



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · 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

¿Es posible introducir *Tuber magnatum* Picco en los bosques españoles?

MARTÍNEZ DE AZAGRA PAREDES, A.¹, DEL RÍO SAN JOSÉ, J.² y ORIA DE RUEDA SALGUEIRO, J.A.³

¹ U. D. de Hidráulica e Hidrología. Dpto. de Ingeniería Agrícola y Forestal. ETSIAA. U. de Valladolid. amap@uva.es

² Servicio Territorial de Medio Ambiente. Delegación Territorial de Valladolid. Junta de Castilla y León. riosanjo@jcyll.es

³ Botánica Forestal. Dpto. de Ciencias Agroforestales. ETSIAA. U de Valladolid. oria@agro.uva.es

Resumen

La trufa blanca es el hongo más cotizado del mundo. Es una especie simbiote que no habita en la Península Ibérica pero que puede hacerlo en numerosas formaciones boscosas, si es introducido de manera adecuada. En este trabajo se elabora cartografía que orienta sobre los ecosistemas y los lugares idóneos para *Tuber magnatum* en España. También se propone una manera para realizar la introducción de esta especie y para seguir su evolución en monte. El interés económico y social de esta medida es innegable y plantea un reto a la gestión forestal puesto que los suelos en donde puede vegetar este hongo hipogeo son mayoritariamente de propiedad pública.

Palabras clave

Repoblación fúngica, truficultura, micoturismo, desarrollo rural, política forestal, *Tuber magnatum*.

1. Introducción

La trufa blanca preciada es un ascomiceto simbiote, hipogeo, con forma globosa e irregular, de tamaño variable y aspecto modesto (figura 1). Su peridio es liso y de color ocre claro. Su gleba o “carne” interior es grisácea con unas venas finas y sinuosas de color blanco. Nada sorprende a la vista. Es su penetrante y exquisito aroma quien otorga a esta trufa su inigualable fama. *Tuber magnatum* vive y fructifica con numerosos árboles y arbustos, muchos de los cuales están presentes en España. La bibliografía consultada cita a cuatro robles, cuatro álamos, tres sauces, los tilos, los carpes y el avellano como simbiotes de esta trufa (tabla 1). Toda la producción de *Tuber magnatum* actual es silvestre. No procede de plantaciones, pues estas han fracasado en su inmensa mayoría (Bencivenga y Baciarelli, 2012). El precio de esta trufa fluctúa entre los 1.500 y los 7.000 euros·kg⁻¹ según venga la temporada. En años secos y calurosos la producción disminuye mucho y los precios se disparan. Siempre cotiza por encima de la trufa negra (*Tuber melanosporum*) (el doble como orden de magnitud, pero hay temporadas en las que llega a valer cuatro veces más). La tabla 2 ofrece una comparativa entre ambas trufas, que son las setas más preciadas del mundo junto con *Tricholoma matsutake* y *Ophiocordyceps sinensis*.

El área de distribución natural de *Tuber magnatum* es extensa aunque localizada. Comprende los siguientes países: Francia, Suiza, Italia, Eslovenia, Croacia, Hungría, Serbia, Rumanía, Bulgaria y Grecia (Belfiori et al. 2020). A la vista de que su mapa de distribución se va agrandando con nuevos e inesperados hallazgos (Vasquez et al, 2014) no debe descartarse su presencia en países limítrofes, como Albania, Bosnia-Herzegovina, Montenegro o Macedonia del Norte. En cambio, y aunque no pueda aseverarse con total certeza por ser un hongo subterráneo esquivo a nuestra mirada, la trufa blanca no crece en España. En este trabajo y como planteamiento de partida, se postula que *Tuber magnatum* está ausente por no haber tenido la posibilidad de llegar a ecosistemas propicios existentes en la Península Ibérica. Se trata de un problema de ecesis. Los vectores naturales de este hongo (jabalíes, ardillas, tasugos, garduñas, conejos, otros mamíferos menores y algunos insectos) no lo han traído a España. Por lo tanto, habremos de ser nosotros quienes lo hagamos, si queremos enriquecer nuestra micoflora con tan selecto representante.

Las exigencias ecológicas de la trufa blanca se conocen con bastante precisión a partir del conocimiento ambiental tradicional de sus fructificaciones (Pieroni et al. 2016). Los trabajos de Primavera & Lulli (1992); Raglione & Owczarek (2005); Bragato et al (2009), Rellini et al (2011) o Dincă & Dincă (2015) permiten llegar a la siguiente descripción general de los suelos preferidos por esta especie: azonales, calizos, con una baja densidad aparente y muchos macroporos, esponjosos y bien aireados, inmaduros, ribereños y de vega (aluviales o coluviales, rejuvenecidos por inundaciones periódicas) o suelos en ladera (rejuvenecidos con materiales procedentes de áreas superiores por micro-deslizamientos), edafoclima húmedo, pobres en nutrientes por su juventud y por el lavado que realiza el lluvioso clima del lugar.

Los esfuerzos cartográficos sobre la distribución de la especie se apoyan en los ámbitos de conocimiento que hemos indicado: por un lado, trazar las rutas geográficas de expansión postglacial de la especie (Mello et al. 2006) para identificar poblaciones y para contribuir a determinar si existe diferenciación genética entre ellas (Frizzi et al. 2001; Belfiori et al. 2020); y, por otro lado, definir mapas de aptitud del terreno para la producción de trufa blanca con el fin de guiar la búsqueda de truferas. Para esta segunda línea de trabajo no se puede recurrir a metodologías de trazado del nicho fundamental por la falta de disponibilidad de datos sobre ubicaciones de tales truferas (Figliuolo et al. 2013).

La escasez de bases de datos sobre truferas y su incipiente desarrollo, como globalFungi (Větrovský et al. 2020), obliga a utilizar diferentes aproximaciones metodológicas según sea la escala de trabajo. Para la extensión del territorio adecuado se utiliza la búsqueda de terrenos análogos a las zonas productoras. Los criterios de búsqueda utilizados son las características físicas concretas propiciadas por la dinámica fluvial (Bragato et al. 2010) o bien los rangos de valores de propiedades edáficas adecuadas a la trufa blanca (Bencivenga y Baciarelli Falini, 2012). Ambas cartografías tienen que hacer frente a un serio problema de escala. Las exigencias edafoclimáticas de *T. magnatum* son muy precisas y locales, motivo por el cual la trufa blanca tiene unos nichos de pequeña extensión superficial (Di Massimo et al. 2010) dando origen a una geografía caracterizada por áreas pequeñas y teseladas (Zgrablic, 2015). Esta característica condiciona la visibilidad cartográfica del nicho de la especie a la disponibilidad de datos espaciales de grano fino o de alta resolución, los cuales no siempre están elaborados o accesibles para todas las variables a escala de país.

Para sortear este problema en la extensión regional se han elaborado mapas de aptitud del terreno para la producción de la especie (Righi y Mensio 2017; Righi, 2017) acudiendo a la metodología propuesta por la FAO (1976, 1983), obtenidos a partir de listas de factores de diagnóstico y restricciones (Boni et al. 2010; Rellini et al. 2011). Esta metodología multicriterio recurre a datos de baja resolución, ya que no pretende determinar la localización exacta del lugar idóneo sino evaluar la capacidad del terreno para la producción de la especie en estudio.

