



Revista de la Facultad de Agronomía

ISSN: 0041-8676

ISSN: 1669-9513

revista@agro.unlp.edu.ar

Universidad Nacional de La Plata

Argentina

Quiroga, Rocío; Morelli, Gabriela A.; de Hagen, Tomas; Saparrat, Mario C.N.
Carya illinoensis y hongos del género Tuber en Argentina: un análisis bibliográfico
Revista de la Facultad de Agronomía, vol. 123, e139, 2024
Universidad Nacional de La Plata
Argentina

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e139>

- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



***Carya illinoensis* y hongos del género *Tuber* en Argentina: un análisis bibliográfico**

***Carya illinoensis* and fungi from the genus *Tuber* in Argentina: a bibliographic analysis**

Rocío Quiroga

Cátedra de Fruticultura. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Buenos Aires, Argentina

Gabriela A. Morelli*

Cátedra de Fruticultura. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Buenos Aires, Argentina

Tomas de Hagen

Trufas del Nuevo Mundo S.A. Espartillar, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Mario C.N. Saparrat

Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). La Plata, Buenos Aires, Argentina; Cátedra de Microbiología Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). La Plata, Buenos Aires, Argentina

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Continua

vol. 123, 2024

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 10 mayo 2023

Aprobación: 20 marzo 2024

Publicación: mayo 2024

URL: <http://portal.amelica>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e139>

***Autor de correspondencia:** gabriela.morelli@agro.unlp.edu.ar

Resumen

Carya illinoensis (Wangenh.) K. Koch, el “pecán”, es hoy en día un cultivo que está adquiriendo importancia en Argentina por su alto valor nutricional como alimento. Debido a esto, surge la necesidad de buscar alternativas sustentables, que promuevan su crecimiento y sanidad para lograr una mejor productividad y calidad del cultivo. Una alternativa puede ser la micorrización con hongos específicos y, principalmente las ectomicorrizas que se forman como resultado de la simbiosis del árbol con algunas especies de hongos, lo que otorga beneficios tanto a la planta como al hongo. Uno de los géneros de hongos ectomicorrícicos que tiene potencial como agente promotor del crecimiento de este cultivo forestal es *Tuber*. Este género se caracteriza por formar esporomas (fructificaciones, cuerpos fructíferos) hipogeos que se conocen con el nombre vulgar de “trufa”, los que hoy en día se comercializan en muchos países por su gran valor gastronómico. El objetivo de esta revisión bibliográfica fue indagar la información disponible sobre la interacción entre *Carya illinoensis* y hongos del género *Tuber* y analizar la factibilidad de su uso para promover la producción de plantas de vivero. Este estudio sugiere un gran potencial de esta interacción para la producción en conjunto, ya que *Carya illinoensis* ha sido reportada como hospedante de *Tuber melanosporum* Vittad. (Trufa Negra), *Tuber brumale* Vittad. (Trufa negra de otoño), *Tuber borchii* Vittad. (Trufa bianchetto), *Tuber aestivum* (Wulfen) Pers. (Trufa negra de verano) y *Tuber lyonii* Butters (Trufa del Pecán).

Palabras clave: pecán, producción, promoción del crecimiento vegetal, fructificaciones, inoculantes microbianos

Abstract

Carya illinoensis (Wangenh.) K. Koch, “Pecán”, is today a crop that is gaining importance in Argentina for its high nutritional value as food. Due to this, the need arises to look for alternatives that are sustainable, to achieve a better development and quality of the crop. Mycorrhizae can be an alternative and, mainly, the ectomycorrhizae that are formed as a result of the symbiosis of the tree with some species of fungi, which provides benefits to the plant and the fungus. One of the genera of ectomycorrhizal fungi that has potential as a growth-promoting agent for this forest crop is *Tuber*. This fungus is characterized by forming hypogeal sporomes (fructifications, fruiting bodies) known by the common name of “truffle”, which today are marketed in many countries for their great gastronomic value. For this reason, the objective of this revision was to investigate the information available about the interaction between *Carya illinoensis* and fungi of the genus *Tuber* and analyze the feasibility of its use to promote the production of nursery plants. A great potential for this interaction was found, since *Carya illinoensis* has been reported as a host for *Tuber melanosporum* Vittad. (Black Truffle), *Tuber brumale* Vittad. (Winter truffle), *Tuber borchii* Vittad. (Bianchetto truffle), *Tuber aestivum* (Wulfen) Pers. (Summer Truffle) y *Tuber lyonii* Butters (Pecan Truffle).

Key words: pecan, production, the promotion of plant growth, fructification, microbial inoculants

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en Argentina, existe un gran número de viveros destinados a la propagación de diferentes especies leñosas. Entre ellas, encontramos a la especie *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch, el “pecán” o el “nogal pecanero”, la cual ocupa una creciente superficie de plantación en la región, lo que demanda una constante disponibilidad de plántulas/ejemplares. Esta especie, perteneciente a la familia de las Juglandáceas (Orden Fagales), es originaria de América del Norte, del centro y este de los EE. UU., y los valles de los principales ríos del norte de México. A la Argentina, llegó en el siglo XIX, a través de semillas traídas por Domingo F. Sarmiento para ser usada como ornamental (Larrea et al., 2019). Actualmente, este cultivo presenta un gran interés ya que su fruto posee un alto valor nutricional como alimento, con un elevado contenido de ácidos grasos monoinsaturados, fibra, vitaminas, minerales, flavonoides (con actividad como antioxidantes) y por ser fuente de ácido fólico (Cadena de Nuez Pecán, 2019).

La Argentina cuenta con condiciones agroecológicas óptimas para la producción del pecán. Se estiman en la actualidad más de 8000 ha implantadas, con una tasa de implantación de 1.500 ha anuales distribuidas desde la Patagonia hasta el NOA, ubicándose las mayores producciones (80%) en las provincias de Entre Ríos, Corrientes, Misiones, Buenos Aires y Santa Fe, siendo la primera la de mayor superficie implantada (54,7%) (Cadena de Nuez Pecán, 2019).

El árbol del pecán puede alcanzar los 30m de altura. Si bien entra en producción entre el 4º y 5º año, recién alcanza la etapa de plena producción a partir de los 15 años. La vida útil productiva supera los 100 años. Una característica significativa que presenta esta especie es el comportamiento alternante, que supone una carga de fruto irregular durante los ciclos de producción, es decir se suceden años de elevada cosecha y otros años de bajos rendimientos (Sparks, 1992). Por esta razón, resulta alentador buscar alternativas sustentables para minimizar los momentos menos productivos de nueces, obteniendo otros productos comestibles y que asimismo mantengan el bienestar de la planta.

