

LA TRUFA COMO EJEMPLO

LAS MICORRIZAS EN LOS SISTEMAS AGRO-FORESTALES

J. BARRIUSO Universidad de Zaragoza. Unidad de Recursos Forestales, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA)
M. MARTÍN, K. SOLIS, S. SÁNCHEZ Unidad de Recursos Forestales, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA)

Las micorrizas son el producto de una de las asociaciones simbióticas más extendidas en la naturaleza. Sorprendentes de estudiar y con infinidad de aplicaciones en agronomía y ciencia forestal, estas estructuras poseen infinitas propiedades. La potenciación del crecimiento de las plantas y la protección contra patógenos son algunas de ellas. Las trufas pertenecen a este tipo de hongos y su cultivo está suponiendo, en las zonas más desfavorecidas de la península, un recurso rentable y totalmente ecológico.

HISTORIA Y CONCEPTOS PRINCIPALES

Hace unos 450-500 millones de años, entre los periodos Cámbrico y Ordovícico, aparecieron los organismos autótrofos superiores, es decir los primeros eslabones de la evolución del Reino Vegetal. Su asociación con los hongos (organismos pertenecientes a otro Reino (Fungi) y heterótrofos por definición), fue esencial para poder absorber y asimilar nutrientes del suelo, necesarios para su crecimiento y reproducción. Los hongos se prestaron con gusto a crear esta asociación, que en definitiva era beneficiosa para ambos grupos, los cuales han coevolucionado hasta nuestros días. Sin este mutualismo no hubiera sido posible la conquista del medio terrestre por parte del Reino Vegetal. Con el paso del tiempo se llegó a llamar a esta asociación *simbiosis micorrízica*, término acuñado por A.B. Frank en 1885. Las micorrizas se definen como los órganos resultantes de la simbiosis planta-hongo (Frank, 2005). Estas estructuras

proporcionan una zona de contacto profundo como resultado del desarrollo sincronizado de ambos organismos. La simbiosis mutualista conlleva que ambos socios se beneficien de esta relación, principalmente mediante intercambio de agua y nutrientes esenciales. Las raíces constituyen el hábitat de los hongos micorrízicos, y estos últimos forman redes que conectan unas plantas con otras, por lo que la importancia de esta asociación en los ecosistemas es indudable. Fruto de este beneficio mutuo, en la actualidad más del 92% de las especies y familias vegetales, tanto herbáceas como leñosas, mantienen una asociación de este tipo. El otro 8% han encontrado diferentes formas de conseguir éxito evolutivo como son las bacterias fijadoras de nitrógeno y las algas, entre otros. Durante el transcurso de esta coevolución, las micorrizas han ido especializándose a formas más complejas y diversas. Hoy en día pueden ser clasificadas en: micorrizas arbusculares y sus formas derivadas, ectomicorrizas y

SABÍAS QUE...

La dependencia de algunos vegetales hacia los hongos micorrízicos es enorme, llegando a no poder germinar la especie vegetal sin la presencia del hongo como en el caso de las orquídeas. También algunos hongos no son capaces de culminar su ciclo biológico si no se asocian a ciertas plantas, como es el caso de muchos de los que forman setas (boletos, níscalos, amanitas y trufas entre otros).

micorrizas de orquídeas (Tabla 1). La forma más primitiva, y aún así, la más frecuente en la actualidad (más del 60% de las especies vegetales) (Brundrett, 2008) son las micorrizas arbusculares. Se considera que fue en el Eoceno, hace unos 52 millones de años, cuando se diversificaron a partir de las micorrizas arbusculares las primeras formas de ectomicorrizas, que emanan de hongos ascomicetos primitivos. En todas las micorrizas se produce un contacto íntimo entre las hifas del hongo y las células de la planta, como una interfaz donde se intercambian nutrientes. La planta aporta sustancias elaboradas que el hongo no es capaz de sintetizar por él mismo, y el hongo, a su vez, mejora la eficiencia de absorción de agua y nutrientes de la planta debido a la red de hifas que despliega en el perfil del suelo. Las plantas son capaces de controlar la cantidad de micorrizas mediante el crecimiento radicular, la digestión de las interfaces viejas en las células vegetales o modificando la morfología del sistema radical (Azcón-Aguilar y Barea, 1996).

