silvestre con frecuencia no permite separar su uso de los servicios de ecosistema culturales, emocionales y espirituales implicados (SHEPPARD et al., 2020).

El monte mediterráneo, habitado a la vez que modulado por el humano desde antes del último máximo glacial, ha sido fuente de alimento desde antes del neolítico. Los cazadores-recolectores consumían no sólo recursos de origen animal y frutos silvestres, sino por su alto contenido energético y nutricional también semillas y frutos secos como son las bellotas, piñones, avellanas o castañas, cuyo consumo en algunos casos puede trazarse desde tiempos de neandertal (HAWS, 2004; BROODBANK 2013; ZILHÃO et al., 2020). Durante el Holoceno, la domesticación o introducción de variedades animales y vegetales por culturas agrícolas y pastorales ha influido en la conformación antrópica del paisaje postglacial incluso antes de haberse podido recuperar su cubierta boscosa, que en la Península de todas formas sería un paisaje arbolado abierto sabanoide, característico ya antes de la última glaciaciación, ofreciendo recursos y alimentos muy diversos (OCHANDO et al., 2020, 2021).

Dos de los frutos secos del monte mediterráneo de más relevancia son la castaña y el piñón, dejando al lado la bellota por su actual caída en desuso como alimento directo humano. La castaña, fruto de *Castanea sativa* Mill., ha sido desde la antigüedad objeto de cultivo, propagado en sotos o plantaciones específicas (FERNÁNDEZ MANSO et al., 2010). Durante milenarios fue un alimento base

proveedor de hidratos de carbono y de fácil almacenamiento, desbancado de la dieta básica sólo tras la introducción ya en la era moderna de cultivos exóticos como patata o maíz, y definitivamente por los graves problemas fitosanitarios habidos desde la aparición de varias enfermedades fúngicas del castaño desde el siglo XIX, sobre todo tinta y chancro (BELLAT & DASQUE, 2019).

Por el contrario, el piñón ha permanecido como fruto seco eminentemente forestal hasta bien entrado el siglo 21, obteniéndose como un aprovechamiento tradicional más de los pinares de *Pinus pinea* L. bajo gestión multifuncional mantenida desde las primeras ordenanzas medievales (MUTKE et al., 2019b). Es recolectada dentro de las piñas cerradas, que requieren su posterior apertura con calor y el cascado del piñón para obtener su piñón blanco comestible. El proceso exige unos procedimientos que antes de su mecanización a finales del siglo 20 implicaban un esfuerzo operativo manual escasamente compensado por el rendimiento de apenas 4% de piñón blanco por kilogramo de piña verde recolectada, lo que reservaba el uso del piñón como ingrediente especial para la elaboración de dulces, pastelería o platos gourmet de la cocina mediterránea y árabe (MUTKE et al., 2012).

Ambos frutos secos forestales se han visto favorecido por los cambios en las preferencias de los consumidores en las sociedades postindustriales, a veces apostillado como LOHAS (*lifestyle of health and sustainability*), demandando alimentos más saludables a la vez que menos procesados, más tradicionales y naturales (WOLFSLEHNER et al., 2019). Tanto la castaña como el piñón combinan sus calidades nutricionales y organolépticas con las connotaciones culturales y emocionales de dos árboles característicos del paisaje mediterráneo (BELLAT & DASQUE, 2019; MUTKE et al., 2019b).

Sin embargo, su creciente demanda en el mercado europeo y mundial como alimentos gourmet no se ve satisfecha por la capacidad de producción en los países de origen, a pesar del auge reciente de nuevas plantaciones agronómicas de ambas especies en algunas regiones europeas (KÜÇÜKER & BASKENT, 2017; BELLAT & DASQUE, 2019; MUTKE et al, 2019b). Por el contrario, su producción sigue mermando, amenazada por los problemas fitosanitarios citados, por el abandono rural que implica el abandono de actividades tradicionales, y en la última década sobre todo por la expansión fulminante de dos nuevas plagas exóticas.

La avispa del castaño, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, de origen asiático, forma agallas en las yemas del castaño, destruyendo sus brotes nuevos y con ellos la formación del fruto (BELLAT & DASQUE, 2019), mientras que la chinche americana del piñón, *Leptoglossus occidentalis* Heidemann, pica los piñones dentro de la piña en desarrollo de los pinos para consumirlos por succión, lo que provoca el aborto de piñas enteras antes de madurar, o de un porcentaje relevante de piñones dentro de aquellas piñas que lleguen a la cosecha aparentemente sanas, pero que en fábrica revelan que en vez de los 80-120 piñones habituales para una piña sana no llegan a 50, bajando el rendimiento en piñón blanco del 3,5-4% sobre el peso de piña verde sana a un escaso 1-2,5% (MUTKE et al, 2019b; CALAMA et al., 2020).

El impacto de esta última plaga sobre la cantidad y calidad (rendimiento en piñón blanco) de la piña que llegue a fábrica ha sido devastador para el sector del piñón, llevando a un abandono de la actividad piñera y cierre de muchas empresas procesadoras, sin que de momento se hayan desarrollado técnicas efectivas de control biológico o integrada de la plaga. Por el contrario, el sector de la castaña en España y Portugal ha sabido contar con apoyo institucional para llevar a cabo un programa de control biológico basado en la suelta anual masiva de un parasitoide específico de la avispa, *Torymus sinensis* Kamijo, aprovechando experiencias previas desarrolladas hace años en Japón, EE.UU., Francia e Italia (NIEVES-ALDREY et al., 2019).

A estas amenazas biológicas, agravadas por los crecientes efectos negativos del cambio climático que se traducen en sequías más frecuentes, pertinaces y persistentes, se suma la debilidad de unos sectores tradicionalmente asentados en unas pocas comarcas concretas como pueden ser el Bierzo para la castaña o el sureste de la provincia de Valladolid y las Tierras Llanas de Huelva para el piñón, con un elevado número de pequeñas explotaciones y empresas familiares pero un desarrollo tecnológico y comercial aún incipiente, escasa capacidad de reacción a las adversidades y alcance comercial limitado en su poder de negociación frente a los grandes actores mayoristas del comercio europeo y mundial de su sector. Esta debilidad estructural comparten con otros sectores como son los productores primarios del corcho o la resina, pero contrasta con la capacidad de organizarse por ejemplo de los nuevos emprendedores de la truficultura (MUTKE et al., 2019a; MARTÍNEZ DE ARANO et al., 2021).