En cuanto a la obtención de la planta, como el pecán es una especie difícil de enraizar, los portainjertos se obtienen a través de la germinación de semillas seleccionadas, para posteriormente ser injertados con la variedad deseada (Brutsch et al., 1977). Si bien existen diferentes métodos para injertar, esta especie presenta un prendido de injerto complejo y lento, resultando el injerto de yema de parche el más usado por los viveristas. El mismo se lleva a cabo cuando las plántulas alcanzan un diámetro aproximado de 1,0 a 1,5 cm; generalmente esto ocurre recién en el segundo año, a fines de verano y principios de otoño. Una vez desarrollada la yema, el trasplante se hace a raíz desnuda en el invierno, cuando la planta se encuentra en reposo invernal (Hartmann y Kester, 1968). Aunque estas etapas se suelen desarrollar a campo, en los últimos años, algunos viveros comenzaron a producir plantas en contenedores, las que pueden implantarse a campo en cualquier época del año. Como estas plántulas desarrollan una importante raíz pivotante no deben permanecer en el vivero más de 3 años. Según Babuin (2009), el injerto de pecan es uno de los más difíciles de realizar en la práctica, con lo que resulta una oferta restringida en el mercado.

Si bien es conocido que la misión de todo vivero es obtener plantas de calidad, que garantice una buena supervivencia y crecimiento en el lugar donde se establezcan en forma definitiva, desde un enfoque que integre la visión ecológica, la producción de plantas se debe orientar en aumentar la productividad de los cultivos de manera sostenible y cuidadosa del medio ambiente.

Aunque existen diferentes estrategias para incrementar la productividad, hoy en día se busca reducir el uso de la fertilización química y en su reemplazo se recurre a la utilización de biofertilizantes. Estos últimos son productos a base de microorganismos benéficos del suelo, en especial bacterias y/o hongos, que viven asociados o en simbiosis con las plantas. Estos microorganismos ayudan de manera natural a la nutrición de la planta, solubilizando algunos nutrientes pocos móviles en el suelo y poniéndolos a su disponibilidad; además influyen sobre el crecimiento y desarrollo vegetal, incrementando la calidad y la productividad (Mamani de Marchese y Filippone, 2018). Los hongos formadores de micorrizas son una alternativa al uso de fertilizantes convencionales. Las micorrizas son una asociación simbiótica entre el micelio de un hongo y las raíces de una planta terrestre. Esta relación le otorga una serie de beneficios a la planta, como: i, incremento del área fisiológicamente activa en las raíces; ii, incremento de la absorción de agua de las plantas y nutrientes como fósforo, nitrógeno, potasio y calcio del suelo; iii, inducción de relaciones hormonales que producen que las raíces simbióticas permanezcan fisiológicamente activas por periodos mayores que las plantas no micorrizadas. Sin embargo, esta relación entre el hongo y la raíz de la planta, también trae beneficios para el hongo como lo es la disponibilidad de hidratos de carbono sintetizados por la planta (Saparrat et al., 2020).

Las micorrizas se clasifican sobre la base de ciertas características morfológicas del hongo, como la forma y el tipo de hifas, el nivel de penetración en la raíz o en el tejido, así como los taxa involucrados. Los dos tipos más conocidos de micorrizas son las Endomicorrizas y las Ectomicorrizas, las cuales se diferencian por la ubicación relativa de las hifas respecto a las células corticales de la raíz. En cuanto a las Endomicorrizas, las hifas de los hongos simbiotes crecen tanto intercelularmente en la raíz como en el interior del lumen de las células de su corteza sin alcanzar la endodermis. Dentro de este grupo, hay cuatro subtipos: monotropoide, ericoide, orquideoide y micorrizas arbusculares (MA; Saparrat et al., 2020). Las MA son el tipo más frecuente y las que más abundan en la naturaleza. La simbiosis MA se caracteriza por no provocar cambios en la morfología de raíz de la planta, la cual es simbiote facultativo, a diferencia del hongo que es simbiote obligado. Los hongos formadores de MA pertenecen al phylum Glomeromycota. En cambio, en las Ectomicorrizas, el micelio invade la raíz sin penetrar las células, y origina una envoltura en la superficie de la raíz llamada manto, a partir del cual salen las hifas extraradicales y las que se introducen entre las células de la raíz, que en este último caso forman la llamada Red de Hartig (Figura 1) (Franco Navarro, 2012).

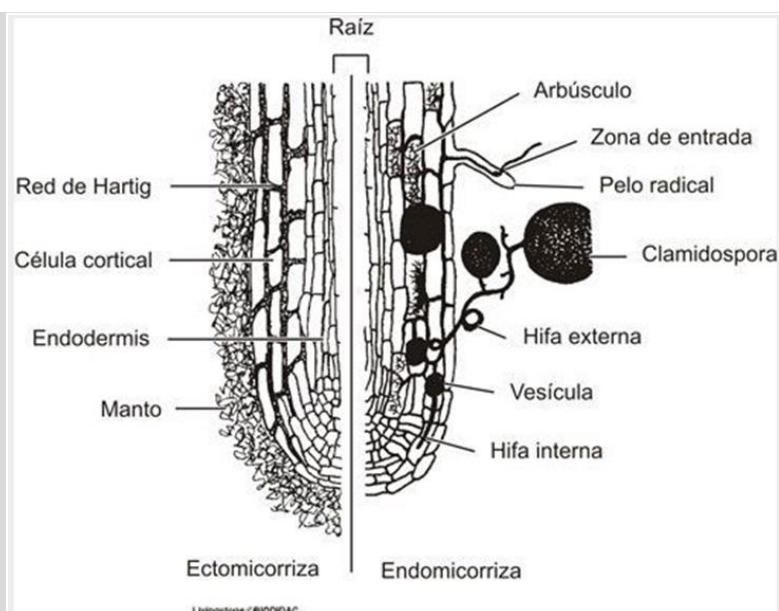


FIGURA 1

Análisis comparativo de las estructuras que los hongos formadores de ectomicorrizas (izquierda) y endomicorrizas arbusculares (derecha) diferencian en la simbiosis. Tomado de <https://www.asturnatura.com/articulos/hongos/liquenes-micorrizas.php>.

Los hongos que forman las ectomicorrizas pertenecen principalmente al phylum Basidiomycota, con aproximadamente 5.000 especies, y algunos al phylum Ascomycota que se asocian con unas 3.000 especies diferentes de plantas (García Rodríguez et al., 2006).

Los hongos ectomicorrícicos, además de contribuir a la promoción del crecimiento vegetal, son en algunos casos, una alternativa en la generación adicional de otros productos económicos ya que pueden generar esporomas (cuerpos fructíferos, carpóforos) comestibles como las trufas, cuyo valor ronda en los 2.000 dólares por kilo (Chiummiento, 2020). Una de las principales es la trufa negra producida por la micorrización del hongo *Tuber melanosporum* Vittadini, perteneciente al phylum Ascomycota, con distintas especies de árboles (García Barreda et al., 2016).