BENEFICIOS DE LAS MICORRIZAS EN EL ECOSISTEMA Y LA AGRICULTURA

Las plantas micorrizadas predominan en la mayoría de los ecosistemas naturales, por lo que el inóculo

Actualmente, más del 92% de las especies y familias vegetales, herbáceas y leñosas, mantienen una asociación micorrízica planta-hongo

TABLA 1 > CLASIFICACIÓN DE LAS MICORRIZAS (RESUMIDA DE BRUNDRETT, 2008)

TIPO	DEFINICIÓN	VEGETAL	HONGO
Micorrizas Arbusculares (Foto 1a)	Asociaciones formadas en las plantas que por lo general tienen arbuscúlos y con frecuencia tienen vesículas (también conocidos como micorrizas vesículo-arbusculares).	Plantas, herbáceas y leñosas	Phylum Glomeromycota
Ectomicorizas (Fotos 1 b,c)	Asociaciones con un manto de hifas que emite raíces laterales cortas (cistidios) y una red de Hartig de hifas más o menos laberíntica que penetran entre las células de la raíz.	Plantas, generalmente leñosas	Hongos superiores (asco, basidio y zygomycetes)
Orquidáceas	Asociaciones donde penetran dentro de las células de las orquídeas en bobinas de hifas (ovillos).	Orquídeas	Generalmente basidiomicetos en alianza <i>Rhizoctonia</i>

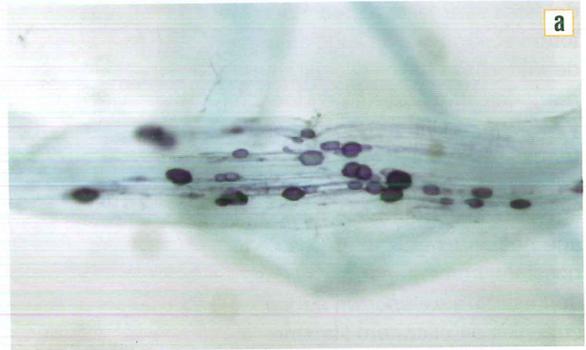
de micorrizas está presente en casi todos los suelos. Los propágulos de hongos micorrícicos disminuyen según el uso que se haya dado al suelo. La pérdida de materia orgánica y de flora adventicia, la salinización y la aridez, la alteración mecánica excesiva de la tierra de cultivo o el uso indiscriminado de agroquímicos (abonos y fitosanitarios) pueden hacer desaparecer el inóculo. Por ejemplo, las ectomicorizas suelen ser muy sensibles a la anegación del suelo, mientras que las micorrizas arbusculares lo son más a la sequía extrema.

Las micorrizas suministran nutrientes a las plantas jugando un papel fundamental en su alimentación, sobre todo en el ciclo del carbono