Un incipiente cultivo de trufas negras (*T. melanosporum*) se inicia en Francia en el siglo XIX con la simple promoción del hongo, es decir, procurando ponerlo en contacto con encinas o robles jóvenes, empleando para ello trufas muy maduras, pasadas. El salto cualitativo fundamental para el cultivo controlado de trufas lo da Gerard Chevalier en los años 70 del siglo pasado al desarrollar y patentar un sistema eficiente de micorrización de *Tuber melanosporum* con brinzales de encina y de roble. Tras este importante paso comienza la trufficultura propiamente dicha, que - lentamente - se va extendiendo desde Francia a España e Italia para luego saltar a países tan lejanos como Chile, Sudáfrica, Australia o Nueva Zelanda (Morcillo et al, 2015). La posibilidad de realizar repoblaciones fúngicas con otros hongos forestales simbioses de alto valor comercial y el desarrollo de la selvicultura fúngica (o micoselvicultura) se plantea en 1996 por Martínez de Azagra y Oria de Rueda. A nivel práctico, algunos viveros empiezan a ofrecer pinos niscaleros o *rovelloners* (micorrizados con *Lactarius deliciosus*, *L. sanguifluus* y *L. vinosus*) por esa época, oferta que se ha mantenido en el tiempo y que se ha ido ampliando con otras especies de trufas (*Tuber aestivum*, *T. brumale*, *T. borchii*), de turmas (*Terfezia clavaryi*) (Morte et al., 2012) e - incluso - de migueles (*Boletus edulis*) micorrizados con jaras (Mediavilla et al. 2016). La posibilidad de extender la trufficultura a la blanca se aborda en Italia a finales de los 80 siguiendo el mismo esquema utilizado para la trufa negra. Pese

a los buenos augurios iniciales (Giovannetti, 1990, 1998), hasta la fecha los resultados han sido poco alentadores por varios motivos: 1) la obtención de brinzales bien micorrizados es más difícil que con *Tuber melanosporum*, estando el proceso sujeto a numerosas contaminaciones (Chevalier & Palenzona, 2010) [al parecer, se ha conseguido recientemente de manera fiable en un vivero francés, figura 2]; 2) la trufa blanca es un hongo de tercer estadio o clímax (Pirazzi, 2001; Gregori et al, 2010) a diferencia de la trufa negra, lo que dificulta su simbiosis estable durante la juventud del arbolado; 3) las exigencias edafoclimáticas de *T. magnatum* son muy precisas y locales; y 4) el tiempo de espera hasta conseguir fructificaciones es mayor que en las plantaciones de trufa negra (unos quince años en lugar de seis o siete). Conocidas estas restricciones y dificultades, el camino a seguir, aplicando las nuevas técnicas de inoculación de hongos micorrícicos, está trazado.

2. Objetivos

Dos son los objetivos que nos marcamos con este trabajo: 1) Elaborar una cartografía de los lugares propicios para *Tuber magnatum* en España; 2) Proponer y desarrollar una metodología para realizar la introducción de esta especie en lugares adecuados y seguir su evolución en monte hasta su entrada en producción. Ambos objetivos comparten la finalidad de informar y animar a instituciones públicas y a particulares sobre la posibilidad de introducir esta valiosa especie en sus predios.

3. Metodología

3.1. Cartografía de lugares adecuados para la introducción de la especie

La elaboración de la cartografía sobre la aptitud del terreno para la producción de trufa blanca se obtiene mediante la metodología propuesta por FAO (1976, 1983), que parte de identificar los países adecuados y los factores limitantes de la producción de un cultivo, de tal forma que evalúa de forma simultánea las necesidades del producto y las implicaciones para la gestión de su producción.

La definición del área a cartografiar implica, por lo tanto, conocer los paisajes adecuados (Bragatto et al. 2010) para la trufa blanca que son una combinación de exigencias geomorfológicas, condiciones climatológicas y características edáficas. Los condicionantes geomorfológicos de los paisajes descritos en la bibliografía son: i) tramos activos de ríos donde podemos hallar suelos rejuvenecidos por procesos geomorfológicos que originan una distribución desordenada de partículas por frecuentes depósitos de material aluvial (Lulli et al. 1991; Bragato et al. 2010); ii) tramos de ladera donde se produce la acumulación de agregados del suelo, transportados a través de la pendiente por movimientos de masa. La acumulación está provocada por pequeños deslizamientos de tierra o bien por afloramientos estacionales de capas freáticas (Raglione et al. 2010). En cuanto a la climatología, el estudio del nicho realizado para la especie muestra la existencia de límites de temperaturas mínimas por debajo de las cuales la especie no prospera y la necesidad de ambientes húmedos con periodos de sequía estival cortos (Figliuolo et al. 2013). La pluviometría anual en el hábitat de la especie va desde los 500 mm en Serbia (Marjanović et al 2010) a los cerca de 1200 mm en Croacia y Eslovenia (Bragato et al. 2009), con valores promedio en torno a los 800 mm en Italia (Figliuolo et al. 2013). En cuanto al suelo, la especie destaca por su clara afinidad por terrenos calcáreos con abundancia de cationes básicos Ca^{2+} (Marjanović et al 2010). La cartografía de los paisajes adecuados se obtiene mediante la intersección de las fuentes de datos que describen la combinación de geomorfología y suelos, tanto para el paisaje de tramos de ríos (tabla 3) como para el paisaje de laderas (tabla 4).

A continuación se identifican las zonas que tienen algún factor que limita o hace inviable la supervivencia de la trufa blanca en los paisajes adecuados. Los factores limitantes considerados son i) la ausencia de planta simbiote (*p*), y ii) la localización de enclaves climáticos cuyo régimen hídrico no satisface los requerimientos de la especie y, en consecuencia, hay que plantear riegos de apoyo

(w_1) o de imitación pluviométrica (w_2) si se pretende una introducción exitosa de la trufa blanca. Las zonas con factores limitantes identifican, por lo tanto, distintas subclases FAO (tabla 5). La cartografía de las subclases se obtiene mediante la intersección de la cartografía de factores limitantes con la cartografía de los paisajes adecuados. Dentro de los ríos catalogados como calizos según CEDEX (2005), las únicas zonas que hemos excluido para la trufa blanca son los tramos de ríos con una conductividad eléctrica elevada pero cuando discurren sobre sustratos arcillosos.

Por último, se determinan las clases FAO que describen la potencialidad del terreno para la producción de trufa blanca en España. Para ello se combinan los paisajes adecuados y las subclases de factores limitantes según los criterios indicados en la tabla 6.

3.2. Sistema de introducción de la especie

Al ser *Tuber magnatum* un hongo micorrizógeno tardío o de tercer estadio, su introducción debe realizarse en bosques y árboles adultos situados en micrositios ideales para esta especie, es decir, hay que realizar inoculaciones fúngicas puntuales en la rizosfera de pies seleccionados de las especies adecuadas (tabla 1). La “siembra” de propágulos y esporas activadas se debe enterrar entre 10 y 30 cm alrededor de cada árbol objetivo junto a sus raíces. Entre dos y diez puntos de siembra por árbol, según el tamaño del pie seleccionado, es suficiente. La siembra conviene realizarla en al menos diez árboles por hectárea o en un árbol cada veinticinco metros (para bosques lineales de ribera). Interesa trabajar con densidades de siembra elevadas para simplificar y abaratar posteriormente su seguimiento. El material de siembra conviene que provenga de varios lugares diferentes y distantes entre sí para estar introduciendo variabilidad genética en la nueva población. Todos los árboles tratados deben quedar georreferenciados. Mediante catas cuidadosas de raíces y técnicas biomoleculares se diagnostica de manera segura el arraigo del nuevo hongo (el nivel de micorrización del árbol objetivo) y su ulterior evolución dentro de la miconet del monte. La posibilidad de reforzar la introducción plantando brinzales micorrizados con trufa blanca cerca de los pies adultos seleccionados también debe contemplarse, siempre que la espesura del lugar lo permita. A partir del tercer año, una visita quincenal durante los meses de octubre, noviembre y diciembre resulta adecuada para el seguimiento de los ensayos. La localización de cuerpos de fructificación hay que realizarla con ayuda de perros adiestrados.

4. Resultados

4.1. Cartografía de lugares adecuados para la introducción de la especie

Las clases FAO describen las categorías o grados de adecuación de los terrenos para la producción de una especie objetivo, en nuestro caso la trufa blanca en España y el álgebra de mapas permite cuantificar su cabida (tabla nº 7).

Los terrenos muy adecuados, categoría S1, abarcan una superficie de 6.258 km² en el paisaje de laderas y 587 km² en el paisaje de riberas (longitud equivalente de riberas de 196 km), lo que supone una superficie total muy adecuada de 6.471 km²; un área que equivale a algo más de la mitad de la superficie de una provincia promedio en España.