El objetivo de esta revisión fue indagar la información bibliográfica disponible sobre la interacción entre *Carya illinoensis* y hongos del género *Tuber* y analizar su potencial en la producción de plantas de vivero. En esta contribución se dan a conocer los avances obtenidos en el marco del trabajo final realizado por la primera autora del presente manuscrito bajo la dirección de la Ing. Agr. G. Morelli y la codirección del Dr. M. Saparrat (Exp.200-1555 FCAyF, UNLP del 30/08/2021). Esto

intenta poner en evidencia el potencial de la micorrización de *Carya illinoensis* con hongos del género *Tuber* como una estrategia sustentable para la obtención de plantas de calidad y como fuente alternativa en la producción de trufas en la región. Además, el conocimiento de la simbiosis de trufas con especies forestales, como *Carya illinoensis*, favorecerá el interés de futuras líneas de investigación sobre la promoción del crecimiento vegetal en ejemplares de vivero y en la explotación económica del cultivo de trufas que puede representar una fuente de ingresos adicionales para el productor frutícola.

METODOLOGIA

La metodología para llevar a cabo este análisis consistió en la búsqueda y el análisis de bibliografía específica disponible en las siguientes bases de datos: Scientific Electronic Library Online (SciELO) y Google Académico. Estas fuentes se seleccionaron sobre la base de la utilización de la siguiente serie de palabras claves: “pecán”, “*Carya*”, “*Carya illinoensis*”, “*Tuber*”, “producción”, “promoción del crecimiento vegetal”, “fructificaciones”, “inoculantes microbianos”, tanto en español como en inglés. Además, se complementó la información obtenida con otras fuentes bibliográficas de repositorios públicos y privados.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se consultaron 69 fuentes bibliográficas, incluyendo 7 libros, 53 trabajos de investigación disponibles en la plataforma SciELO y Google Académico, junto a la información de las páginas web de Alimentos argentinos (www.alimentosargentinos.gob.ar), “truffles and mushrooms” (www.trufflesandmushrooms.co.nz), Mycobank (www.mycobank.org), Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca (<https://www.argentina.gob.ar/agricultura/agricultura-ganaderia-y-pesca>), la Asociación de productores de trufa de Catalunya (<http://www.productorstofona.cat/es>), TimBrenneman.org (<https://timbrenneman.org/pecan-truffles/pecan-truffles-fact-sheet/>) y la conferencia del 3° Encuentro Internacional de Productores de Pecán (<https://www.youtube.com/channel/UCwHiHKMEqngvV63AKwvM5-Q>).

CARYA ILLINOINENSIS Y SU PROMOCIÓN UTILIZANDO INOCULANTES MICROBIANOS

Carya illinoensis, el “pecán”, es un árbol de gran importancia económica a nivel mundial, tanto por la producción de los frutos como por su madera (Gaido, 2019). Sin embargo, su producción demanda diferentes requerimientos, como los nutricionales, siendo 16 elementos esenciales. El Nitrógeno (N) y el Zinc (Zn) son los nutrientes más requeridos en el crecimiento, el desarrollo de la planta y la calidad de la producción del Pecán (Madero et al., 2017). Asimismo, la productividad depende de la variedad implantada, de la forma en que se realiza el manejo del cultivo y de la zona donde se lleva a cabo, ya que ésta determina las condiciones térmicas, hídricas, físicas y químicas del suelo (Madero et al., 2017). En cuanto al pH, este cultivo presenta una amplia adaptación, prosperando en suelos tanto ácidos como alcalinos, por lo que crece satisfactoriamente en un rango de pH entre 5 a 8. Sin embargo, la presencia de un alto contenido de carbonato de calcio en el suelo puede provocar fitotoxicidad en las hojas y clorosis férrica, producida como consecuencia de una deficiencia en hierro, que dificulta el crecimiento normal del cultivo. Esto se subsana mediante fertilizaciones foliares con hierro, aplicación de enmiendas que modifiquen el pH o el uso de fertilizantes con elevado índice de acidez (Torri et al., 2006).

Si bien se reportan 36 cultivares de Pecán en Argentina, sólo hay 11 inscriptos en el Registro Nacional de Cultivares: Stuart, Desirable, Shoshoni, Success, Kernodle, Starking, Mahan, Harris Super, Mahan-Stuart, INTA Delta I e INTA Delta II, siendo las primeras cinco las más adaptadas al clima y a los suelos de Argentina (Doreste, 2015). Estos cultivares se diferencian según el número de nueces que producen por kilogramo, el porcentaje de nuez, la susceptibilidad a las plagas y a las enfermedades, en la precocidad, en la alternancia de producción y en la estructura de copa entre otras características. Para la región NOA, algunas de las variedades que mejor se adaptan son: Mahan, Shoshoni, Western, Wichita y Pawnee; en la región Sur se mencionan a: Colby, Giles, Hirschi, Kanza, Lucas, Major, Osage, Peruque, Posey, Starking, entre otras; y para la región del NEA se encuentran: Cape fear, Desirable, Forjert, Gloria Grande, Kernodle, Mahan-Stuart, Pawnee, Stuart, Success y Summer (Madero et al., 2017). Por otro lado, existen diferentes cultivares utilizados como portainjerto como: Curtis, Elliott, Greenriver, Apache y Riverside (Madero y Frusso, 2012). Entre éstos, los cultivares Apache y Riverside son los que mejor se

comportan en suelos moderadamente salinos (Campos-Villarreal et al., 2017). Además, el cultivar Apache es tolerante a suelos alcalinos.

Diferentes técnicas se pueden utilizar para promover el crecimiento y la productividad del Pecán, así obtener mejor establecimiento de las plantas a campo. Actualmente se registran variadas alternativas para reemplazar el uso de fertilizantes inorgánicos y, por lo tanto, llevar a cabo una producción más sustentable. Dentro de estas alternativas, se encuentra el uso de enmiendas cálcicas, orgánicas y microorganismos potenciadores de la fertilidad del suelo, como son las bacterias y también los hongos, incluyendo los formadores de micorrizas. En cuanto a las bacterias, hay registro principalmente del phylum *Proteobacteria*, con los géneros *Pseudomonas*, *Sinorhizobium*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, entre otras y del phylum *Actinobacteria* (*Streptomyces*; Cabrera-Rodríguez et al., 2020, Zhang et al., 2019, Roa Huerta, 2021). Estos microorganismos que se encuentran en el suelo cumplen ciertas funciones que benefician al árbol, como el aumento de la mineralización del carbono y de la actividad enzimática relacionada con la producción de compuestos lábiles (Cabrera-Rodríguez et al., 2020). Además, hay referencias de *Bacillus subtilis* y bacterias nitrificantes que acompañan al desarrollo radical del Pecán (Roa Huerta, 2021).