Su debilidad como sector contribuye a que tanto la castaña como el piñón se encuentran con dificultades de hacer valer su calidad superior, por carecer del reconocimiento por parte del consumidor de su *identidad de producto* diferenciada, contra la actual introducción en el mercado europeo de sucedáneos de origen asiático. Se está vendiendo castañas de otras especies y semillas de otros pinos, de calidad muy diferente pero también a precios de importación muy inferiores al precio de los productos originales mediterráneos, aunque al consumidor se venden a precios similares usando un etiquetado poco claro, confuso o en ocasiones intencionado, induciendo al error sugiriendo una identidad inexistente entre productos geográficamente dispares, aprovechando así la alta valoración del producto mediterráneo genuino para vender al consumidor incauto gato por liebre (MUTKE et al., 2020).

La falta de diferenciación efectiva de las especies genuinas, que se intenta suplir con frecuencia por denominaciones, etiquetas o marcas de calidad regionales o comerciales, dificulta al consumidor darse cuenta cuando está comprando un sucedáneo en vez del original. Así, hasta el producto auténtico corre el peligro de verse perjudicado por los problemas o falta de calidad que estos últimos puedan acarrear. Un ejemplo claro fue hace unos diez años el episodio de una alteración gustativa persistente (*pine mouth syndrome*) provocada por el consumo de semillas de otras especies chinas de pinos, comercializadas como supuesto “piñón”, episodio que desincentivó a la postre al consumidor de volver a comprar nunca jamás “piñón” de cualquier tipo, sin enterarse de que el problema se limitaba al piñón chino mezclado indebidamente con semillas de otras especies no aptas para su consumo como *Pinus armandii*, pero sin relación alguna con el piñón mediterráneo de calidad de nuestro *Pinus pinea* (MUTKE et al., 2013).

Por último, la continuidad de una actividad económica informal en el mundo rural, la tradicional compraventa sin documentación con intermediarios informales, sin clasificación ni garantía alguna de calidad u origen del producto, corresponde en la actualidad llanamente a un mercado negro y una cadena de valor sumergida paralela, que aparte de las infracciones legales, sanitarios y fiscales implícitas está cimentando las malas prácticas de hurto y aprovechamiento precoz, y que sin papeles ni cargas fiscales compiten con los productores o recolectores legales en el suministro a la industria, contraviniendo la obligada trazabilidad “del productor a la mesa” desde el Reglamento CE 178/2002 sobre seguridad alimentaria. Huelga insistir que también estos retos de falta de trazabilidad, diligencia debida e información veraz al consumidor son comunes con otros productos forestales mediterráneos en ocasiones suplantados por importaciones de dudosa calidad, como puede pasar en el caso de la trufa negra, las setas y plantas silvestres (MUTKE, 2020; MARTÍNEZ DE ARANO et al., 2021).

En este contexto de grandes oportunidades de creación sostenible de actividad económica rural basada en recursos biológicos de alto valor añadido, pero también de grandes dificultades de modernizar unos sectores para hacerlos competitivos, competentes e integrados tanto horizontal como verticalmente a lo largo de sus cadenas de valor, se constituyó en 2017 la Red Temática

Europea *INCREdible, Redes de Innovación en Productos Forestales No Madereros (PFNM) mediterráneos* (<https://incredibleforest.net/>), auspiciada por el EFI, el Instituto Forestal Europeo para fomentar la innovación en las cadenas de valor, y financiada por el programa de I+D de la Unión Europea Horizon2020, como sucesor del proyecto europeo previo *StarTree* en el anterior programa europeo FP7 (<https://www.star-tree.eu/>).

La red temática *INCREdible* se constituyó en 5 redes de innovación abarcando diferentes tipos de PFNM: Corcho, Resinas naturales, Setas y trufas, Plantas aromáticas y medicinales, y Frutos y frutos secos forestales. Cada red de innovación ha conectado durante tres años mediante actividades presenciales y online a gestores, técnicos, investigadores y actores del sector de la producción, del procesamiento y la comercialización de estos PFNM.

Desde 2018, la Red de Innovación en Frutos y frutos secos forestales de *INCREdible* se puso en contacto con más de 300 actores de las cadenas de valor de castaña o piñón, de los cuales más de 150 han participado en los eventos organizados por esta red. En 2018, se organizó el seminario de lanzamiento en Portugal, en 2019 tres talleres interregionales en Francia, España y Túnez, más siete jornadas técnicas entre medio en los cuatro países y algunas actividades transversales con otras de las redes de innovación.

La red de Frutos y frutos secos se ha centrado en las mencionadas dos especies clave, castaña y piñón, por contar con una cadena de valor definida que llega al mercado minorista, lo que permitía abarcar una gama de temas desde la calidad del producto, el mercado, el desarrollo sectorial y rural, el aumento de la productividad silvestre o en plantación, la gestión forestal sostenible, o cómo enfrentarse a los mayores desafíos actuales del sector, ya discutidos en la introducción: las plagas y enfermedades y el cambio climático que afectan gravemente a ambas producciones, castaña y piñón, la insuficiente diferenciación comercial entre los productos originales mediterráneos y otros de especies asiáticas competidoras de menor valor, pero difíciles de distinguir para el consumidor normal.

Los participantes de los eventos constataron la necesidad de organizarse mejor y agruparse, para integrar mejor cada cadena de valor horizontal y verticalmente. Buenos ejemplos son las asociaciones interprofesionales de la castaña, como la RefCast portuguesa (<http://www.refcast.eu/a-refcast/>), las diferentes asociaciones y Mesas de la Castaña en España o el Comité Interprofessionnel de la Châtaigne d'Ardèche en Francia. Todas ellas están agrupadas dentro de la Red Europea de Castaños EuroCastanea (<http://www.eurocastanea.org/>) con otras organizaciones asociadas, también en Italia y Austria. El objetivo es impulsar la innovación del sector basada en la ciencia y de defender sus intereses ante las instancias políticas. Para la integración de todos los actores, se considera crucial abrir un diálogo estructurado para formalizar las cadenas de valor y mercados más transparentes, establecer reglas equitativas y reforzar el cumplimiento de la normativa comercial, legal y fiscal por todos los actores.

2. Objetivos

Para ello, unos de los objetivos de las redes de innovación fue poner en común una hoja de ruta para cada sector, analizando con los grupos de interés participantes las oportunidades y fortalezas que permitan su desarrollo, pero también las amenazas y sus debilidades que pueden ser barreras para el mismo (BRENKO et al., 2018).

Los resultados de este aprendizaje común del colectivo de la red de innovación en castaña y piñón se han sometido al final del proceso a una validación por un panel de expertos, asimilando la metodología de un proceso DELPHI de consulta prospectiva, cuyos resultados se exponen en la presente comunicación.