Los terrenos moderadamente adecuados (categoría S2) requieren la puesta en marcha de sistemas de riego que realicen riegos de apoyo o de imitación pluviométrica al menos de 1,5 a 3 meses durante el periodo estival para que la trufa blanca prospere. Estos terrenos ocupan un área de 908 km² en el paisaje de ladera y 590 km² en el paisaje de ribera (longitud equivalente de 197 km de ribera), lo que implica una superficie total moderadamente adecuada de 1.255 km² (descontando los solapes de ambos tipos de paisaje).

Los terrenos marginalmente adecuados (categoría S3) requieren la puesta en marcha de sistemas de riego que realicen riegos de apoyo o de imitación pluviométrica al menos durante 3

meses como mínimo. El área de esta categoría tiene una superficie de 1.501 km² de laderas y 589 km de riberas (longitud equivalente de 196 km de ribera), lo que supone un total de 1.888 km².

Los terrenos que no son aptos en la actualidad debido a la ausencia de árboles o arbustos simbioses, y en los que - además - puede ser necesario realizar algún tipo de riego de apoyo o de imitación pluviométrica, pero que reúnen el resto de las características apropiadas para la producción de la especie (categoría N1) son de 33.131 km², 28.887 km² en laderas y 7.494 km² en riberas.

La resolución de la cartografía obtenida es función de la escala de las fuentes de datos y del algebra de mapas. El error medio cuadrático de los mapas obtenidos es de 1100 m para el paisaje de laderas (figura 3), 700 metros para el paisaje de riberas (figura 4) y de 900 metros para las clases FAO que agrupan ambos tipos de paisaje (figura 5).

4.2. Método de introducción de la especie

El método de introducción de la trufa blanca que proponemos consiste en “sembrarla” junto a las raíces de árboles adultos, plantando - además - brinzales micorrizados en sus proximidades. Se trata de una inoculación dirigida. Al estar realizando la introducción por doble vía y en micrositios idóneos poblados con robles, álamos y/o sauces adultos, las probabilidades de éxito son elevadas. De hecho y en esencia, el sistema descrito consiste en imitar a la naturaleza pero reforzando su método con la tecnología actual. Desde luego que no cabe esperar una eficiencia de introducción de la trufa blanca del 100%. Una tasa de arraigo del micelio superior al 25% nos parece perfectamente alcanzable. A su vez, confiamos en que el tiempo de espera hasta que se produzcan las primeras fructificaciones vaya a ser inferior al de una repoblación fúngica realizada únicamente desde brinzales (por ejemplo, cinco años en vez de quince). Con todo y siendo realistas, el grado de incertidumbre es grande, como ocurre en todo ensayo pionero. Los lugares exactos de introducción no deben ser conocidos para evitar visitas indeseadas. El hongo colaborará mucho a pasar desapercibido por tratarse de una especie hipogea. El proceso natural de expansión de la especie desde los puntos de siembra puede durar varios lustros. Cabe acelerarlo con inoculaciones adicionales para colaborar con la fauna local silvestre. Durante la época de afianzamiento de la trufa blanca su recolección deberá estar acotada, para después iniciar un periodo de búsqueda controlada con licencias y cupos estrictos de recolección. Habrá que esperar un tiempo prudencial (unos diez años mínimo) antes de poder empezar el aprovechamiento ordenado del recurso.

5. Discusión

5.1. Sobre la cartografía de lugares adecuados para la introducción de la especie

Los resultados cartográficos obtenidos sirven para visibilizar las geografías candidatas para la introducción de la trufa blanca en España. Los resultados obtenidos hay que interpretarlos con cautela porque están limitados por la calidad y completitud de las fuentes cartográficas disponibles así como por el propio método que es posible aplicar sobre ellas.

T. magnatum tiene una alta selectividad ambiental. La especie requiere de suelos con características muy específicas. Estos requerimientos explican el tamaño reducido de las áreas naturales productoras de trufas y su distribución dispersa en la naturaleza (Bragatto et al. 2010). La cabida de estas áreas oscila en un rango comprendido entre algunos metros hasta unos pocos cientos de metros. Esta selectividad solo puede reconocerse en estudios de suelos muy detallados y ser - por lo tanto - visible en mapas elaborados a escalas 1: 10.000 - 1: 5.000 o mayor (Bragatto et al. 2010). Por este motivo la cartografía ofrecida en este artículo no debe confundirse con la cartografía de localización precisa de lugares idóneos, la cual requiere de más variables decisorias y cartografías de grano fino o alta resolución, disponibles habitualmente solo en escalas regionales o menores.

Las especies estenoicas con valencias ecológicas muy estrechas necesitan por lo general de cartografías con escalas grandes para ser visibles. Estas cartografías no están habitualmente

disponibles en la extensión de país y cuando lo están lo más frecuente es que sean de baja resolución. En estos casos, la combinación de fuentes de datos con escalas de 1:50.000 o menores, como las utilizadas en este estudio, puede ofrecer localizaciones inexactas para áreas de una a dos hectáreas y además propagar la holgura de la resolución de los datos de partida a los resultados obtenidos (Van Gool y Moore, 1999). Por estos motivos, la cartografía obtenida no es válida para localizar las áreas aptas para introducción precisa de la especie.

Así mismo, las limitaciones cartográficas de la escala descrita, unido a las características de las fuentes de datos cartográficos disponibles para realizar este trabajo, influyen en que la superficie obtenida posiblemente esté algo mayorada. Tenemos dos indicadores del posible exceso de cabida: en el paisaje de ribera puede deberse a que el ancho empleado ha sido el mismo para todo tipo de cauces; en el paisaje de laderas porque se incluye simultáneamente zonas potenciales y actuales así como zonas de transporte y acumulación de materiales. Por lo tanto, las cifras estimadas del área productiva de trufa blanca en España deben interpretarse como una aproximación que indica tanto la viabilidad de la introducción como el orden de magnitud de su extensión.

La metodología FAO de clases de aptitud del terreno plantea un método SIG multicriterio de factores y restricciones ampliamente utilizado en el género *Tuber* debido al estado actual de conocimiento de las ubicaciones y valencias ecológicas de las especies. El método FAO identifica las zonas adecuadas, pero solo genera resultados cualitativos y discretos. A medida que aumenta la información sobre una especie de trufa (es el caso de *Tuber aestivum*) es posible recurrir a métodos multicriterio más precisos, como el denominado «caza virtual de trufas» basados en la media aritmética (Rosa-Gruszecka et al. 2021) y que obtiene una medida de la aptitud del terreno cuantitativa y con una escala continua. Sin embargo, ambas aproximaciones no ofrecen soluciones a las limitaciones actuales que son la incapacidad de obtener valores que estén vinculados a datos de producción, probabilidad de existencia y umbrales de nicho, ni incorpora la calidad de los datos de entrada en el análisis espacial (Nassiri et al. 2020).

5.2. Sobre la introducción de la especie

Hace ya treinta años, Martínez de Azagra y Grigelmo (1992) proponían la introducción de *Tuber magnatum* en bosques de ribera como medida estratégica de interés. Pero hasta la fecha, tan sensata recomendación ha pasado desapercibida a los servicios públicos que pudieran estar interesados en la materia, a saber, confederaciones hidrográficas y administraciones forestales. Pensamos que el momento ha llegado. No tiene sentido demorarse más, máxime cuando la biotecnología del manejo de hongos micorrícicos ha avanzado mucho en los últimos tiempos. La empresa tiene actualmente altas probabilidades de éxito (Bach et al. 2021). Los terrenos en donde realizar la repoblación fúngica con trufa blanca son, en general, de propiedad pública. El tiempo de espera hasta conseguir resultados (fructificaciones abundantes) es largo: unos quince años. Todo ello apunta más hacia la iniciativa pública que hacia la privada, sin descartar a esta última por su mayor dinamismo.

Sabemos de varios truficultores españoles que se han animado a plantar brinzales micorrizados con *Tuber magnatum* al realizar sus plantaciones estándar de trufa negra. Son tentativas interesantes pero muy puntuales, a modo de prueba o por mera curiosidad, de las cuales no tenemos noticia sobre resultado positivo alguno hasta la fecha. Igualmente, sabemos de tímidos y callados intentos de introducción de la trufa blanca en otros países, algunos tan alejados como Australia. Muy diferente está siendo la evolución del cultivo de la trufa negra (*T. melanosporum*), pues es una técnica que se domina. Su crecimiento en España es moderado (unas 600 hectáreas de plantación nueva al año; Morcillo et al, 2015). Su cultivo también se practica en Francia e Italia y se está extendiendo a nuevos países europeos (Grecia, Turquía, Hungría, Rumanía, Bulgaria), asiáticos (Turquía, China), africanos (Sudáfrica), americanos (Chile, México, EEUU) y australianos (Nueva Zelanda, Australia) (Reyna y García Barreda, 2014). - ¿A qué estamos esperando con la trufa blanca?