Con relación a las micorrizas, *Carya illinoensis* puede establecer interacciones de tipo ectomicorrícica o arbuscular (MA). La interacción con hongos formadores de micorrizas conduce a varios beneficios en la planta simbiote con efectos positivos en su altura, vigor y capacidad fotosintética a través del incremento en el área foliar y en los rendimientos de producción. De acuerdo con esto, Soto Parra et al. (2016) afirman que la incorporación de hongos formadores de micorrizas en árboles adultos de pecán incrementan el porcentaje de nuez comestible, así como también en la protección de sus raíces contra ciertos hongos patógenos. El pecán está caracterizado por presentar una raíz pivotante, con un sistema radical fibroso del cual surgen las raíces pequeñas, las cuales son las que interactúan con los hongos ectomicorrícicos, debido a la ausencia de pelos absorbentes. Esta relación conduce a la generación de raíces que cambian su forma, tamaño y coloración respecto a las raíces libres de estos hongos simbiotes.

Generalmente las micorrizas se establecen cuando disminuye la actividad radical debido a diferentes situaciones de estrés, ya que es el momento en que las raíces necesitan de la asistencia de los hongos para el proceso de nutrición (Roa Huerta, 2021).

Muñoz-Márquez et al. (2009) aseguran que los árboles de pecán son también capaces de asociarse con hongos micorrícicos arbusculares de los géneros *Glomus* y *Gigaspora*, bajo ciertas condiciones favorables, como presencia de suelos con buena aireación y humedad, buen drenaje y presencia de cobertura natural. No obstante, el uso excesivo de insumos como fertilizantes y plaguicidas limita la existencia de esas condiciones óptimas, conduciendo a un desequilibrio en las funciones de los microorganismos rizoféricos. La micorrización arbuscular con los géneros nombrados, también fue reportada por Taber et al. (1982) en raíces de pecán en Texas, Nuevo México y otros estados del Sudeste de los EE. UU. y por Babuin (2009) en Argentina, quien evaluó la micorrización entre *Glomus intraradices* y *Carya illinoensis*, incorporando a la temperatura como variable que influye en el éxito de la asociación. Diferencias en las temperaturas diurnas y nocturnas de incubación de las plántulas con el inóculo del hongo, mostraron diferente porcentaje de colonización del hongo e incluso, ausencia. Temperaturas de 35,8°C día, 22,4°C noche, durante los meses de diciembre, enero y febrero resultaron óptimas. Por lo tanto, la micorrización del pecán con estos hongos es dependiente de factores ambientales como la temperatura del sistema de incubación.

La importancia de las características del sustrato, la genética de la planta y su interacción con biofertilizantes específicos son otros factores claves en la productividad del pecán. En este sentido, efectos sobre la calidad de la nuez (porcentaje de comestibilidad, número de nueces por kilogramo y peso promedio de nuez) se han analizado evaluando alternativas como la aplicación de los hongos formadores de MA, hongos saprótrofos y biocontroladores como *Trichoderma*, en conjunción con el agregado de humus o alguna enmienda cálcica al sustrato de crecimiento (Piña y Ramírez et al., 2019). Mientras que se demostró que las MA son las que influyen en mayor proporción a la calidad de la nuez, es decir, en el porcentaje de nuez comestible, nueces por kilogramo y peso promedio de nuez, seguida del carbonato de calcio y del humus, los hongos probados pertenecientes a *Trichoderma* no afectaron las variables evaluadas.

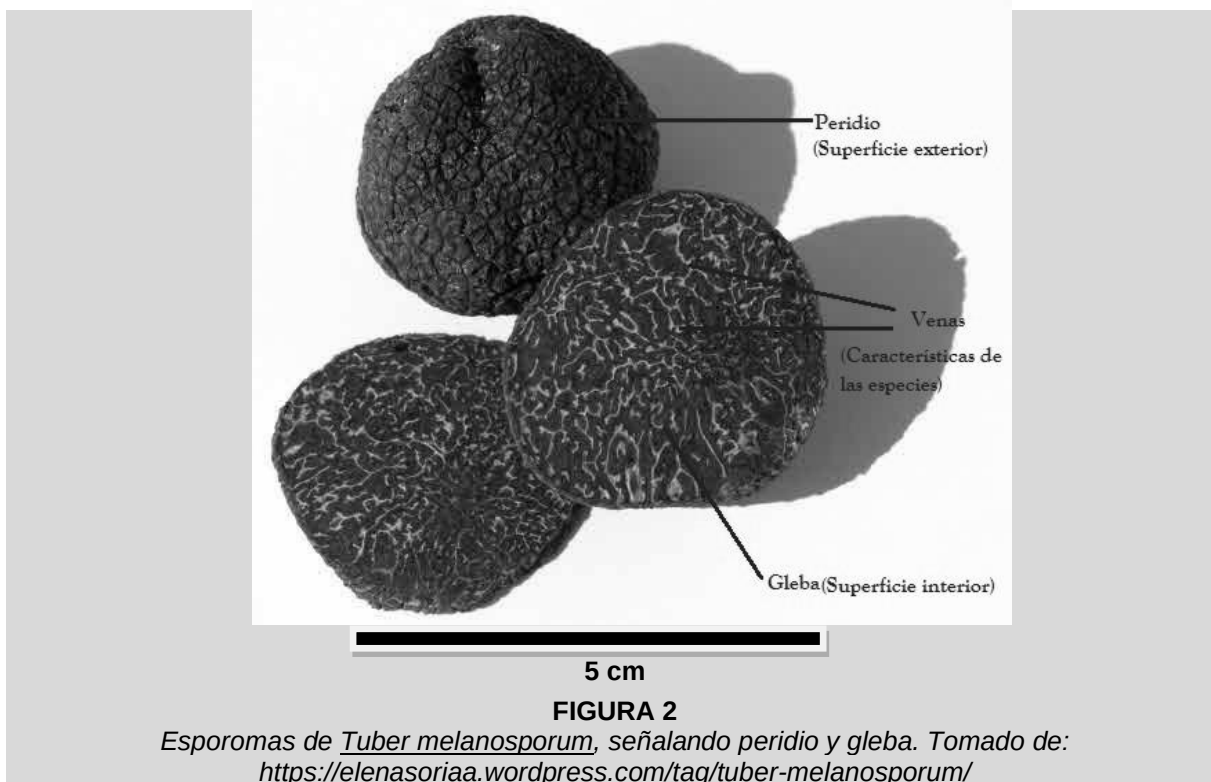
Por otro lado, se ha reportado la relación ectomicorrícica del pecán con hongos de los géneros *Astraeus*, *Gyrodon*, *Pisolithus*, *Russula*, *Scleroderma* y *Tilopilus*, pertenecientes al phylum Basidiomycota, así como también al género *Tuber* del phylum Ascomycota (Tarango et al. 2004). La formación de ectomicorrizas entre ambos simbiotes provoca aumentos significativos en la altura y diámetro del cuello del tallo, luego de cierto tiempo; además que permite un aprovechamiento más

eficiente del Zn presente en suelo, evidenciándose en la mayor concentración foliar de este elemento (Tarango et al. 2004).