3. Metodología

Un proceso DELPHI consiste en una consulta estructurada de un panel de expertos que se somete a una serie de preguntas para llegar mediante varias rondas de consulta individual a una posición común consensuada. Con este fin, cada experto puede contrastar y revisar en las sucesivas rondas sus respuestas anteriores con las de los demás expertos.

Las consultas finales de las cinco redes de innovación de la Red Temática INCREdible, como la presente de la red de frutos y frutos secos forestales, sin embargo no agotaban el ciclo completo hasta llegar a un consenso unánime entre todos los expertos, sino se limitaron a menos rondas, en este caso a dos (BONET et al., 2021). El motivo fue fundamentalmente que no se quiso dejar de reflejar la extensión geográfica, pero también a lo largo de la cadena de valor de cada producto: las discrepancias de criterio entre los diferentes grupos de interés, así como entre países tan dispares como Francia, Portugal, España y Túnez permite vislumbrar y diferenciar perfectamente el estado actual, los retos y la proyección futura del sector en cada región y país.

En este caso, se seleccionaron 24 expertas y expertos clave en los 4 países citados: 11 de Portugal, 9 de España, 2 de Francia y 2 de Túnez. Se logró un relativo balance entre géneros con 14 hombres (59%) y 10 mujeres (41%) [nota bene, en virtud del principio de economía del lenguaje y legibilidad, en este texto se entenderá un uso genérico del masculino como referido a colectivos de personas indiferente de su género individual]. La elección de panelistas buscó cubrir los diferentes grupos de actores a lo largo de la cadena de valor de cada producto, desde propietarios y gestores forestales, recolectores, procesadores hasta comercializadores, pero también incluyendo técnicos e investigadores de diferentes asociaciones u organismos relacionados. El equilibrio geográfico implicaba por ejemplo en caso de España tener en cuenta que algunas comarcas productoras de castaña aún dirigen su cosecha casi por completo al segmento de la venta callejera estacional como castaña asada, un destino ya anecdótico como segmento de mercado en otras regiones que abastecen la industria que transforma la castaña en fresco a productos no perecederos.

A finales de 2020, se invitó a los panelistas a responder individualmente online o por correo electrónico a un primer cuestionario sobre el sector de la castaña (7 expertos) o del piñón (17 expertos) respectivamente, ponderando de 0 (descuerdo) a 10 (acuerdo total) una serie de afirmaciones seleccionadas como resultados de los tres años anteriores de actividades de la red de innovación para la puesta en común de conocimientos, o a proponer para la siguiente ronda posibles nuevas afirmaciones en cada apartado. El contenido del cuestionario era específico, uno para castaña y otro para piñón, si bien compartían la misma estructura: tras una figura descriptiva de la cadena de valor elaborada por el proceso participativo anterior de la red (BONET et al., 2021; cf. Fig. 1 y 2), un análisis DAFO (tabulando las principales fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas) del sector y una lista abierta de sus principales retos a lo largo de su cadena de valor (producción y cosecha, procesamiento, comercialización, otros) y una lista de acciones políticas prioritarias para aumentar la competitividad y resiliencia del sector.

Después de la primera ronda, se proporcionaba a cada miembro del panel un resumen de las respuestas anonimizadas de todo el panel, para motivarle en una segunda ronda a revisar sus respuestas anteriores a la luz de las respuestas de los demás miembros del panel, buscando un orden común de prioridades, incluyendo las posibles nuevas propuestas incorporadas en la ronda anterior.

Los resultados finales de esta consulta se presentarán a continuación ordenados según su valor promedio.

4. Resultados y discusión

Sector de la castaña

En la figura 1 se expone el entorno o ecosistema de actores y grupos de interés alrededor de la cadena de valor de la castaña, indicando los flujos del producto y los eslabones de la cadena. Las castañas son cosechadas sobre todo en sotos y plantaciones de particulares, aunque pueden situarse sobre suelo de monte público. La cosecha la realiza normalmente el mismo propietario o mano de obra contratada, y la vende en fábrica o al comercio en fresco, con frecuencia a través de cooperativas de productores, aunque todavía es relevante el eslabón del intermediario viajante que compra la castaña en origen, con frecuencia de manera informal. Una de las modificaciones surgidas del panel de expertos consultados fue precisamente relativizar el rol actual de éste último y resaltar la modernización de los otros canales de comercialización más directos, incluso llegando a la tienda, restaurante o consumidor final sin pasar por la distribución mayorista. También se reclamó en la figura reflejar el autoconsumo de castaña propia, y su integración con otros productos o servicios del soto (miel, setas, caza, etc.).

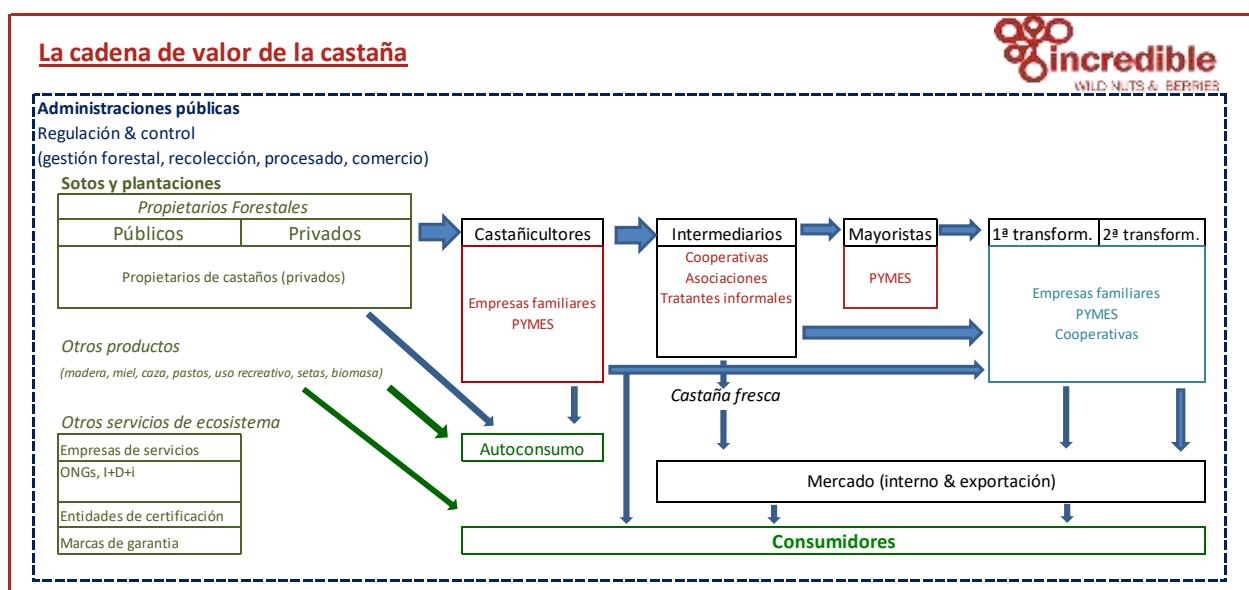


Figura 1. Ecosistema de actores alrededor de la cadena de valor de la castaña.