No conviene desdeñar la posibilidad de efectuar riegos de imitación pluviométrica (Oria de Rueda et al. 2007) para extender la truficultura de la blanca a zonas con un régimen hídrico desfavorable (por demasiado seco para ella, figura 6). Así mismo, se pueden ampliar estos ensayos de introducción apoyándose en más especies de arbolado (especialmente en *Quercus faginea*). Por último, conviene señalar que en los ensayos de introducción habrá que ser cuidadoso para evitar pasajeros involuntarios exóticos ajenos a *Tuber magnatum*. La trufa blanca en sí es del todo inocua, incluso beneficiosa por ser simbiote. No se trata de un hongo ectomicorrízico invasivo (Dickie et al. 2016) sino todo lo contrario, se trata de una especie infrecuente, poco competitiva e incapaz de propagarse por el viento.

6. Conclusiones

1) Sí se puede e interesa introducir *Tuber magnatum* Picco en los bosques españoles. 2) Hay que hacerlo en lugares muy concretos e idóneos para la especie, seleccionados mediante un método detallado de SIG combinado con trabajos minuciosos de campo. 3) El sistema de introducción por vía doble es el que más garantías de éxito ofrece. 4) El área óptima en España para la trufa blanca se estima en 6.471 km². 5) La longitud de ríos idóneos para acoger a la trufa blanca en sus bosques de ribera se estima en 196 kilómetros. 6) Las dos cifras anteriores pueden ampliarse en unos 3.143 km² y en unos 393 km de ribera, si se plantean riegos de imitación pluviométrica en los lugares de introducción, y pueden extenderse mucho más, hasta las 33.131 km², si se promueven repoblaciones con árboles y arbustos potencialmente adecuados para micorrizar en su adultez con *Tuber magnatum*, en especial robledales de *Quercus faginea* en estaciones forestales húmedas. 7) La importancia socioeconómica de esta medida para la recolección comercial y para el micoturismo es incuestionable. Urge emprender una nueva política forestal al respecto.

7. Agradecimientos

A Jaime Olaizola Suárez y a Olaya Mediavilla Santos (empresa IDForest) por su información técnica sobre creación de nidales.

A Isabel Butler Sierra y a Pachi Monteagudo Sánchez de Movellán por sus buenos consejos forestales.

8. Bibliografía

BACH, C.; BEACCO, P.; CAMMALETTI, P.; BABEL-CHEN, Z.; LEVESQUE, E.; TODESCO, F.; COTTON, C.; ROBIN, B.; MURAT, C.; 2021. First production of Italian white truffle (*Tuber magnatum* Pico) ascocarps in an orchard outside its natural range distribution in France. *Mycorrhiza*. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-01013-2>.

BELFIORI, B.; D'ANGELO, V.; RICCIONI, C.; LEONARDI, M.; PAOLOCCI, F.; PACIONI, G.; RUBINI, A.; 2020. Genetic structure and phylogeography of *Tuber magnatum* populations. *Diversity*, 12. <https://doi.org/10.3390/d12020044>.

BENCIVENGA, M.; BACIARELLI FALINI, L.; 2012. Manuale di tartuficoltura. 130 p. Universidad degli Studi di Perugia (Perusa, Italia).

BONI, I.; GIOVANNOZZI, M.; ROBERTO, P.; 2010. Carte di attitudine dei suoli ai tartufi in piemonte metodologie e risultati. Paper presented at the 3° Congresso internazionale di spoletto sul tartufo spoletto, Spoleto.

BRAGATO, G.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S.; SLADONJA, B.; 2010. Physical characteristics of the soil environment suitable for *Tuber magnatum* production in fluvial landscapes. *Plant and Soil* 329(1): 51-63. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0133-8>.

CHEVALIER, G.; PALENZONA, M.; 2010. Les implications de 40 années de recherche sur les truffes: perspectives d'avenir. En: *Comunità Montana dei Monti Martani Serano e Subasio* (eds.): *Atti del 3° Congresso Internazionale di Spoleto sul Tartufo*. 531-550. Spadoni. Spoleto (Italia).

DICKIE, I.A. ; NUÑEZ, M. A.; PRINGLE, A.; LEBEL, T.; TOURTELLOT, S. G.; JOHNSTON, P. R.; 2016. Towards management of invasive ectomycorrhizal fungi. *Biological Invasions*, 18: 3383-3395. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1243-x>.

DINCĂ, M.; DINCĂ, L. C.; 2015. Truffles and soil. *Research Journal of Agricultural Science*, 47 (3): 44-50.

DI MASSIMO, G.; BENUCCI, G. M. N.; ALBERTINI, E.; RAGGI, L.; GIGLIOTTI, G.; BENCIVENGA, M.; 2010. Ecologia di *tuber magnatum* pico nell'alta valle del Chiascio (Italia centrale). Paper presented at the 3° Congresso internazionale di Spoleto sul tartufo Spoleto, Spoleto.

DORING, M.; TOCKNER, K.; 2010. Morfología y dinámica de las áreas de ribera. en RIZPE, A. MENDES & R. J. (eds) *Áreas de riberas sostenibles, una guía para su gestión*. 21-27. Valencia. FAO; 1976. A framework for land evaluation FAO Soils Bulletin (Vol. 32). Roma.

FAO; 1983. Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture FAO Soils Bulletin. 237. Roma. FIGLIUOLO G. ; TRUPO G.; MANG S.; 2013. A realized *Tuber magnatum* niche in the upper Sinni area (south Italy). 3(2): 102-110. <https://doi.org/10.4236/ojgen.2013.32013>.

FRIZZI, G.; LALLI, G.; MIRANDA, M.; PACIONI, G.; 2001. Intraspecific isozyme variability in Italian populations of the white truffle *Tuber magnatum*. *Mycological research* 105(3): 365-369.

GIOVANNETTI, G.; 1990 - Prima produzione di carpofori di *Tuber magnatum* Pico da piante micorrizzate fornite da vivai specializzati. En: Bencivenga, M.; Granetti, B. (eds.): *Atti del Secondo Congresso Internazionale sul Tartufo*. 297-302. *Comunità Montana dei Monti Martani e del Serano*. Spoleto (Italia).

GIOVANNETTI, G.; 1998. Manuale per la coltivazione del Tartufo Bianco. Neos Edizioni. 55 p. Rivoli (Turín, Italia).

GREGORI, G. L.; DONNINI, D.; BENCIVENGA, M.; 2010. *Tuber magnatum*: Alcuni esempi produttivi di tartufaie coltivate in Italia. En: *Comunità Montana dei Monti Martani Serano e Subasio* (eds.): *Atti 3° Congresso Internazionale di Spoleto sul Tartufo*. 741-749. Spadoni. Spoleto (Italia).

LULLI, L.; BRAGATO, G.; GARDIN, L.; 1999. Occurrence of *Tuber melanosporum* in relation to soil surface layer properties and soil differentiation. *Plant and Soil* 214(1): 85-92. <https://doi.org/10.1023/A:1004602519974>.

MARJANOVIĆ, Z; SALJNIKOV, E; MILENKOVIĆ, M; GREBENC, T.; 2010. Ecological features of tuber *magnatum* pico in the conditions of west balkans – soil characterization. Paper presented at the 3° Congresso internazionale di spoletto sul tartufo spoletto, Spoleto.

MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; GRIGELMO ESTEBAN, C.; 1992. Implantación de truferas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 24 p. Madrid.

MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; ORIA DE RUEDA, J. A.; 1996. Hacia una selvicultura fúngica para los hongos silvestres comestibles de Castilla y León. *Revista de Medio Ambiente en Castilla y León*, III(6): 13-21.