Las micorrizas suministran nutrientes a las plantas jugando un papel fundamental en su alimentación, sobre todo en el ciclo del carbono. El fósforo, que se considera generalmente el factor limitante más importante de crecimiento de los vegetales, puede ser movilizado del suelo con mayor eficiencia por los hongos micorrícicos, quienes lo suministran a las plantas en suficiente cantidad para su desarrollo, haciendo innecesario el uso excesivo de abonos fosforados. Asimismo, tienen un papel importante en la calidad del suelo. Actúan sobre la rizosfera y sobre la fisiología de las plantas asociadas, afectan a las interacciones ecológicas del suelo y a la conservación de la estructura edáfica. M.C. Rillig en 2004 descubrió las Proteínas del Suelo Asociadas a la Glomalina (PSAG), producidas por las hifas de los hongos micorrícicos y que tienen función estructuradora del suelo, aparte de ser reservorio de carbono, etc. En particular la Glomalina es una glucoproteína emitida por las micorrizas arbusculares. La interacción entre las plantas y los hongos micorrícicos puede tener importantes consecuencias en el mantenimiento de la biodiversidad y en la regulación de las fuentes de recursos transferidos al ecosistema. Sin embargo en determinadas condiciones ambientales (nichos favorables para las plantas) o evolutivas (ecosistemas desfavorables para los hongos), las plantas evitan o minimizan la micorrización. El modelo del "calcio/ectomicorizas" por ejemplo, propone que los hongos establecen una "simbiosis trampa" en las que las micorrizas manipulan las propiedades del suelo en la rizosfera para forzar la micorrización y la explotación de los árboles (García-Montero *et al.*, 2009). Aparte de su interés científico: fisiología vegetal, microbiología, aplicaciones a la biotecnología en la producción hortofrutícola y ornamental, son de destacar su aplicación a procesos de reforestación revegetación y de recuperación de zonas áridas y de suelos degradados, colocando en estos terrenos plantas previamente micorrizadas con hongos que faciliten su supervivencia. Algunos de estos

hongos del suelo y a la conservación de la estructura edáfica. M.C. Rillig en 2004 descubrió las Proteínas del Suelo Asociadas a la Glomalina (PSAG), producidas por las hifas de los hongos micorrícicos y que tienen función estructuradora del suelo, aparte de ser reservorio de carbono, etc. En particular la Glomalina es una glucoproteína emitida por las micorrizas arbusculares. La interacción entre las plantas y los hongos micorrícicos puede tener importantes consecuencias en el mantenimiento de la biodiversidad y en la regulación de las fuentes de recursos transferidos al ecosistema. Sin embargo en determinadas condiciones ambientales (nichos favorables para las plantas) o evolutivas (ecosistemas desfavorables para los hongos), las plantas evitan o minimizan la micorrización. El modelo del "calcio/ectomicorizas" por

ejemplo, propone que los hongos establecen una "simbiosis trampa" en las que las micorrizas manipulan las propiedades del suelo en la rizosfera para forzar la micorrización y la explotación de los árboles (García-Montero *et al.*, 2009). Aparte de su interés científico: fisiología vegetal, microbiología, aplicaciones a la biotecnología en la producción hortofrutícola y ornamental, son de destacar su aplicación a procesos de reforestación revegetación y de recuperación de zonas áridas y de suelos degradados, colocando en estos terrenos plantas previamente micorrizadas con hongos que faciliten su supervivencia. Algunos de estos



Fotos 1a y b. a) Vesículas y arúculos de una micorriza vesículo-arbuscular b) Ectomicorizas de *Tuber melanosporum* **Fotos 1c.** Detalle de una ectomicoriza de *Tuber melanosporum*

hongos, constituyen en sí mismos el recurso, pues el resultado de su reproducción sexual son las setas más apreciadas, tanto para consumo como para usos medicinales, valores estéticos de la naturaleza y como bioindicadores de la calidad ambiental.

En la actualidad existe un gran interés para su utilización en agricultura, tanto intensiva como extensiva, y numerosas empresas tienen en sus catálogos productos a base de hongos micorrícicos. Sin embargo todavía falta tiempo de investigación y experimentación

de estas simbiosis para conocer a fondo el papel de las asociaciones de micorrizas en los ecosistemas naturales, alterados, o gestionados, y así poder evaluar todo su potencial para su uso aplicado. Está demostrada su efectividad como agentes de control biológico contra agentes patógenos, bien sea de la rizosfera, como puede ser el caso de *Fusarium oxysporum* subsp. *cubensis* en platanero (Jaizme-Vega *et al.*, 1998), bien sea de la parte aérea (resistencia sistémica inducida) (Azcón-Aguilar y Barea, 1996). Es oportuno no utilizar el término huésped en referencia al vegetal que produce la simbiosis micorrícica, para así alejarlo de la fitopatología aunque las interacciones que se producen sean muy similares entre ambas ciencias (Smith y Read, 2008).