En las ponderaciones del análisis DAFO (tabla 1) fue algo sorprendente que ni la avispa del castaño (*Dryocosmus kuriphilus*), ni el chancro (*Cryphonectria parasitica*) fueran considerados ya amenazas prevalentes, a diferencia a otras encuestas anteriores a cultivadores de castaña muy alarmados (cf. PALETTTO et al., 2018). Posiblemente es un indicio de que el sector considera los programas integrados de lucha biológica para ambos actualmente como éxito, aunque por otra parte estas mismas actuaciones desarrolladas por instituciones públicas tampoco figuran entre las fortalezas más reconocidas, tal vez porque esta lista se centró más en las excelencias del producto mismo que en el sector. Por el contrario, existe conciencia de los impactos del cambio climático como la amenaza y el reto más urgente del sector. Las mencionadas diferencias entre regiones en la tendencia del producto fresco o asado hacia su procesamiento implicaron que no todas las propuestas nuevas (*en cursiva*) suscitaran consenso en su valoración. En la tabla 1 se han resaltado en negrita aquellas puntuaciones por encima de 7 sobre 10.

Tabla 1. Valoración de 1 (bajo) a 10 (alto) de los temas del cuestionario sectorial de la castaña por el panel de expertos.

	Media	dvt
FORTALEZAS		
Producto de alta calidad (valores nutricionales)	9,4	0,8
<i>Alimento sin gluten para dieta de celiacos</i>	8,3	2,1
<i>Ingrediente versátil para platos dulces o salados</i>	8,0	2,0
Alta valoración por el consumidor (alimento tradicional, connotación de patrimonio cultural, recurso natural con valores ambientales asociados, servicios de ecosistema adicionales)	7,3	1,7
Sector bien organizado a escala regional, nacional y europea (castañicultores, organizaciones, marcas regionales)	6,5	2,4
Control biológico de los agentes bióticos posible o incluso logrado (cepas hipovirulentas del chancro, patrones resistentes a la tinta, <i>Torymus sinensis</i> como parasitoide de la avispa)	6,3	1,7
Apoyo de un núcleo fuerte de Investigación y Desarrollo en castaño	6,0	1,6
<i>Identidad de producto regional</i>	4,5	2,3
DEBILIDADES		
Tinta (<i>Phytophthora sp.</i>)	9,0	1,4
Gestión de muchos sotos de castaño no es profesional (minifundio, propiedad no clara, bajo grado de asociacionismo, baja grado de innovación, gestión tradicional sin base científica, árboles extra-maduros, mal estado sanitario)	7,3	2,2
Avispilla del castaño (<i>Dryocosmus k.</i>)	6,4	2,8
Valor añadido no es retenido local/regionalmente (2nd transformación en otro lugar)	6,3	2,4
Chancro (<i>Cryphonectria p.</i>)	5,5	3,7
Acceso es limitado para pequeños productores al mercado con precios justos	5,0	1,7
<i>Falta de promoción comercial</i>	4,0	4,0
Falta de estándares de calidad aplicados en el procesado (1ª transformación)	3,5	1,9
<i>Falta de renovación de plantaciones (abandono por tinta)</i>	2,7	3,1
<i>Estacionalidad del consumo</i>		
<i>Producto perecedero (en comercio)</i>		
OPORTUNIDADES		
Mejorar de estrategia de marketing (ferias, cultura culinaria)	9,0	1,2
Técnicas de manejo mejoradas (basadas en I+D+i)	8,4	1,9
Productos/segmentos nuevos (cerveza de castaña, harina sin gluten)	8,1	1,9
Sostenibilidad del cultivo (sotos extensivos, alto valor natural)	8,0	1,3
Demanda sostenida o creciente (alimento tradicional y saludable)	8,0	1,3
Paisaje cultivado diverso es más resistente al fuego (paisajes valorados también para turismo, <i>local flair</i>)	7,4	2,1
Expansión en nuevas plantaciones (variedades, economía de escala)	7,3	2,2
Mejorar la diferenciación comercial entre variedades	6,8	2,1
AMENAZAS		
Cambio climático (sequías, riesgo de incendios, decaimiento de sotos extramaduros)	9,9	0,3
Nuevos plagas o enfermedades otros chancros, p.ej. <i>Gnomoniopsis castaneae</i>	8,2	1,6
<i>Falta de control sanitario (larvas, pudriones, etc.) en castaña vendida en fresco</i>	6,7	1,5
Competencia de castaña china importada (con confusión por parte del consumidor)	5,3	1,5
Falta de mano de obra especializada para castañicultura	3,8	1,5
RETOS PARA LA CASTANICULTURA, PRODUCCIÓN Y COSECHA		
Adaptarse al Cambio climático	9,4	0,9
Control integrado efectivo de plagas y enfermedades del castaño	9,1	0,9
Modernización y agrupación de productores locales-regionales	7,8	0,5