MEDIAVILLA, O.; OLAIZOLA, J.; SANTOS DEL BLANCO, L.; ORIA DE RUEDA, J.A.; MARTÍN PINTO, P.; 2016. Mycorrhization between *Cistus ladanifer* L. and *Boletus edulis* Bull is enhanced by the mycorrhiza helper bacteria *Pseudomonas fluorescens* Migula. *Mycorrhiza.*, 26(2): 161-168. <https://doi.org/10.1007/s00572-015-0657-0>.

MELLO, A.;MURAT, C.;BONFANTE, P.; 2006. Truffles: much more than a prized and local fungal delicacy.FEMS Microbiology Letters 260(1): 1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2006.00252.x>.

MORCILLO, M.; SÁNCHEZ, M.; VILANOVA, X.; 2015. Cultivar trufas. Una realidad en expansión. *Micología Forestal & Aplicada*. 351 p. Barcelona.

MORTE, A., ANDRINO, A., HONRUBIA, M., NAVARRO, A.; 2012. *Terfezia* cultivation in arid and semiarid soils. En *Edible Ectomycorrhizal Mushrooms*. Soil Biology (Zambonelli, A., Bonito, G.M. eds) 34. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg: 241-263.

NASSIRI MAHALLATI, M.; 2020; *Advances in modeling saffron growth and development at different scales* (Chapter 9). En *Saffron Science, Technology and Health* KOOCHEKI, A; KHAJEH-HOSSEINI, M. (eds.) 139-167. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818638-1.00036-8>.

ORIA DE RUEDA, J. A.; GARCÍA ÍÑIGUEZ, C.; MARTÍN PINTO, P.; MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; OLAIZOLA SUÁREZ, J.; DE LA PARRA PERAL, B.; FRAILE FABERO, R.; ÁLVAREZ NIETO, M. P.; 2007. Hongos y setas. Tesoro de nuestros montes. 159-201. Cálamo. Palencia.

PIERONI, A.; 2016. The changing ethnoecological cobweb of white truffle (*Tuber magnatum* Pico) gatherers in South Piedmont, NW Italy. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 12(1): 18. <https://doi.org/10.1186/s13002-016-0088-9>.

PIRAZZI, R.; 2001. *Tuber magnatum* Pico: un fungo micorrizogeno tardivo. En: *Fédération Française des Trufficulteurs* (eds.): *Actes du V° Congrès International Science et Culture de la Truffe*. 233-236. Aix en Provence (Francia).

PRIMAVERA, F.; LULLI, L.; 1992. I siti e i suoli naturali del tartufo bianco pregiato nella collina toscana (Crete Senesi e San Miniato). En: Pacioni, G.; Marra, L. (eds.): *Tuber. Atti del Convegno Internazionale sul Tartufo*. 225-231. Arti Grafiche Aquilane. L'Aquila (Italia).

RAGLIONE, M.; OWCZAREK, M.; 2005. The soils of natural environments for growth of truffles in Italy. *Mycologia Balcanica*, 2: 209-216.

RAGLIONE M., OWCZAREK M., BONIFAZI A., LORENZONI P.; 2010 – Pedological aspects of natural truffle beds of *Tuber magnatum* Pico in the Rieti province (Central Apennines, Italy). *Atti Tuber 2008*.

RELLINI, I.; PAVARINO, M.; SCOPESI, C.; ZOTTI, M.; 2011. Physical land suitability map for *Tuber magnatum* Pico in Piana Crixia municipality territory (Liguria-Italy). *Journal of Maps* 7(1): 353-362. <https://doi.org/10.4113/jom.2011.1180>.

REYNA, S.; GARCÍA BARREDA, S.; 2014. Black truffle cultivation: a global reality. *Forest Systems*, 23(2): 317-328.

RIGHI, F.; 2017. Tartufaie naturali e controllate Gestire un patrimonio Le guide selvicolturali (pp. 35): Regione Piemonte.

RIGHI, F.; MENSIO, F.; 2017. Il tartufo. Diventare cercatori. Manuale per sostenere la prova di abilitazione alla cerca del tartufo: Regione Piemonte.

ROSA-GRUSZECKA, A; HILSZCZAŃSKA, D; PACIONI, G; 2021. Virtual Truffle Hunting—A New Method of Burgundy Truffle (*Tuber aestivum* Vittad.) *Forests*. 2021; 12(9):1239. <https://doi.org/10.3390/f12091239>.

VAN GOOL, D.; MOORE, G.A.; 1999. *Land evaluation standards for land resource mapping : guidelines for assessing land qualities and determining land capability in south-west Western Australia*. Department of Primary Industries and Regional Development, Western Australia, Perth. Report 181.

VASQUEZ, G., GARGANO, M. L., ZAMBONELLI, A., & VENTURELLA, G. (2014). New distributive and ecological data on *Tuber magnatum* (Tuberaceae) in Italy. *Flora Mediterranea* 24: 239-245. <https://doi.org/10.7320/FIMedit24.239>.

VĚTROVSKÝ, T.; MORAIS, D.; KOHOUT, P.; LEPINAY, C.; ALGORA, GALLARDO, C.; AWOKUNLE, HOLLÁ, S.; DOREEN BAHNMANN, B.; BÍLOHNĚDÁ, K.; BRABCOVÁ, V.; D'ALÒ F.; HUMAN, Z.R.; JOMURA, M.; KOLAŘÍK, M.; KVASNIČKOVÁ, J.; LLADÓ, S.; LÓPEZ-MONDÉJAR, R.; MARTINOVIĆ, T.; MAŠÍNOVÁ, T.; MESZÁROŠOVÁ, L.; MICHALČÍKOVÁ, L.; MICHALOVÁ, T.; MUNDRA, S.; NAVRÁTILOVÁ, D.; ODRIOZOLA, I.; PICHÉ-CHOQUETTE, S.; ŠTURSOVÁ, M.; ŠVEC, K.; TLÁSKAL, V.; URBANOVÁ, M.; VLK L.; VOŘÍŠKOVÁ, J.; ŽIFČÁKOVÁ, L.; BALDRIAN, P.; 2020. GlobalFungi, a global database of fungal occurrences from high-throughput-sequencing metabarcoding studies. *Scientific Data* 7: 228. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0567-7>.

ZGRABLIĆ Z; 2015. Truffles industry in Croatia: Current status and future perspectives. Paper presented at the Workshop and MC Meeting, Zagreb.

9. Lista de referencias de conjuntos de datos espaciales

DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA; INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL; CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS; 2016. Tramos de ríos de España Clasificados según Pfafstetter modificado [Datos espaciales en línea] [E 1:25000] [Ámbito geográfico: España]

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. GOBIERNO DE ESPAÑA (eds) 2016-12-01 (primera publicación). Madrid. España. Fichero shp. [Consulta: 28/11/2021]

INSPIRE: ESMAPAMACEDEXCEHCUENRED_2016.

Catálogo: <https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>

Datos: <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/red-hidrografica.aspx>

Memoria: <https://sig.mapama.gob.es/Docs/PDFServicios/RiosPfafs.pdf>

MARTÍNEZ, J. M.; 2006. *Mapa hidrográfico de Flora mayor* [Ámbito geográfico: España] [Mapa sobre lámina transparente] RUIZ DE LA TORRE, J.L.; 2006. Flora mayor. 1 ed. Madrid: ORGANISMO AUTÓNOMO PARQUES NACIONALES (eds) 2006 (primera publicación).

ALLUÉ, J.L.; 2017. *Mapa de Subregiones Fitoclimáticas de España Peninsular y Balear* [Datos espaciales en línea] [1:1.000.000] [Ámbito geográfico: España]

MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA ALIMENTACION Y MEDIO AMBIENTE (ed) 1990 (Primera publicación) 06/06/2017 (actualización). Fichero shp. [Consulta: 28/11/2021]

Descripción técnica: Allué, J.L.; 1990. Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 221. Madrid.