En cuanto al género *Tuber* como hongo ectomicorrícico del pecán y su abundancia/dominancia en la rizosfera asociada, a fin de establecer su potencial como un efectivo biofertilizante, es importante destacar que Zhang et al. (2019) observaron su coexistencia con hongos del género ectomicorrícico *Tricholoma* (Basidiomycota). En base a las distintas referencias sobre la micorrización del pecán para mejorar su productividad y crecimiento vegetativo, existe un amplio espectro de hongos benéficos asociados a su rizósfera, incluyendo unos formadores de ecto- y endomicorizas, que pueden aprovecharse para la generación de bioinsumos compatibles con alternativas sustentables de producción. Asimismo, en el caso de las ectomicorizas, también se puede aprovechar la obtención de esporomas (fructificaciones) comestibles y disponer a la vez de otro beneficio económico de la producción, además que ser beneficiosa para la salud de la planta por sí misma.

HONGOS DEL GÉNERO *TUBER* Y SU RELACIÓN CON ESPECIES ARBÓREAS FRUTALES

El género *Tuber* pertenece a la familia *Tuberaceae*, orden *Pezizales*, clase *Pezizomycetes*, subphylum *Pezizomycotina*, phylum *Ascomycota* (Reino *Fungi*; Mycobank- www.mycobank.org). Una característica distintiva que comparten todos los hongos pertenecientes al phylum *Ascomycota*, es la diferenciación de ascosporas en el interior de unas estructuras especializadas llamadas ascos como producto de la reproducción sexual. En un alto espectro de estos hongos, los ascos se diferencian en el interior de estructuras macroscópicas organizadas denominadas esporomas, ascomas, o cuerpos fructíferos (fructificaciones, carpóforos, entre otras denominaciones) que pueden ser de diferente morfología y como producto de diferentes eventos de ontogenia. En el caso de los representantes del género *Tuber*, el esporoma es denominado vulgarmente como “Trufa”. Las dimensiones de esta estructura macroscópica que diferencian estos hongos en forma hipogea en estrecha asociación a la raíz de su compañero simbiote varían, según la especie, de 2 a 10 cm de diámetro. Esta estructura está cubierta por una capa llamada peridio, que puede ser lisa, aterciopelada, papilosa o verrugosa; siendo el contenido de la misma denominada gleba y que también es de consistencia variable: blanda, coriácea o cartilaginosa (Figura 2) (Möding Barrera, 2012).



La simbiosis micorrícica entre los hongos del género *Tuber* y sus plantas hospedantes se origina con la germinación de las ascosporas y con ella se inicia el ciclo biológico de las “trufas”. Por medio de la dispersión provocada por el viento, por factores bióticos o por intervención humana a través de la inoculación *per se*, las esporas de las “trufas” acceden al suelo rizosférico de la planta hospedante con la que va a establecer la simbiosis. Con temperaturas aproximadas a 20°C y humedad adecuada, en primavera, las esporas germinan emitiendo una hifa que forma un micelio que colonizará a la raíz simbiote (Möding Barrera, 2012). Luego se inducen una serie de transformaciones morfológicas y funcionales a nivel de la raíz que finalmente conducen a la formación de la ectomicorriza, caracterizada por la diferenciación de un manto miceliar en torno a la raíz. Del manto parten hifas hacia otras raicillas para propagar la colonización y ampliar la micorrización. A medida que el árbol crece, se generan nuevos ápices radicales, cuyos tejidos derivados son susceptibles de ser colonizados por las hifas cercanas del hongo. Es aquí cuando comienza una fase que dura entre cinco y nueve años, en los que el hongo se limita a seguir colonizando raíces hasta que adquiere una densidad de micorrizas suficiente. En el caso que existan micelios compatibles, puesto que son hongos heterotálicos, bajo estas condiciones, se activará el proceso sexual del hongo y la consecuente diferenciación de fructificaciones (Möding Barrera, 2012, Castel Duaso, 2012). No está demostrada la forma exacta de la contribución entre los micelios ya que se puede tratar de la interacción del micelio (materno) a partir del cual se diferenciará el esporoma con micelios derivados de esporas procedentes de otros esporomas maduros existentes en mismo suelo, o derivado de esporas dispersadas por animales o insectos, o también puede ser el micelio de una micorriza del mismo árbol o de un árbol cercano. La formación del esporoma y su diferenciación comprende un periodo promedio de ocho meses. En el periodo de maduración, la estructura comienza a emitir distintos tipos de aromas producto de la generación de compuestos volátiles, que contribuye a su detección por agentes como cerdos y perros adiestrados para detectar trufas maduras que contribuirán a la dispersión de sus esporas y por esa razón utilizan su aroma para atraerlos. Naturalmente las esporas ingresan al tracto digestivo de los animales y mantienen su viabilidad. Las paredes de las esporas son generalmente resistentes a cambios en el pH, humedad y temperatura (Bonito et al., 2012).