	Media	dvt
Recuperación de sotos tradicionales	5,9	2,7
Establecimiento de nuevas plantaciones	6,1	2,8
RETOS PARA LA PRODUCCIÓN DE CASTAÑAS		
Desarrollo de nuevos productos (más valor añadido)	8,8	1,5
Apoyo institucional para PYMES del sector en áreas rurales	8,3	1,3
Etiquetado, certificado, trazabilidad (cadena de custodia)	8,1	2,3
Identidad preservada del producto (variedad/especie botán., origen)	7,5	1,9
Normas para una Calidad certificada	7,5	1,9
Maquinaria pequeña para procesamiento artesanal	7,0	2,6
RETOS PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE CASTAÑAS		
Perfilar mejor la Identidad del producto (diferenciación comercial p.ej. de la castaña china importada)	9,1	1,0
Trazabilidad & etiquetado (marcas regionales & de cooperativa, cooperativa de segundo grado, certificación)	8,5	1,7
Segmento de mercado de castaña en fresco	7,5	3,0
Venta de castaña asada: dignificar la figura del castañero callejero	6,7	3,1
Conservación en frío para venta en fresco	6,7	3,1
Segmento de mercado de castaña en fresco	6,3	2,9
Envases innovadores		
Presentación (aspecto) de castañas desparasitadas		
OTROS RETOS DEL SECTOR DE LA CASTAÑA		
Integración de los actores de la cadena de valor Interprofesionales (un reto social y político)	9,4	0,8
Educación, formación y concienciación (un reto social and de comunicación)	8,3	1,3
Integración con el sector local de servicios (turismo, gastronomía, patrimonio cultural, incluso micoturismo)	8,1	1,4
ACCIONES PRIORITARIAS A ABORDAR PARA FORTALECER EL SECTOR DE LOS FRUTOS SECOS FORESTALES		
Asegurar la disponibilidad del recurso a largo plazo en el contexto del cambio global	9,8	0,5
Reforzar investigación aplicada y desarrollo tecnológico en castaña y piñón para:		
Comprender y mitigar los impactos del Cambio climático	9,7	0,6
Desarrollo de Manejo integrado/biológico de las plagas y enfermedades	9,7	0,6
Gestión del recurso	8,3	1,3
Mejorar la movilización de los recursos mediante		
Gestión optimizada de plantaciones intensivas (injertadas)	8,3	0,6
Gestión forestal multifuncional (también en forestaciones recientes)	4,3	3,2
Marketing, innovación de producto y concienciación del consumidor	8,0	2,0
Integración interprofesional de los agentes de la cadena de valor	8,0	2,3
Respaldar la certificación del producto (PEFC, FSC, FairWild & alimento ecológico)	6,8	2,2
Refuerzo de la trazabilidad y diligencia debida "del monte a la mesa"	5,5	3,1
Fortalecer la identidad de producto de los frutos secos forestales gourmet mediterráneos	3,5	2,5
Calidad del procesado (y etiquetado diferencial de ella)	7,3	1,0
Implementar códigos y normas de calidad and de su trazabilidad		
Protección y desarrollo de castaños actualmente no bajo cultivo	6,0	1,0

Sector del piñón

También en el caso del piñón había claras diferencias regionales en las respuestas, según el estado de desarrollo tecnológico e integración de su sector. Respondieron seis de los ocho expertos portugueses invitados, y cinco de los siete españoles. Además existía cierta división de prioridades entre los gestores forestales e investigadores más orientados hacia una selvicultura multifuncional de pinares un lado, y los propietarios privados por otro, que especialmente en Portugal y Cataluña han invertido en los últimos años millones de euros en plantaciones nuevas, injertadas o no, con un enfoque agroforestal o de cultivo para la producción de piñón, usando insumos agrícolas (fertilizantes, abonos, pesticidas, últimamente incluso riego). Un tercer grupo con intereses

diferentes fueron los industriales y comercializadores, poniendo otros acentos que los productores primarios.

La cadena de valor del piñón y su entorno de diferentes grupos de interés es más compleja que en el caso del castaño, ya que en muchas regiones se sigue recogiendo piña del monte, implicando una gama más amplia de servicios ecosistémicos, actores y normativas a considerar. La propia cadena se centra en el flujo de las piñas y piñones desde el monte hasta el consumidor (Figura 2, parte central). A menudo, una misma empresa integra varios eslabones de la cadena, tales como recolectores que procesan su propia piña o procesadores que tienen cuadrillas de recolección propias, cooperativas o instalaciones de procesamiento compartidas entre varias pequeñas empresas familiares, que se concentran fuertemente a nivel local en unos pocos pueblos o comarcas con arraigada tradición piñera.

Las piñas y piñones con o sin cáscara se comercializan y revenden entre los recolectores autónomos de piñas, intermediarios, empresas familiares, transformadores y cooperativas (flechas entrecruzadas en la figura). Otro aspecto planteado por sector al validar la figura 2 fue la persistencia de algunas prácticas ilegales, la compra de piña recogida sin permiso, el comercio informal y mercado negro de piña y piñón, o la afluencia de grandes cantidades de dinero en efectivo de origen desconocido introducido por actores extranjeros en las subastas locales (Fig. 2, parte inferior), ya que estos negocios implican movimientos transfronterizos cuya trazabilidad y fiscalidad no siempre es garantizada, y que se entremezclan con la cadena de valor formal.

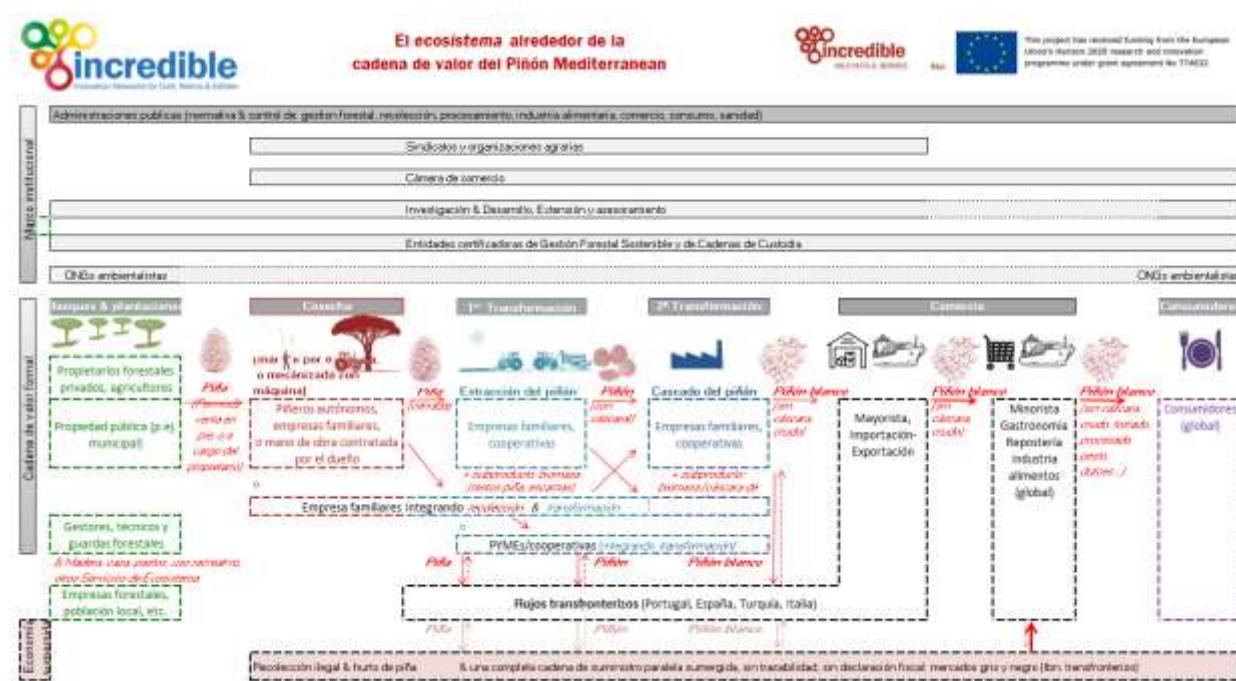


Figura 2. Ecosistema alrededor de la cadena de valor del piñón mediterráneo.