Uno de los principales potenciales de las micorrizas a desarrollar es en el sector de la alimentación. La agricultura mundial tiene que duplicar la producción de alimentos para el año 2050 con el fin de alimentar a la creciente población mundial y, al mismo tiempo, reducir su dependencia de los fertilizantes inorgánicos y plaguicidas. Para lograr este objetivo, hay una urgente necesidad de aprovechar las múltiples interacciones beneficiosas que se producen entre las plantas y los microorganismos. La asociación simbiótica de plantas y hongos micorrícicos ha sido reconocida por los beneficios que aporta con la absorción y el transporte de nutrientes, sin embargo, hay una considerable incertidumbre acerca de los beneficios funcionales en agricultura intensiva. Los nuevos conocimientos que se van adquiriendo sobre las interacciones microbianas en la rizosfera nos permitirá mejorar nuestra capacidad de comprender y optimizar los efectos beneficiosos de las asociaciones micorrícicas en los cultivos (Gupta, 2012).

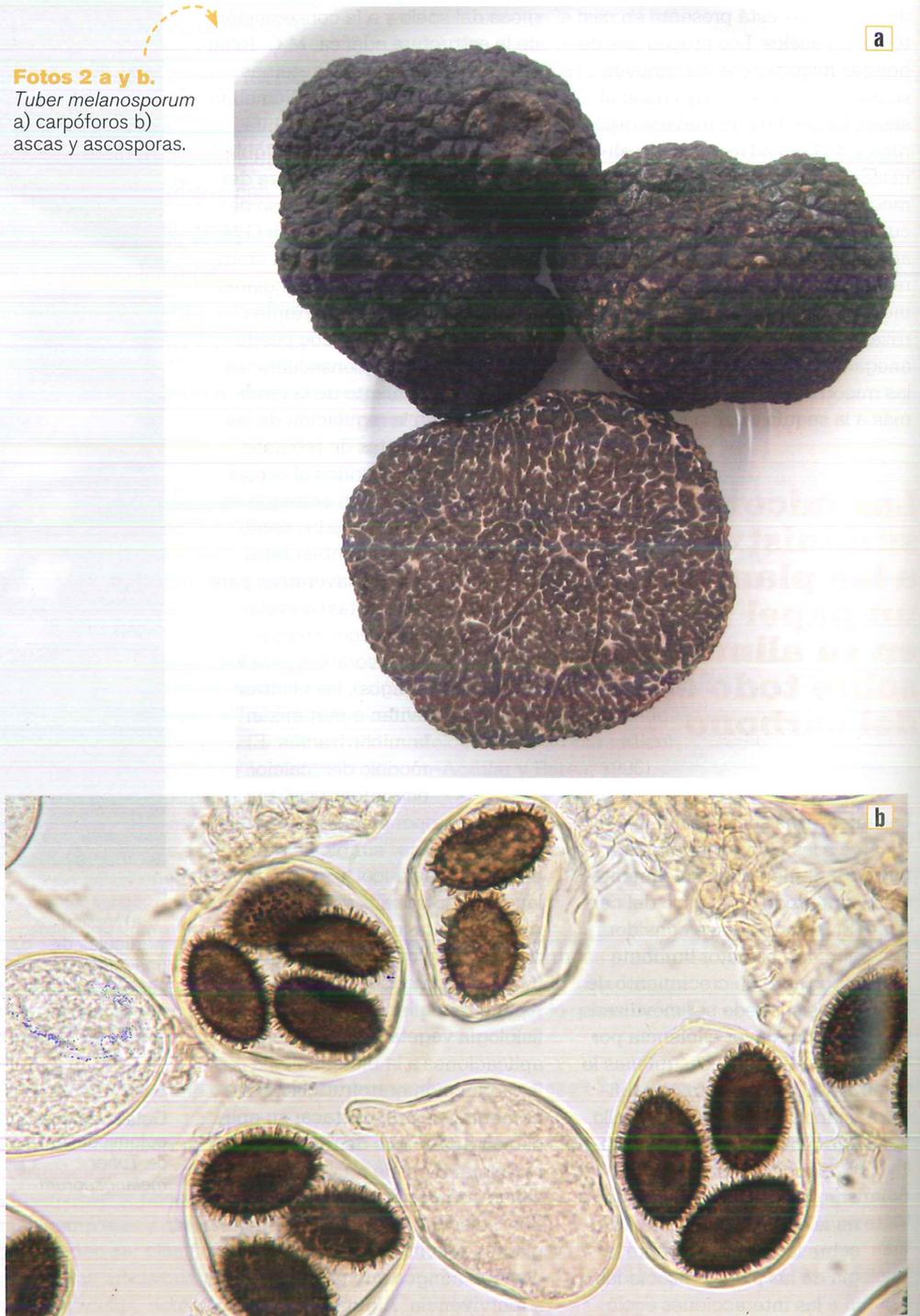
EL CASO CONCRETO DE LA TRUFA: TUBER MELANOSPORUM

Las trufas son fructificaciones de hongos ascomicetos ectomicorrícicos pertenecientes a diferentes géneros y especies (Tabla 2), todas ellas se desarrollan bajo tierra (hipogeas) y son comestibles, no

TABLA 2 > CLASIFICACIÓN DE LAS TRUFAS MÁS IMPORTANTES DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO

HONGO	GRUPO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Trufas negras	Grupo Melanosporum	<i>Tuber melanosporum</i> (Fotos 2 a,b)	Trufa negra
		<i>T. brumale</i> <i>T. indicum</i> , <i>T. himalayense</i>	Trufa de otoño Trufas chinas
Trufas blancas	Grupo Aestivum	<i>T. aestivum</i> / <i>T. uncinatum</i> <i>T. mesentericum</i> <i>T. macrosporum</i>	Trufa de verano / Trufa de Borgoña Trufa de pino Trufa negra lisa