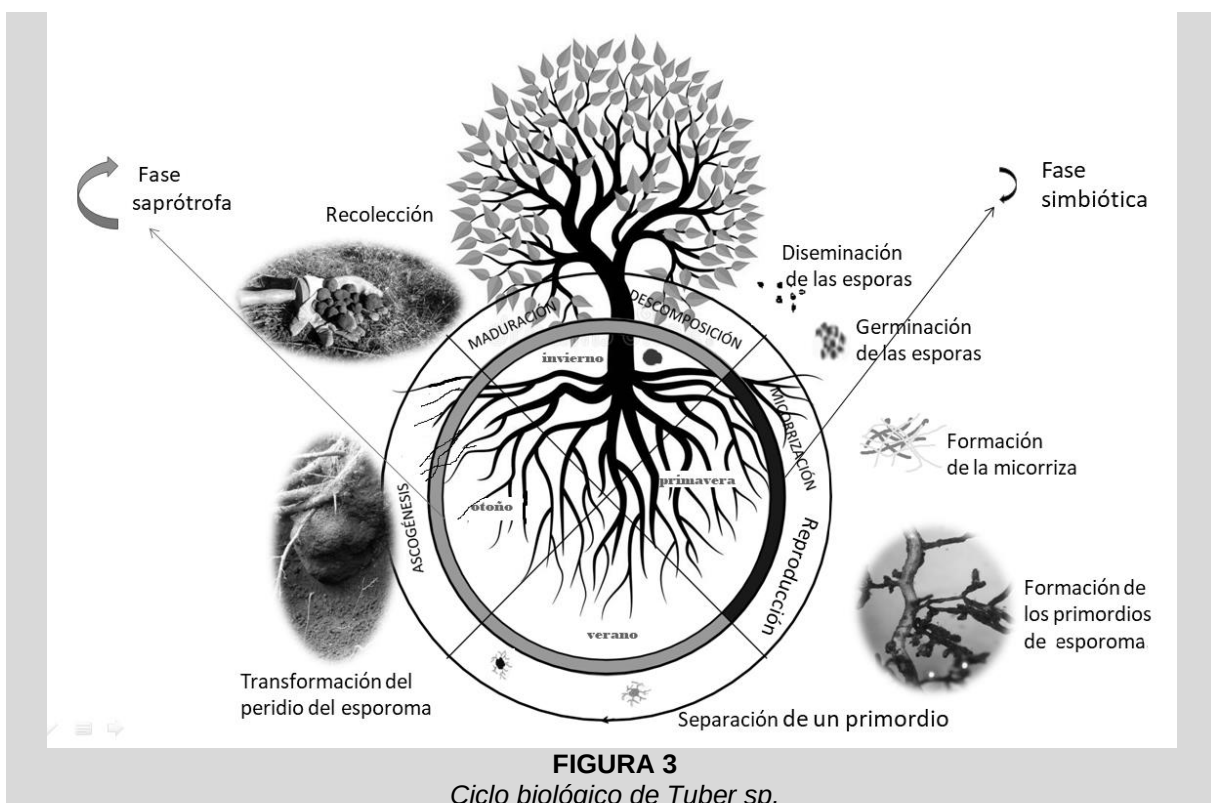


FIGURA 3
Ciclo biológico de *Tuber* sp.

Las condiciones del suelo que deben tener las zonas truferas son suelos calizos, con pH 7,7 – 8,7; con un 63-87 % de fracción con arena, que permita un correcto drenaje de agua para cubrir las necesidades de ambos simbioses (Fisher y Colinas, 1996); los suelos franco-arenosos son los ideales (Martín Amor, 2011). El clima debe ser mediterráneo-continental, con precipitaciones por encima de los 400mm/año, con inviernos fríos y veranos lo más frescos posible (Sánchez et al., 2020). Estas condiciones pueden variar según la especie de *Tuber*. Por ejemplo, en el caso de la “Trufa negra” (*Tuber melanosporum*) el pH óptimo es cercano a 8 (Pasamar Escudero, 2010).

Otro parámetro determinante es la forma en que se lleve a cabo la inoculación del hongo. Según Reyna Domenech (2007), existen siete técnicas de inoculación:

*Inoculación tradicional: Se trituran los esporomas y se reparte en el contenedor de la plántula.

*Inoculación por espolvoreo: Se corta en láminas el esporoma, se deseca a temperatura ambiente y se tritura hasta el tamaño más reducido posible, obteniéndose un particulado “polvo de trufa”, conteniendo las esporas, que se distribuirá en las raíces desnudas de la planta, previo al trasplante en el contenedor.

*Inoculación por inyección: Se prepara una suspensión acuosa a partir de carpóforos, para luego incorporarla mediante inyección en una o varias zonas del contenedor una vez trasplantada la planta.

*Inoculación por inmersión: Suspensión de particulado de esporoma en alguna papilla o puré con relativa viscosidad y adherencia hacia las raíces. Se realiza previo al trasplante, a raíz desnuda.

*Inoculación por micorrizas: Bioinsumo compuesto únicamente a base de micelio. Se utilizan plantas madres micorrizadas y se lleva a cabo la “aproximación radical”, es decir que se trasplanta la planta madre a un contenedor en el que estará rodeada de plántulas, para poder tener el sistema radical en contacto.

*Inoculación por riego: Análoga a la de inyección, pero se incorpora por riego.

*Inoculación en cajones de estratificación: Permanecen las semillas y el inoculo del hongo en la caja de estratificación, hasta el trasplante en contenedor.

Estudios de distintos autores hacen referencia al éxito de la micorrización con la inoculación por inyección (Fisher y Colinas, 1996; Domínguez Núñez et al., 2004; Barroetaveña et al., 2009; Pasamar Escudero, 2010; Peña Matamala, 2010; Niccoló Benucci, 2011; Alpuente, 2013; Rinaudo Martín, 2020), a la inoculación por inmersión de raíces (Cartié Guijarro et al., 1996) y a la inoculación por espolvoreo (García y Barreda, 2016).

Según Kirk et al. (2008) se conocen 86 especies del género *Tuber* en el mundo. Entre ellas podemos nombrar a: *Tuber melanosporum*, *Tuber aestivum* (Wulfen) Pers. (Trufa negra de verano), *Tuber brumale* Vittad. (Trufa negra de otoño), *Tuber albidum* Picco (Trufa Bianchetti), *Tuber borchii* Vittad. (Trufa bianchetto), *Tuber magnatum* Picco (Trufa blanca), *Tuber mesentericum* Vittad., *Tuber rufum* Picco (Trufa roja), *Tuber uncinatum* Chatin (Trufa de otoño), *Tuber gibbosum* Harkn. (Trufa Blanca de Oregón), *Tuber asa* Tul. & C. Tul., *Tuber bituminatum* Berk. & Broome, *Tuber dryophilum* Tul. & C. Tul., *Tuber excavatum* Vittad. (Trufa Excavada), *Tuber ferrugineum* Vittad. (Trufa de la Encina), *Tuber foetidum* Vittad., *Tuber fulgens* Qué., *Tuber hiemalun* Chatin, *Tuber himalayense* B.C. Zhang & Minter (Trufa china), *Tuber indicum* Cooke & Massee (Trufa de invierno), *Tuber canaliculatum* Gilkey, *Tuber malacodermum* E. Fisch., *Tuber lyonii* Butters (Trufa del Pecán), entre otras. Muchas de ellas son de consumo humano, pero solo algunas son de importancia económica. Dentro de estas últimas especies encontramos a *Tuber melanosporum*, *Tuber aestivum*, *Tuber brumale*, *Tuber borchii*, *Tuber magnatum*, *Tuber mesentericum*, *Tuber rufum* y *Tuber uncinatum*.