Pero otra de las causas de esta confusión entre lo que realmente se mueve y lo que se declara es la ausencia total de un código comercial diferenciado para piña cerrada que implica el fracaso de cualquier estadística comercial sólida, incluido la de importación-exportación: o las piñas se declaran bajo el código NC 0802 90 50 "Piñones 'Pinus spp.', frescos o secos, incluso sin cáscara o pelados", o simplemente no se pueden especificar en absoluto, aparte que también las semillas de varias especies asiáticas como *Pinus koraiensis*, *gerardiana* o *sibirica* se importan y comercializan en Europa bajo este mismo código como el genuino piñón mediterráneo.

La Tabla 2 informa de la puntuación media y su desviación estándar para cada tema incluido, siendo el único cambio mayor respecto a la lista inicial la baja ponderación de varias fortalezas. Las debilidades, amenazas y retos más preocupantes para el sector del piñón están relacionados con la falta de control de las plagas, sobre todo con la chinche exótica *Leptoglossus occidentalis* y con el impacto ya manifiesto del cambio climático, así como con la persistencia de robos de piña y del mercado negro que no ha sido saneado por las autoridades, ni por el propio sector demasiado débil. Esta falta de vertebración e integración tanto horizontal como vertical de la cadena de valor es el tenor de todo el análisis, condicionando la mayoría de los fracasos reportados.

Tabla 2. Valoración de 1 (bajo) a 10 (alto) de los temas del cuestionario sectorial del piñón por el panel de expertos.

	Mean	dvt
FORTALEZAS		
Producto de altísima calidad (valores nutricionales, sabor, patrimonio cultural culinario)	9,0	0,8
Árbol bien adaptado a condiciones semiáridas y suelos pobres	7,6	0,8
Cosecha de piña mecanizada	7,2	1,6
Co-producción en montes multifuncionales	7,1	2,6
Buen conocimiento sobre ecología, genética y gestión forestal del pino	6,9	1,2
Técnicas selvícolas optimizadas para piña (coincide con una estructura abierta, más resiliente a los incendios)	6,8	1,3
Material genético clonal mejorado (registrado y disponible)	6,5	2,7
Gran disponibilidad de instalaciones de procesado	6,0	2,2
DEBILIDADES		
No se dispone de esquemas de control biológico o integrado para las plagas más dañinas de la piña	8,3	1,4
Baja productividad en pinares bajo estrés por sequías, con fuerte vejería entre años e incluso frecuentes fallos de cosecha por años secos	8,1	0,6
Descontrol y falta de información sobre la producción real y precios Persisten canales informal o de mercado negro (no hay trazabilidad)	7,8	0,6
Confusión o desconocimiento del consumidor para diferenciar en la tienda el piñón mediterráneo de piñones asiáticos más baratos	7,8	0,8
Actualmente, muchos pinares ya están en una situación límite por el cambio climático	7,6	1,3
El perfil de producto no está definido Hay muy pocas denominaciones de origen o marcas regionales, ni estándares de procesamiento que se cumplan universalmente	7,4	1,7
Piñones son frutos secos, pero como no son agrícolas, no reciben ayudas de la PAC como los otros frutos secos.	7,2	1,1
Ausencia de estructuras u organizaciones sectoriales (a toda escala) Pequeñas empresas familiares compitiendo entre ellas	7,2	1,9
OPORTUNIDADES		
Expansión en nuevas plantaciones a marco amplio (injertadas)	8,4	1,3
Campañas para promoción y educación del consumidor (alimento gourmet silvestre, saludable y sostenible)	7,8	1,9
Certificación de Cultivo Ecológico	7,3	1,8
Indicación Geográfica Protegida o figuras similares (IGP, D.O., etc.)	7,3	1,5
Certificación de Gestión Forestal Sostenible (PEFC, FSC, FairWild)	7,0	1,8
Producto regional "kilómetro 0"	7,0	1,4
AMENAZAS		
Plagas y enfermedades		
Chinche del piñón, <i>Leptoglossus occidentalis</i>	8,8	0,8
Larva perforadora de la piña <i>Dioryctria mendacella</i>	7,5	1,2
Procesionaria, <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	7,5	0,5

	Mean	dvt
otras	7,0	0,0
Recolección otoñal precoz de piña inmadura (& hurto de piña)	8,3	1,3
Cambio climático (incremento de sequías)	8,2	1,0
Competencia de importaciones de diferentes especies de piñón asiático	8,0	0,5
Falta de mano de obra especializada (sobre todo para apeo manual)	7,2	1,1
Abandono de la selvicultura del pino en favor de querácneas	7,2	2,6
Falta de regeneración del pino piñonero, sustitución por encinar mixto	6,0	2,5
RETOS PARA LA PRODUCCIÓN Y COSECHA DE PIÑA		
Control integrado/biológico de las plagas de piña	8,7	0,7
Lucha contra el hurto de piña y el mercado negro que alteran los precios en origen	8,7	0,7
Planta de calidad	8,7	0,6
Cambio climático ya en marcha (adaptación y mitigación de sus efectos)	8,4	1,3
Mejoras e innovación en técnicas de cosecha	8,3	0,6
Apoyo legal y político al sector	8,3	1,2
Sistema de estimación/monitorización de cosecha(s) próxima(s) (modelos basados en factores climáticos, muestreos, datos remotos)	7,9	1,3
Técnicas de cultivo optimizadas en plantaciones intensivas (injertado, poda, fertilización, incluso riego)	7,9	0,7
Gestión forestal priorizando la producción de piña en las forestaciones de piñonero (desde reforma PAC 1993)	7,6	0,7
Asociacionismo o agrupaciones de propietarios privados (con personal técnico propio, cooperativismo)	7,6	1,0
Observatorio público de precios y estadísticas de producción (transparencia del mercado, precios justos en origen)	7,2	1,4
RETOS PARA LA INDUSTRIA PIÑERA		
Implementación (inter-)operativa de sistema(s) de trazabilidad con diligencia debida "del monte a la mesa", cerrado a piña sin papeles	8,0	1,8
Valorización de los restos de piña y cáscara	8,0	0,0
Especificamente, normas de calidad del procesado para piña abierta en estufa para evitar un producto de peor calidad en el mercado	7,6	1,1
Implementación de protocolos y normas de calidad para fecha de cosecha, almacenamiento y procesado de la piña y el piñón	7,4	1,8
RETOS PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE PIÑÓN		
Perfilar mejor la identidad del producto del Piñón Mediterráneo (promoción, educación del consumidor global sobre este alimento gourmet saludable, su connotaciones de estilo de vida y cultura gastronómica mediterránea). Diferenciarlo comercialmente de piñón chino o paquistaní , que son otra cosa diferente.	8,2	1,0
Cumplimiento de la normativa europea alimentaria y la específica de la UNECE para piñón (trazabilidad, etiquetado de la especies botánica y el origen)	8,0	0,9
Desarrollo de marcas y garantías de calidad de este fruto seco gourmet (Denominaciones de origen, Indicaciones Geográficas Protegidas, marcas e garantía regionales, Certificación Gestión Forestal Sostenible o de alimento ecológico, Normas de calidad de procesado, etc.)	7,8	1,3
OTROS RETOS DEL SECTOR PIÑERO		
Investigar las causas de la pérdida de producción actual y de la vejería	8,8	1,5
Una lonja pública de subasta de piña/piñón, con control transparente de la calidad	8,5	1,7
Integración de los actores de la cadena de valor Una Interprofesional, reto social and político Una Asociación Europea del Piñón como grupo de interés/presión	8,2	0,4
Formación/profesionalización de todos los actores de la cadena de valor	7,4	0,5
ACCIONES PRIORITARIAS A ABORDAR PARA FORTALECER EL SECTOR DE LOS FRUTOS SECOS FORESTALES		
Asegurar la disponibilidad del recurso a largo plazo en el contexto del cambio global Reforzar investigación aplicada y desarrollo tecnológico en castaña y piñón para: Comprender y mitigar los impactos del Cambio climático, y Desarrollar el manejo integrado/biológico de las plagas y enfermedades	9,1	0,7