Catálogo: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mapa_subregiones_fitoclim_descargas.aspx

Datos: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mapa_subregiones_fitoclim.aspx

Memoria: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/allue_dd_tcm30-199929.xlsx

CENTR DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACION DE OBRAS PÚBLICAS; 2005. *Mapa de ríos calcáreos* [Mapa en documento en línea] [1:1.000.000] [Ámbito geográfico: España] Directiva 2000/60/CE. Análisis de las características de las demarcaciones. Caracterización de los tipos de ríos y lagos. v.5. MINISTERIO DE FOMENTO (eds) 2004 (primera publicación). Mapa jpg. Madrid. [Consulta: 28/11/2021]

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL;; 2017. *Mapa de pendientes* [Datos espaciales en línea] [SIANE] [400 m;1:6.500.000] [Ámbito geográfico: España]. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (eds) 22-03-2018 (primera publicación). Fichero tif. [Consulta: 17-11-2021]

INSPIRE: es.ign.siane.16612

SIANE: slcp_300_geomo_pendientes_r_20111214.

Datos: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/buscar.do?filtro.codFamilia=RTANE>

FERRER, G.; AYALA, F. J.; 1987. *Mapa de movimientos del terreno de España* [Datos espaciales en línea] [Zonas de riesgos naturales] [1:100.000] [Ámbito geográfico: España] última versión. INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (eds) 1989-01-01 (primera publicación). 2003-06-02 (actualización). servicio WMS. [Consulta: 17-11-2021]

INSPIRE: ESPIGMEMOVIMIENTOSTERRENO10002012012001180.

Catalogo:<http://catalogo.igme.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/ESPIGMEMOVIMIENTOSTERRENO10002012012001180>.

Datos:

https://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia_Tematica/IGME_MTerreno_1M/MapServer/WMSServer

Memorias:http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/tematicos/memorias/MemoriaMTerreno_1000.pdf

ALVARO, M. A., O.; BAENA, J.; BALCELLS, R.; BARNOLAS, A.; BARRERA, J.L.; BELLIDO, F.; CUETO, L.A.; DÍAZ DE NEIRA, A.; ELÍZAGA, E.; FERNÁNDEZ-GIANOTTI, J.; FERREIRO, E.; GABALDÓN, V.; GARCÍA-SANSEGUNDO, J.; GÓMEZ, J.A.; HEREDIA, N.; HERNÁNDEZ-URROZ, J.; HERNÁNDEZ-SAMANIEGO, J.; LENDÍNEZ, A.; LEYVA, F.; LÓPEZ-OLMEDO, F.; LORENZO, S.; MARTÍN, L.; MARTÍN, D.; MARTÍN-SERRANO, A.; MATAS, J.; MONTESERÍN, V.; NOZAL, F.; OLIVÉ, A.; ORTEGA, E.; PILES, E.; RAMÍREZ, J.I.; ROBADOR, A.; ROLDÁN, F.; RODRÍGUEZ, L.R.; RUÍZZ, P.; RUÍZ, M.T.; SÁNCHEZ-CARRETERO, R. Y TEIXEL, A. ; 1994. *Mapa geológico de España* [Datos espaciales en línea] [1:1.000.000] [Ámbito geográfico: España] 10. INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Madrid: GABALDON, V (eds) 1879(primer publicación).1994 (actualización). Fichero shp. [Consulta:28/11/2021]

Catalogo:http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geologicos1MMapa.aspx?Id=Geologico1000_1994#metadatos

Datos:http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geologicos1M/Geologico1000_1994/shapes/geologico_1000_shapes.zip

Memorias:http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geologicos1M/Geologico1000_1994/metas/geologico_1000_descripcion.pdf

RUIZ DE LA TORRE, J. L.; 1985. *Mapa Forestal de España* [Mapa digital en línea] [1:200.000] [Ámbito geográfico: España] 2006. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente 2006(actualización). Fichero shp. [Consulta:28/11/2021]

INSPIRE: ES_MMA_MFE200_20060512_0000.

Catalogo:https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe200_descargas.aspx

Datos: Memorias:https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/mfe200_mmt_tcm30-199716.pdf

Tabla 1. Árboles y arbustos que producen *Tuber magnatum*.

Nombre científico	Nombre común	Autóctono de España
<i>Quercus pubescens</i>	Roble pubescente	Sí
<i>Quercus robur</i>	Roble carballo, r. común	Sí
<i>Quercus petraea</i>	Roble albar	Sí
<i>Quercus cerris</i>	Roble de Turquía	No
<i>Populus alba</i>	Álamo blanco, pobo	Sí
<i>Populus nigra</i>	Chopo, álamo negro	Sí
<i>Populus tremula</i>	Álamo temblón	Sí
<i>Populus deltoides</i>	Chopo americano	No
<i>Salix alba</i>	Saz, sauce blanco	Sí
<i>Salix caprea</i>	Sauce cabruno	Sí
<i>Salix viminalis</i>	Mimbrera blanca	Sí
<i>Tilia platyphyllos</i>	Tilo común	Sí
<i>Tilia cordata</i>	Tilo de hojas pequeñas	Sí
<i>Tilia x vulgaris</i>	Tilo híbrido	Sí
<i>Corylus avellana</i>	Avellano	Sí
<i>Ostrya carpinifolia</i>	Carpe negro	No
<i>Carpinus betulus</i>	Carpe blanco	Sí

Tabla 2. Algunos datos comparativos entre la trufa blanca y la trufa negra.

Característica	<i>Tuber magnatum</i>	<i>Tuber melanosporum</i>
Árboles simbriontes principales	Robles, chopos y álamos	Encinas, quejigos y robles
Edad del arbolado	Hongo simbiote de madurez (hongo de tercer estadio)	Hongo simbiote de niñez y juventud (raro en la madurez) (hongo de primer y segundo estadio; en el tercer estadio desaparece, a

		menos que se practiquen medidas selvícolas adecuadas)
Forma calvero (quemado)	No	Sí
Carácter	Umbrófilo	Heliófilo
Formación arbórea	Cerrada (espesura trabada)	Abierta (oquedales)
Edafoclima	Sin periodos de sequía; suelos frescos pero bien aireados	Con periodos de sequía estival
Época de fructificación	Octubre a diciembre	Noviembre a marzo
Tamaño (peso máximo)	Desde un pequeño guisante hasta una patata grande (> 2 kg)	Desde una avellana chiquita hasta una naranja mediana (> 1 kg)
Durabilidad (en fresco)	Una semana (7 días)	Dos semanas (15 días)
Aroma; sabor	Lábil frente al calor (consumo crudo, en fresco) Condimento final en finas láminas (10 g/plato); otorgan un aroma único al guiso pero tienen escaso sabor	Estable al calor (consumo en fresco o guisado) Ingrediente del guiso (dan sabor y aroma)
Cultivo	No conseguido hasta la fecha	Logrado (truficultura)
Cotización	Máxima	Muy grande

Tabla 3. Fuentes de datos y su procesado para la identificación cartográfica del paisaje adecuado de tramos de ríos.

Fuente de datos	Operación cartográfica
<i>Tramos de ríos de España clasificados según método Pfafstetter modificado (1)</i>	Selección de orden 1,2,3,
<i>Mapa hidrográfico de Flora mayor (2)</i>	Incorporación de cauces
<i>Ancho de ríos</i>	Elaboración propia a partir de las relaciones hidromorfométricas recopiladas por Doring y Tockner (2010). Área de influencia 1,5 km de ancho

Mapa fitoclimático de Allué (3)	Superar temperatura mínima (excluidos subtipos fitoclimáticos: 10, 15 a 20)
Mapa de ríos calcáreos (4)	Selección de cauces calcáreos

Tabla 4. Fuentes de datos y su procesado para la identificación del paisaje adecuado de tramos de laderas.

Fuente de datos	Operación cartográfica
Mapa de pendientes (5)	Pendientes superiores al 10%
Mapa de movimientos del terreno España (6)	Intersección con áreas con movimientos actuales y/o potenciales tipo deslizamiento o desprendimiento
Mapa geológico (7)	Intersección con zona caliza
Mapa fitoclimático de Allué (3)	Superar temperatura mínima (excluidos subtipos fitoclimáticos: 10, 15 a 20)

Tabla 5. Fuentes de datos espaciales de los factores limitantes para la producción de trufa blanca.