	Grupo Magnatum	<i>T. magnatum</i>	Trufa blanca del Piamonte
Trufas del desierto	Grupo Terfezia	<i>T. borchii</i> <i>T. gibbosum</i>	Bianchetto Trufa blanca de Oregón
		<i>Terfezia arenaria</i> <i>T. claveryi</i> <i>T. leptoderma</i>	Turmas, patatas de monte o criadillas de tierra

Fotos 2 a y b.
Tuber melanosporum
a) carpóforos b) ascas y ascosporas.



En España, la trufa negra es la que alcanza mayor valor y sobre la que se concentran prácticamente todos los esfuerzos de cultivo

siendo ninguna tóxica o venenosa. Aunque otras trufas son objeto de recolección y venta, en España la trufa negra (*Tuber melanosporum*) es la que alcanza mayor valor y sobre la que se concentran prácticamente todos los esfuerzos de cultivo. Esta especie forma micorrizas habitualmente con avellanos, robles y encinas, aunque puede asociarse con otras especies simbióticas. Puede deducirse que el hábitat de esta especie es el clima mediterráneo, y ahí se encuentra su centro de origen y dispersión. Las trufas silvestres se encuentran en franca recesión debido, entre otras causas, al incremento de los incendios, al escaso mantenimiento de los bosques, a la proliferación de su depredador principal (el jabalí), a que no se respeten las épocas de recolección o se realice con útiles inadecuados, al furtivismo y al cambio climático (Reyna, 2012). En la actualidad esta disminución de la producción de trufas silvestres se ha visto sustituida de forma satisfactoria por cultivo de la trufa en plantaciones de forma controlada (truficultura). Desde los años 70, época en la que comenzaron las primeras plantaciones en España, la superficie dedicada a esta actividad no ha parado de



Foto 3. Zona desprovista de vegetación "quemado", producida por *Tuber melanosporum* en una trufera cultivada.

aumentar superando ya las 10.000 hectáreas.