	Mean	dvt
Gestión del recurso - Mejorar la movilización de los recursos mediante Gestión forestal multifuncional (también en forestaciones recientes) Gestión optimizada de plantaciones intensivas (injertadas)	8,8	1,0
Marketing, innovación de producto y concienciación del consumidor Integración interprofesional de los actores de la cadena de valor Refuerzo de la trazabilidad y diligencia debida "del monte a la mesa" Respaldar la certificación del producto (PEFC, FSC, FairWild & alimento ecológico) Fortalecer la identidad de producto de los frutos secos forestales gourmet mediterráneos	7,7	1,5
Calidad del procesado (y etiquetado diferencial de ella) Implementar códigos y normas de calidad and de su trazabilidad	7,5	1,6
OTRAS MEDIDAS		
<i>Aumentar los recursos para investigación en plagas y enfermedades</i>	8,8	1,5
<i>Mejorar la presencia del sector en internet y social media</i>	7,8	1,5

5. Conclusiones

A modo de Conclusión, queremos dar voz a un propietario forestal portugués emprendedor, miembro del panel sectorial del piñón, que comentaba en su email que acompañaba sus respuestas:

"Personalmente, creo que el enfoque que hemos tenido en común sobre la producción del pinar es el correcto. Pero parece que gran parte de la preocupación de quienes han respondido tiene que ver más con el tema de la formación de precios. Quisiera recordar que los precios de la piña están en niveles históricamente altos, en contraste con los demás productos forestales. Desde 2012, el precio medio de venta supera los 790 €/t de piña. Creo que es un gran error pretender que la sostenibilidad del futuro del sector dependa de precios aún más altos en origen.

No puedo cultivar trigo que produzca 2 toneladas por hectárea y luego pretender que el mercado me pague un precio lo suficientemente alto por kilo para que sea rentable. La mayoría de los productores forestales no gestionan, ni invierten en operaciones básicas de mantenimiento del pinar, sino tan sólo venden su producción a un intermediario en junio sin siquiera conocer la productividad anual, reciben el dinero por adelantado y luego pretenden que la falta de rentabilidad del pinar se soluciona con el precio.

No debemos olvidar que el piñón, a pesar de todas sus cualidades, tiene que ponerse en el mercado a un precio competitivo que permita a todos los implicados en la cadena de valor ganar su margen.

Sin duda hay que promover una correcta formación de precios y promocionar las increíbles características de los piñones (el único fruto seco de producción ecológica) pero la producción tiene que trabajar para aumentar la productividad de los piñones y cambiar la tecnología utilizada en la recolección (¡completamente arcaica!).

No tiene sentido invertir en la promoción de un producto que ya no podemos producir en cantidad suficiente para que la industria siga funcionando."

Su última frase es tal vez la más clara para describir la disyuntiva en la que se encuentra la producción de alimentos silvestres en tiempos del cambio climático que erosiona la base productiva misma de estos productos.

6. Agradecimientos

El trabajo presentado en esta comunicación se realizó dentro de la tarea 2.2 de la Red Temática europea INCREdible ‘*Innovation Networks of Cork, Resins and Edibles in the Mediterranean basin*’, financiada por la Unión Europea a través de su programa marco Horizonte2020 bajo el nº de contrato 774632, y habría sido imposible sin la colaboración activa de los panelistas, de asociaciones de propietarios forestales, industrias y comercializadoras.

7. Bibliografía

BELLAT, J.L.; DASQUE, J.; 2019. European Chestnut White Paper. EUROCASTANEA/AREFLH, 57 p., Bordeaux.

BONET, J.A.; ANDRIGUETTO, N.; BAUDRILLER, H.; BRENKO, A.; BURSIC, D.; CALVO, J.; CRISTÓBAL, R.; HARDILLIER, C.; LIBBRECHT, S.; MALTONI, S.; MARKOS, I.; MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J.; MUTKE, S.; OLIACH, D.; PAULO, J.A.; RODRÍGUEZ, A.; SANTOS-SILVA, C.; STARA, K.; TAGHOUTI, I.; TOMÉ, M.; VIDALE, E.; MAURI, E.; 2021. iNet final report, knowledge gaps and innovation opportunities and barriers - Deliverable 2.3. H2020 project no. 774632 RUR-2017-1 European Commission, 67 p., Bruxelles.

BRENKO, A.; BURŠIĆ, D.; ZGRABLIĆ, Z.; MARTINEZ DE ARANO, I.; 2018. A Road Map for innovating NWFPs value chains, Deliverable D1.3. H2020 project no.774632 RUR-10-2016-2017 European Commission, 43 p., Bruxelles.

BROODBANK, C.; 2013. The Making of the Middle Sea: A History of the Mediterranean from the Beginning to the Emergence of the Classical World. Thames and Hudson Ltd., 672 p., London. ISBN 978-0500051764

CALAMA, R.; GORDO, J.; MUTKE, S.; CONDE, M.; MADRIGAL, G.; GARRIGA, E.; ARIAS, M.J.; PIQUE, M.; GANDIA, R.; MONTERO, G.; PARDOS, M.; 2020. Decline in commercial pine nut and kernel yield in Mediterranean stone pine (*Pinus pinea* L.) in Spain. *iForest* 13(3), 251–260. doi:[10.3832/ifor3180-013](https://doi.org/10.3832/ifor3180-013)

FERNÁNDEZ MANSO, A.; MARTÍNEZ, C.; NESPRAL, A. (coords.); 2010. Un futuro para el castaño. Estudios sobre el castaño en la comarca de El Bierzo. Asociación A Morteira, 169 p., Ponferrada. ISBN 978-84-614-1807-7.