Fuente de datos	Operación cartográfica	Descripción
Mapa Forestal de España (8)	Ausencia de Simbionte ⁱ	<i>p</i> , necesaria repoblación forestal por ausencia de simbionte
Régimen hídrico (3)	Mapa fitoclimático de Allué ⁱⁱ	<i>w</i> ₁ , necesario riego de apoyo durante 1,5 a 3 meses por sequía meteorológica <i>w</i> ₂ , necesario riego de imitación pluviométrica por existir más de 3 meses de sequía meteorológica
Mapa geológico (7)	Intersección con zona no caliza ⁱⁱⁱ	<i>s</i> , curso hídrico calificado como calcáreo pero que carece de sustrato calizo

Notas. (i) Especie [código]: *Tilo* 10069, 10072, 10073; *avellano*, 711; *chopera* 51, 52, 95, 97, 214, 8019, 8023, 8024, *saucedas* 1248, 129, 130, 132, 137, 138, 255, 260, 261, 264, 8695, 8743, *bosque de galería* 60, 76, 507, 521, 77, 78; *Q. robur* 117; *Q. petraea*, 42; *Q. pubescens* 41. (ii) *w*₁ Subtipos fitoclimáticos 9, 10, 11 *w*₂ Subtipos fitoclimáticos del 1 a 8 (iii) Solo aplicado en paisajes adecuados de tramos de ríos.

Tabla 6. Clases FAO de aptitud para la producción de trufa blanca.

Clase de aptitud de la tierra	Descripción y subclases
S1 Muy adecuado	Terreno sin limitaciones significativas para la producción de trufa blanca

S2	Moderadamente adecuado	Terreno con limitaciones moderadamente severas para la producción de trufa blanca, requiere de una gestión moderada de riegos (w_1) Incluye la subclase: w_1
S3	Marginalmente adecuado	Terreno con limitaciones severas para la producción de trufa blanca, requiere de una gestión intensa de riegos (w_2), o un estudio detallado edáfico por posible exceso de sulfatos (s). Incluye las subclases: w_2 , s, sw_2 , sw_1
N1	Factible	Producción factible tras repoblación con brinzales apropiados y tras bastantes años de espera. La realización de riegos de apoyo y/o de imitación pluviométrica también puede ser necesaria. Incluye las subclases: p , pw_1 , pw_2

Tabla 7. Cebida adecuada para la producción de trufa blanca en España por paisaje y factor limitante.

Paisaje adecuado	Clase - FAO	Restricción	Superficie (km ²)
Laderas	S1	Sin limitaciones	6258
	S2	w_1	908
	S3	w_2	1501
	N1	p	5945
	N1	pw_1	4889
	N1	pw_2	18053
Riberas	S1	Sin limitaciones	587
	S2	w_1	590
	S3	w_2	589
	N1	p	884
	N1	pw_1	1902
	N1	pw_2	4708
Laderas y riberas ⁱ	S1	Sin limitaciones	374
	S2	w_1	242

	S3	w2	203
	N1	p	439
	N1	pw1	831
	N1	pw2	1980

Notas. Clase FAO: S1, muy adecuado; S2, moderadamente adecuado; S3, marginalmente adecuado; N1, factible. Subclase FAO w₁, necesario riego (1,5 a 3 meses); w₂, necesario riego (3 o más meses); p, ausencia de planta simbiote

ⁱ Laderas y riberas es el territorio donde coinciden los paisajes de laderas y riberas. En esta tabla, la superficie de cada tipo de paisaje no tiene descontada el área coincidente de ambos.



Figura 1. Cuatro ejemplares medianos de trufa blanca. En noviembre de 2020 cotizaban en origen (Hungría) a 1500 €/kg-1, un precio bajo al estar ese año la restauración culinaria de postín bajo mínimos en la mayor parte del mundo.



Figura 2. Robles pubescentes micorrizados con *Tuber magnatum*, poco antes de su plantación en una chopera soriana. Se aprecia que cada uno lleva su correspondiente certificado de garantía del vivero forestal y del INRA.

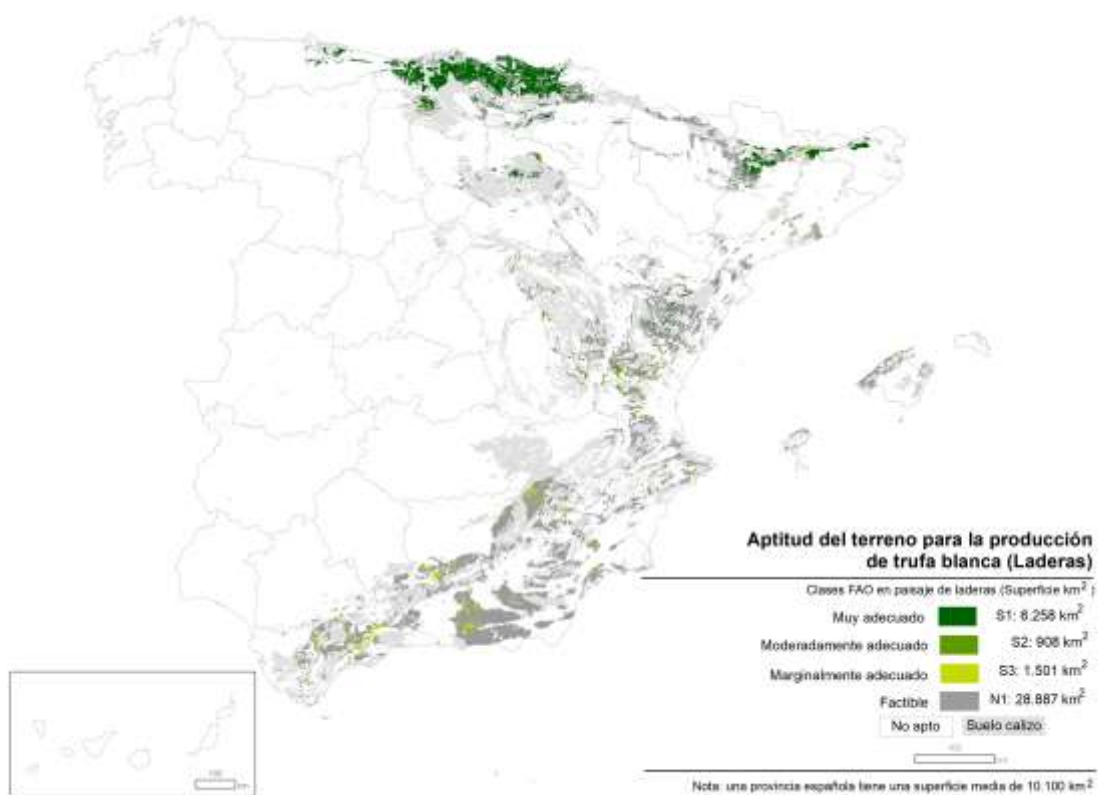


Figura 3 Aptitud del paisaje de laderas para la producción de trufa blanca.

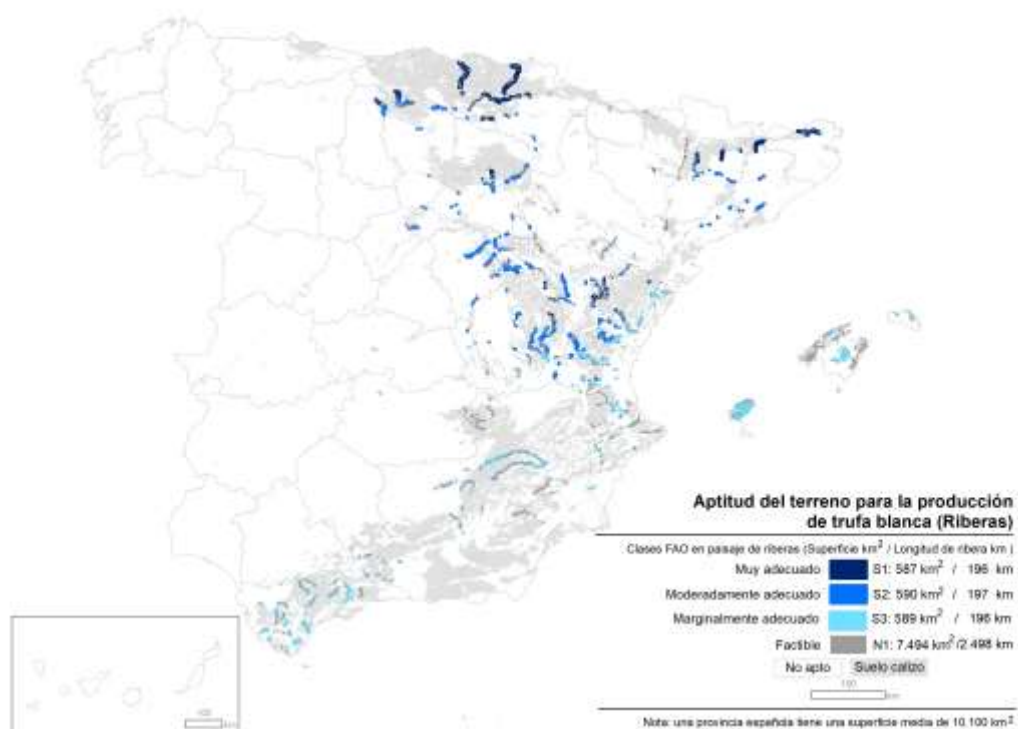


Figura 4 Aptitud del paisaje de riberas para la producción de trufa blanca.