La truficultura es una actividad totalmente ecológica, que contribuye a la forestación de terrenos agrícolas con especies autóctonas y que constituye una alternativa económicamente rentable para la población rural de zonas deprimidas, ya que puede instalarse en suelos pobres en nutrientes, pedregosos y en pendiente (Reyna, 2012). Su cultivo se ha ido extendiendo también a países en los que no se encuentra el hongo de forma natural, como Marruecos, Israel, EE.UU., Canadá, e incluso a otros del Hemisferio Sur como Argentina, Chile, Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica, en los que la producción fuera de temporada aporta un gran valor añadido al producto. Aún así, la producción mundial, cifrada alrededor de las 100 toneladas, no parece ser capaz de cubrir ni el 10% de la demanda estimada.

Su cultivo comienza en invernade-

ros especializados, en los que se producen plantones ya micorrizados con la especie fúngica de interés. Con uno o dos años de edad se trasplantan al campo donde, si su desarrollo es el adecuado, permanecerán muchos años. Si la planta era de calidad suficiente, el terreno fue bien seleccionado y se llevan a cabo una serie de cuidados concretos de la misma (poda, laboreo, riego, etc., ver Reyna, 2012), comenzaremos a observar los "quemados" (habitualmente al cuarto-quinto año del trasplante). Esto es una disminución drástica de la vegetación que se encuentra en la base del árbol trufero, producto de las sustancias "herbicidas" que emite al suelo el propio hongo en su desarrollo (**Foto 3**). Pocos años después de la aparición de los quemados (al séptimo-octavo año del trasplante) se deberían recolectar las primeras trufas. Para ello es imprescindible contar con la ayuda de un perro bien adiestrado que nos indique su posición.



ino ruf

Plantas Truferas

Polígono El Real, s/n. - 44460 Sarrión (Teruel)

Tels.: 608 98 83 / 659 57 69 26 / 978 781 020 / 93 822 81 95

Suelos favorables

- Terrenos calizos
- PH de 7,5 a 8,5
- Fertilidad media-baja
- Textura equilibrada
- Terrenos bien drenados

Plantas micorrizadas controladas:

- *Tuber melanosporum*
- *Tuber aestivum*
- *Tuber uncinatum*

www.inotruf.com • info@inotruf.com



Al tratarse de un cultivo "subterráneo", los quemados son el único signo visible de la evolución favorable de la micorrización por *T. melanosporum* en una trufera cultivada, pero éstos pueden ser debidos a otras especies de hongos ectomicorrícicos. Por ello, hoy en día, el único modo de comprobar la correcta evolución de una plantación trufera es analizando las ectomicorrizas de sus árboles. Así, se podrá comprobar la presencia del hongo de interés o si los árboles están siendo colonizados por otras especies que puedan comprometer el éxito de las plantaciones (Sánchez *et al.*, 2012). Cuando se instala una plantación trufera, los hongos ectomicorrícicos presentes de forma natural en el suelo intentan colonizar las nuevas raíces. Por ello es normal la convivencia de diferentes hongos dentro del mismo árbol. Se han encontrado hasta 100 especies diferentes en plantaciones trufieras, constatando además que con el tiempo se aproximan cada vez más a la composición fúngica típica de un bosque maduro (De Miguel *et al.*, 2014). La truficultura es aún muy reciente y extremadamente complicada, debido a la enorme cantidad de factores que afectan a la instalación, desarrollo y fructificación de este hongo. La mayoría de los factores favorables para dicha producción se conocen o se están investigando en la actualidad pero aún teniéndolos en cuenta existen plantaciones en las que es necesario esperar hasta 10-15 años y otras nunca han llegado a producir. La