Tuber melanosporum o Trufa negra de Périgord, es la especie más importante a nivel mundial. Los esporomas de este hongo presentan un gran valor por la forma en que se obtienen y por su gran difusión como producto gastronómico. Si bien los rendimientos por hectárea no son muy altos, con un promedio de 30-50 kg, su producción es rentable por el alto costo por kilo. Naturalmente se encuentra en una zona delimitada del sur de Europa como España, Francia e Italia (Niccoló Benucci et al., 2011). Igualmente se registra en otros lugares del mundo, existiendo también producciones significativas en Oceanía (Australia y Nueva Zelanda) y América (Chile, Argentina y EE.UU.) (García Barreda, 2019), en respuesta a ser utilizada como inóculo en plantaciones de distintas especies arbóreas y así obtener sus estructuras producto de su reproducción sexual. Las especies arbóreas con las que establece simbiosis son: *Quercus ilex* L. subsp. *ilex* (encina), *Quercus ilex* subsp. *ballota* (carrasca), *Quercus faginea* Lam. subsp. *faginea* (quejigo), *Quercus pubescens* Willd. (roble pubescente), *Quercus cerrioides* WK et Costa (roble cerrioide), *Quercus coccifera* L. (coscoja), *Quercus robur* L. (Roble europeo), *Corylus avellana* L. (avellano europeo), entre otras (Reyna Domenech, 2007; Martín Amor, 2011; Alpuente, 2013; Río Moreno, 2020). Además, se asocia con otras especies arbóreas, pero con las que no se llega a tener una producción estable de esporomas, como *Fagus* sp., *Populus* sp., *Salix* sp., *Ostrya* sp., *Carpinus* sp., *Alnus* sp., *Betula* sp., *Castanea* sp., *Tilia* sp., *Cistus* sp., *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp. y *Abies* sp. (Martín Amor, 2011; Alpuente 2013). En

Argentina, se incorporó en los últimos años en plantaciones de roble, encina y avellano. Ejemplos de esto son los emprendimientos privados “Trufas del Nuevo Mundo” en Espartillar y “Trufas La Esperanza” también ubicado en la provincia de Buenos Aires, aunque también existen otras trufas en Tucumán, Río Negro (Choele Choel y El Bolsón) y Santa Cruz (Los Antiguos), que han entrado recientemente en producción, así otras zonas, como unas disponibles en Chubut, que son potencialmente aptas para el cultivo de esta especie de trufa (Salgado Salomón et al., 2021).

Una característica que presenta esta especie de hongo es que produce el “quemado”, es decir, inhibe el crecimiento de otras especies vegetales en torno a su huésped, lo que proporciona mejores condiciones para el árbol ante sequía y aumenta la disponibilidad de nutrientes, ya que no cuenta con competidores (Colinas et al., 2007; Lamas y Maio, 2020; Associació de Productors de Tòfona de Catalunya <http://www.productorstofona.cat/>).

Al igual que *Tuber melanosporum*, *Tuber magnatum* o “trufa blanca” también se desarrolla naturalmente al sur de Europa, principalmente en la región Piamonte en Italia. Es llamada también “oro blanco” por su alto valor gastronómico y por ser obtenida hasta lo que se reporta en la bibliografía, solo naturalmente en ese lugar. Se asocia con especies arbóreas similares a las que se asocia *Tuber melanosporum*, como el avellano europeo (*Corylus avellana*), encinas y robles (*Quercus* sp.; Peña Matamala, 2010). En Chile se llevó a cabo un estudio sobre la posible asociación entre *Tuber magnatum* y *Pinus radiata*; si bien se registró un cambio en las plántulas inoculadas con el hongo, no se pudo comprobar su identidad taxonómica (Peña Matamala, 2010).

Tuber aestivum, o “trufa de verano”, es probablemente el hongo más fácil de cultivar comercialmente de todas las trufas, según Gryndler et al. (2011). Esto es así, ya que los requerimientos de suelo y clima se pueden cumplir en muchos lugares de Europa. En adición a lo anterior, es una de las únicas especies que cuenta con fructificaciones que maduran hasta invierno, por eso mismo su valor comercial está en aumento constante. Se encuentra asociada a *Quercus robur* L., *Quercus cerris* L., *Corylus avellana* L., *Fagus sylvatica* L., *Tilia cordata* Miller, *Pinus brutia* Ten., *Pinus halepensis* Mill. y *Pinus nigra* L. Con *Tuber borchii* sucede algo similar, ya que últimamente también está en aumento su producción. La misma se encuentra naturalmente al noreste de Italia (Lotti et al., 2010). Asimismo, existen reportes que hacen referencia a la producción de tanto *Tuber aestivum* y *Tuber borchii* en Argentina (emprendimiento privado en Tucumán bajo la supervisión del personal de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, con el apoyo de la Asociación de Productores de Papa Semilla de Tafí del Valle, Nueva Zelanda y en distintos países de Europa (Hall, 2008). Se relaciona con especies arbóreas, como el avellano, la encina, el alcornoque siendo el pino piñonero su huésped favorito (Morcillo et al., 2017).

Otra especie a la que se puede hacer referencia es *Tuber lyonii* o “trufa del pecán”. Se asocia naturalmente con *Carya illinoensis*, con *Corylus* sp. y *Quercus* sp. (Brenneman et al., 2016). Esta especie de hongo se encuentra distribuida desde Nuevo México hasta Florida y desde Québec hasta el norte de México. Es una de las especies más encontradas en las plantaciones de pecán de EE.UU. (Sulzbacher et al., 2019) y se usa para fines culinarios, aunque su importancia económica todavía no es de gran relevancia, sino que su producción es llevada a cabo por algunos productores locales. Se trata de una trufa con un sabor distintivo a nuez y que se puede conseguir a un menor valor que la trufa negra y la blanca. Se encuentra en suelos más pesados, arcillosos, aunque también se encontró en suelos arenosos, por lo que se podría decir que tiene una mayor adaptabilidad. Requiere un pH similar a las otras trufas, es decir alcalino. Es muy dependiente de la humedad, generalmente se encuentra en plantaciones bien irrigadas. (Brenneman et al., 2016).

En base a lo mencionado anteriormente, se puede visualizar que la mayoría de las especies del género *Tuber* se relacionan con especies arbóreas similares, dentro de las que podemos encontrar algunas que son frutales, como: *Carya illinoensis*, *Corylus avellana* y *Castanea sativa*.

Para diferenciar a algunas de las especies de trufas nombradas de mayor importancia, se puede hacer referencia a las características que presentan sus esporomas. Se marca la diferencia entre *Tuber melanosporum*, *Tuber aestivum*, *Tuber borchii*, *Tuber magnatum* y *Tuber lyonii* en cuanto a las características estructurales (peridio, gleba y esporas) y organolépticas, como el aroma (Tabla 1).

Hasta el momento no hay referencias acerca de la producción a gran escala de inóculo de hongos del género *Tuber*. Sin embargo, se han hecho algunos ensayos para la obtención *in vitro* de micelio en cultivo puro, tanto a partir de los cuerpos fructíferos como de secciones de raicillas de plantas micorrizadas, incluyendo aislamientos de la especie *Tuber melanosporum* (Jimenez Aguilar, 2014). Más allá de esto, hoy en día, tanto en España como en Francia e incluso en “Trufas del Nuevo Mundo”, en Argentina, se puede obtener inóculo de *Tuber Melanosporum* ya que se comercializa.

TABLA 1
Características morfo-organolépticas de los esporomas de diferentes especies de *Tuber*. Fuente: Mödinger Barrera, 2012.