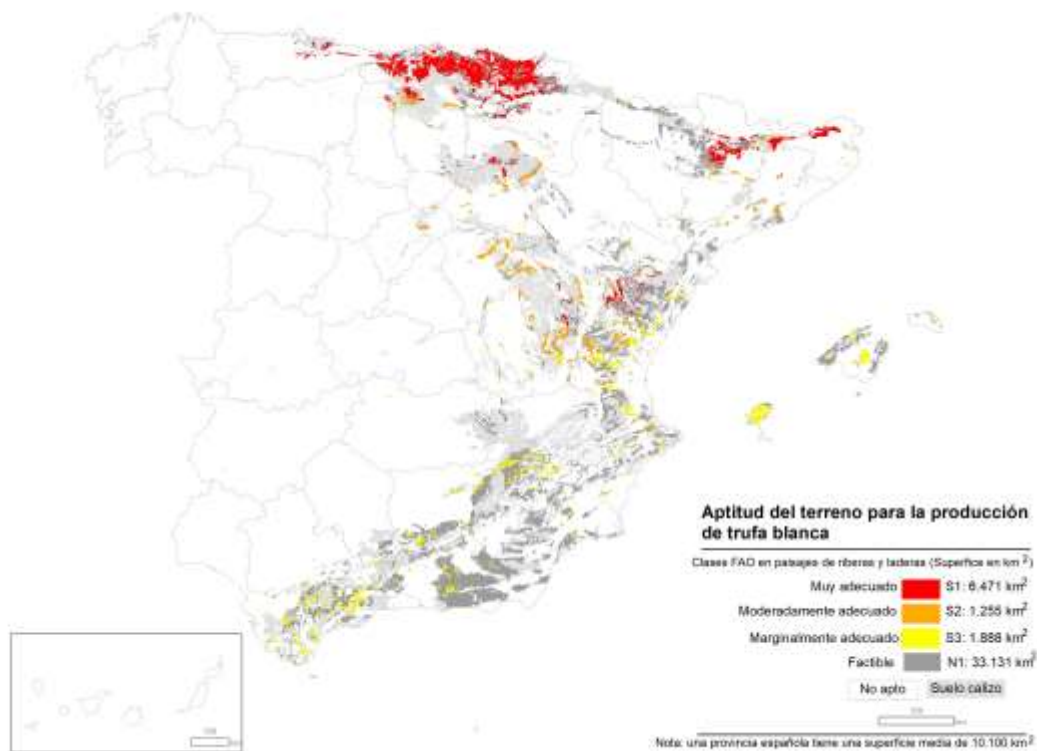


Figura 5 Terreno viable para la producción de trufa blanca (aptitud conjunta de laderas y riberas).

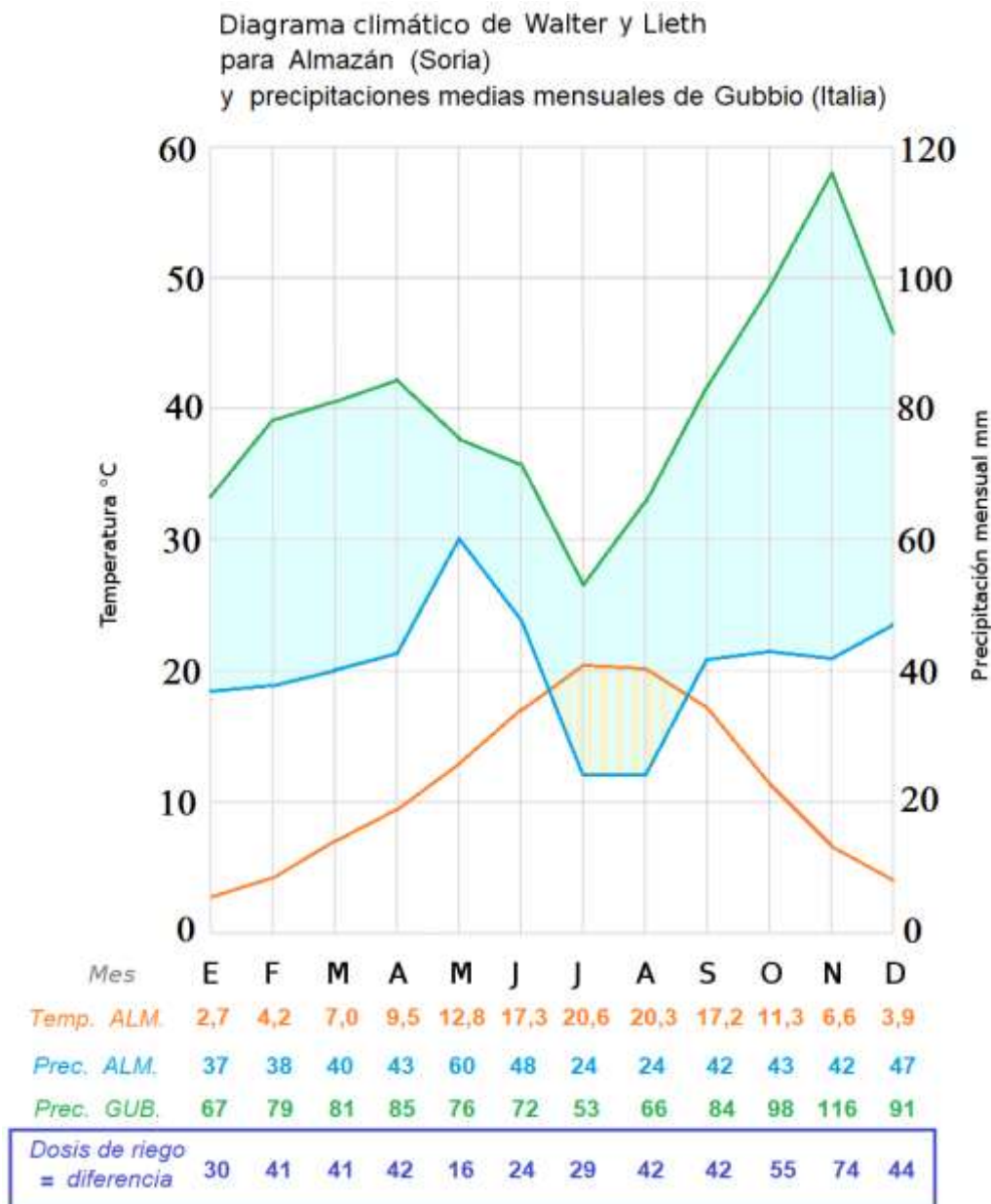


Figura 6. Ejemplo para la determinación de las dosis de riego mensuales en Almazán por imitación pluviométrica a los datos de las precipitaciones de una estación meteorológica idónea para la trufa blanca (Gubbio, Italia). Estas dosis pueden extenderse a lo largo de todo el año o abarcar solo el periodo de sequía estival o los momentos estratégicos de crecimiento de las trufas. Las dosis de riego también pueden concretarse en base a evapotranspiraciones comparadas entre las dos estaciones meteorológicas (imitación climática).