La truficultura es aún muy reciente y complicada, debido a la enorme cantidad de factores que afectan a la instalación, desarrollo y fructificación de este hongo

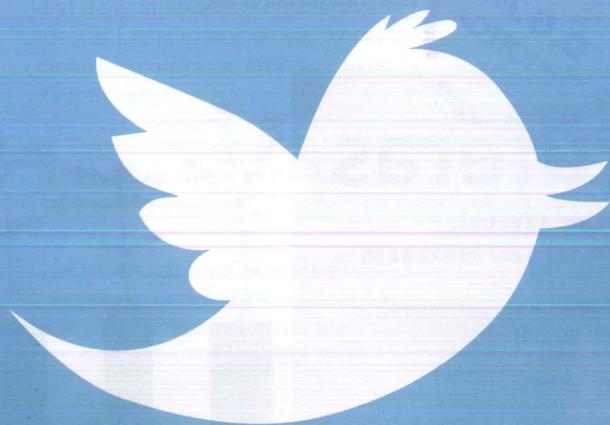
composición del "ecosistema trufero" apunta, cada vez con mayor fuerza, a ser una de las claves del éxito o fracaso de las plantaciones. Actualmente el mercado de la trufa está rompiendo los mitos que lo han caracterizado durante muchos años, abriéndose cada vez más al consumidor, quien está empezando a incluir la trufa en la cocina. Su precio medio (unos 600 euros/kg) no refleja la realidad de su uso, pues en verdad es un condimento, y unos pocos gramos bastan para aromatizar un plato sin encarecerlo en exceso. Sin embargo no es el valor económico el único importante, sino que es un recurso multifuncional que está aportando multitud de beneficios ecológicos y sociales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la revista la oportunidad de difundir la base de la diversidad, ecología y utilidad de este tipo de formaciones, y esperan haber colaborado en transmitir la conciencia de conservación de este recurso invisible pero vital. ■

Bibliografía

- Azcón-Aguilar C, Barea JM (1996) Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens - an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza*, 6(6): 457-464
- Brundrett MC (2008) Mycorrhizal Associations: The Web Resource. Fecha de acceso: junio 2014. <mycorrhizas.info>
- De Miguel AM, Águeda B, Sánchez S, Parladé J (2014) Ectomycorrhizal fungus diversity and community structure with natural and cultivated truffle hosts: applying lessons learned to future truffle culture. *Mycorrhiza*, 24 (Suppl 1):S5-S18
- Frank AB (2005) On the nutritional dependence of certain trees on root symbiosis with belowground fungi (an English translation of A.B.Frank's classic paper of 1885). *Mycorrhiza*, 15:267-275
- García-Montero LG, Quintana A, Valverde-Asenjo I, Díaz P (2009) Calcareous amendments in truffle culture: A soil nutrition hypothesis. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6):1227-1232
- Gupta V (2012) Beneficial microorganisms for sustainable agriculture. *Microbiology Australia*, 33(3): 113-115
- Jaizme-Vega MC, Hernández BS, Hernández, JMH (1998) Interaction of arbuscular mycorrhizal fungi and the soil pathogen *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense on the first stages of micropropagated Grande Naine banana. *Acta Horticulturae*, 490: 285-295
- Reyna S (ed) (2012) Truficultura: fundamentos y técnicas. Segunda edición. Mundi-Prensa, 720 pp
- Rillig M. (2004) Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, 84: 355-363
- Sánchez S, Águeda T, Águeda B, Martín M, de Miguel AM, Barriuso J (2014) Persistence and detection of black truffle ectomycorrhizas in plantations: comparison between two field detection methods. *Mycorrhiza*, 24 (Suppl 1): S39-S46
- Smith SE y Read DJ (2008) *Mycorrhizal Symbiosis*, Third Edition. AP, Elsevier, 787 pp



Síguenos
en twitter.
@edit_agricola