HAWS, J.; 2004. An Iberian perspective on Upper Paleolithic plant consumption. *Promontoria* 2(2): 49-106. [open access](#)

KÜÇÜKER, D.M.; BASKENT, E.Z.; 2017. State of stone pine (*Pinus pinea*) forests in Turkey and their economic importance for rural development. *Opt. Médit. A* 122, 79-84. [open access](#)

MARTÍNEZ DE ARANO I., MALTONI S., PICARDO A., MUTKE S., et al. (2021). Non-wood forest products for people, nature and the green economy. Recommendations for policy priorities in Europe. A white paper based on lessons learned from around the Mediterranean. Series *Knowledge to Action* nº 5. EFI/FAO, 85 p., Barcelona, doi:[10.36333/k2a05](https://doi.org/10.36333/k2a05)

MUTKE, S.; CALAMA, R.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C.; MONTERO, G.; GORDO, J.; BONO, D.; GIL, L.; 2012. Mediterranean Stone Pine: Botany and Horticulture. *Horti. Rev.* 39: 153–291. doi:[10.1002/9781118100592.ch4](https://doi.org/10.1002/9781118100592.ch4)

MUTKE, S.; PASTOR, A.; PICARDO, A.; 2013. Toward a traceability of European pine nuts "from forest to fork". *Opt. Medit. A* 105, 105-109. [open access](#)

MUTKE, S.; BONET, J.A.; CALADO, N.; CALVO, J.; TAGHOUTI, I.; REDONDO, C.; MARTINEZ DE ARANO, I.; 2019a. Innovation networks on Mediterranean Non Wood Forest Products. *J. Innov. Sci. Engineering* 3(1): 1–19. [open access](#)

MUTKE, S.; VENDRAMIN, G.G.; FADY, B.; BAGNOLI, F.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C.; 2019b. Molecular and Quantitative Genetics of Stone Pine (*Pinus pinea*). En: Nandwani, D. (ed.): Genetic Diversity in Horticultural Plants. Sustainable Development and Biodiversity 22. 61–84. Springer International Publishing, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-96454-6_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96454-6_3)

MUTKE, S.; PASTOR, A.; RUBIO, R.; 2020. Pine nuts and chestnuts in your store - Mediterranean or imports from Eastern Asia? INCREdible fact sheet n° 20253. [open access](#)

NIEVES-ALDREY, J.L.; GIL-TAPETADO, D.; GAVIRA, O.; BOYERO, J.R.; POLIDORI, C.; LOMBARDERO, M.J.; BLANCO, D.; REY DEL CASTILLO, C.; RODRIGUEZ ROJO, P.; VELA, J.M.; WONG, E.; 2019. *Torymus sinensis* Kamijo, a biocontrol agent against the invasive chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu in Spain: its natural dispersal from France and the first data on establishment after experimental releases. *Forest Systems* 28(1), e001. doi:[10.5424/fs/2019281-14361](https://doi.org/10.5424/fs/2019281-14361)

OCHANDO, J.; LÓPEZ-SÁEZ, J.A.; PÉREZ-DÍAZ, S.; RAMOS-FERNÁNDEZ, J.; MUNUERA, M.; FERNÁNDEZ, S.; GALACHO-JIMÉNEZ, F.B.; LUELMO-LAUTENSCHLAEGER, R.; CARRIÓN, J.S.; 2020. A new pollen sequence from southern Iberia suggesting coastal Pleistocene phytodiversity hotspot. *Rev. Palaeobot.. Palyno.* 281, 104281. doi:[10.1016/j.revpalbo.2020.104281](https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104281)

OCHANDO, J.; AMORÓS, G.; CARRIÓN, J.S.; FERNÁNDEZ, S.; MUNUERA, M.; CAMUERA, J.; JIMÉNEZ-MORENO, G.; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P.; BURJACHS, F.; MARÍN-ARROYO, A.B.; ROKSANDIC, M.; FINLAYSON, C.; 2021. Iberian Neanderthals in forests and savannahs. *J. Quatern. Sci.* doi: [10.1002/jqs.3339](https://doi.org/10.1002/jqs.3339)

PALETTO, A.; FOCACCI, M.; DE MEO, I.; 2018. Short communication: Farmers' opinions on chestnut (*Castanea sativa* Mill.) supply chain development strategies: A case study in Central Italy. *Forest Systems* 27(2), eSC02. doi:[10.5424/fs/2018272-13081](https://doi.org/10.5424/fs/2018272-13081)

SHEPPARD, J.P.; CHAMBERLAIN, J.; AGÚNDEZ, D; BHATTACHARYA, P.; CHIRWA, P.W.; GONTCHAROV, A.; SAGONA, W.C.J.; SHEN, H.L.; TADESSE, W.; MUTKE, S.; 2020. Sustainable Forest Management Beyond the Timber-Oriented Status Quo: Transitioning to Co-production of Timber and Non-wood Forest Products—a Global Perspective. *Current Forestry Reports* 6, 26-40. doi:[10.1007/s40725-019-00107-1](https://doi.org/10.1007/s40725-019-00107-1)

WOLFSLEHNER, B.; PROKOFIEVA, I.; MAVSAR, R. (eds.); 2019. Non-wood forest products in Europe: Seeing the forest around the trees. *What Science Can Tell Us* 10. European Forest Institute, 113 p., Joentsuu. ISBN 978-952-5980-77-6 [open access](#)

ZILHÃO, J.; ANGELUCCI, D.E.; ARAÚJO IGREJA, M.; ARNOLD, L.J.; BADAL, E.; CALLAPEZ, P.; CARDOSO, J.L.; D'ERRICO, F.; DAURA, J.; DEMURO, M.; DESCHAMPS, M.; DUPONT, C.; GABRIEL, S.; HOFFMANN, D.L.; LEGOINHA, P.; MATIAS, H.; MONGE SOARES, A.M.; NABAIS, M.; PORTELA, P.; QUEFFELEC, A.; RODRIGUES,F.; SOUTO, P.; 2020. Last Interglacial Iberian Neandertals as fisher-hunter-gatherers. *Science* 367(6485), eaaz7943. doi:[10.1126/science.aaz7943](https://doi.org/10.1126/science.aaz7943)