Nombre científico	Nombre vulgar	Periodio	Gleba	Esporas	Aroma
<i>Tuber melanosporum</i>	Trufa negra de Périgord	Negro brillante, rugoso con verrugas poligonales	Blanca inmadura, negra a la madurez	Globoso-elípticas de color marrón y opacas	Intenso y persistente
<i>Tuber aestivum</i>	Trufa negra de verano	Negro, a veces con tonos marrones y verrugas poligonales	Clara, nunca negra	Globosas y alveoladas	No muy intenso ni persistente
<i>Tuber borchii</i>	Trufa bianchetto	Color variable, amarillento con tonos rojizos o marrón rojizo. Sin verrugas	Clara a marrón rojizo	Retículo alveoladas	Intenso
<i>Tuber magnatum</i>	Trufa blanca	Blanquesino-amarillento, aterciopelado	Blanca a amarillo rosada	Ovaladas a subglobosas	Intenso. Se caracteriza por ser muy aromática
<i>Tuber lyonii</i>	Trufa del pecán	Lobulado, amarillento bronceado a marrón oscuro	Marrón claro a grisáceo. A la madurez marrón oscuro	Ovaladas con espinas que están conectadas parcialmente en la base	Intenso y penetrante

INTERACCIÓN ENTRE *CARYA ILLINOINENSIS* Y HONGOS DEL GÉNERO *TUBER*

Como ya se señaló, uno de los géneros de hongos con el que *Carya illinoensis* forma ectomicorrizas es *Tuber* (Tarango et al. 2004). Esta planta puede establecer simbiosis con *Tuber melanosporum*, *Tuber brumale*, *Tuber borchii*, *Tuber aestivum*, *Tuber indicum* y *Tuber lyonii*. Esta última conocida como “trufa del pecán”, se asocia naturalmente a *Carya illinoensis*, de hecho, es una de las especies de ectomicorrizas que más abunda en las plantaciones adultas del pecán (Bonito et al., 2012).

Teniendo en cuenta que, al producirse la micorrización, se produce un cambio en el morfotipo de la raíz, se puede decir que la mayoría de las especies en las que se encontró una respuesta positiva con *Carya illinoensis*, presentan un patrón monopodial pinnado y en algunos casos un patrón piramidal, como en el caso de la simbiosis con *Tuber brumale* y *Tuber aestivum* (Niccoló Benucci et al., 2011; Marozzi et al., 2016; Özderin et al., 2018). Sólo se revelaron diferencias en las tonalidades de las raíces micorrizadas y en el porcentaje de colonización:

**Tuber borchii*: Estudios de Benucci et al. (2011) revelaron que generó más del 50 % de ectomicorrización en las plantas evaluadas. El color varió con el desarrollo, de amarillo claro con manchas grisáceas a más oscuro y amarronado.

**Tuber aestivum*: Estudios de Benucci et al. (2011) y Özderin et al. (2018) registraron plantas con más del 50% de ectomicorrizas. El color de las raíces micorrizadas varió de ámbar claro a marrón oscuro a medida que se diferenció.

**Tuber melanosporum*: Marozzi et al. (2016) registraron valores de 37,3% de micorrización, el cual se vio reducido el segundo año a 10,5%. Las ectomicorrizas de *T. melanosporum* mostraron ser de color marrón amarillento.

**Tuber lyonii*: Estudios de Hamilton (2014) revelaron un porcentaje de micorrización de 49,3% que se redujo un tiempo después a 21,3%.

**Tuber brumale*: Marozzi et al. (2016) obtuvieron un porcentaje de micorrización de 35,5%, que luego de 2 años aumento a 49,4%. La micorriza de coloración amarronada, al madurar reveló la punta del ápice en crecimiento de color blanco.

También es relevante considerar la estrategia de inoculación y el tipo de sustrato utilizado. En relación a las técnicas de inoculación sobre *Carya illinoensis*, se han estudiado distintas metodologías incluyendo: obtención de una suspensión de esporas con carpóforos almacenados a – 20°C, con agua destilada, para aplicar en la zona debajo de las raíces, previo a la plantación (Niccoló Benucci et al., 2011; Bonito et al., 2012; Marozzi et al., 2016); la inmersión de las raíces en la suspensión de esporas (Özderin y Alli, 2020), y la obtención de una pasta para aplicar con una espátula en las raíces (Hamilton, 2014). En la mayoría de los casos, se utilizó una aplicación de dos gramos de inóculo por plántula. Similarmente a lo observado con la inoculación de hongos del género *Tuber* en distintas especies arbóreas, se puede observar que en este caso existe un patrón similar, ya

que hay una prevalencia del método de preparación de una suspensión de esporas que se aplica en el sustrato y hay referencias sobre el método de inmersión de raíces.

En cuanto al sustrato, se han evaluado distintas alternativas. Algunos ejemplos son: únicamente turba, vermiculita+perlita (1:1), arena+perlita+vermiculita+turba (1:1:1:2), entre otros. Todos los sustratos se usaron esterilizados. En un estudio realizado por Bonito et al. (2012) se observó que *Tuber lyonii*, a pesar de ser un simbiote natural de *Carya illinoensis*, no tiene una buena habilidad competitiva en suelos de plantaciones de pecán, ya que a veces no se lo encuentra y, por lo tanto, se debería intensificar la frecuencia de su inoculación para que pueda prevalecer sobre los otros hongos del suelo.

PERSPECTIVAS FUTURAS EN LA INTERACCIÓN DE *CARYA ILLINOENSIS* CON HONGOS DEL GÉNERO *TUBER* PARA LA PRODUCCIÓN EN VIVERO EN ARGENTINA

La truficultura hoy en día es una actividad económica que se encuentra en continua expansión y crecimiento, además de estar atravesando un proceso de tecnificación (Sánchez et al., 2020). Si bien, varias especies del género *Tuber* son comercializadas, como *Tuber aestivum*, *Tuber magnatum*, *Tuber borchii*; *Tuber melanosporum* es la más importante a nivel mundial y la que actualmente se comercializa en mayor medida. En Argentina, su producción se sitúa principalmente en la Patagonia y en la Provincia de Buenos Aires, donde únicamente se obtienen trufas de la especie *Tuber melanosporum*, en especies arbóreas como encinas, robles y avellanos. La empresa “Trufas del Nuevo Mundo”, la cual fue fundada en el año 2011, a unos kilómetros del pueblo de Espartillar y en las cercanías de Sierra de la Ventana, en la Provincia de Buenos Aires, acondicionó el suelo de sus predios y cuenta con las condiciones ideales para el cultivo de estos hongos, obteniendo en 2016 sus primeras fructificaciones y hoy en día ya exportan a España, Francia, Dinamarca y EE.UU. Mientras que en la provincia de Tucumán se está desarrollando con éxito la combinación *Tuber aestivum* - *Pinus halepensis* y *Tuber borchii* - *Pinus pinea*.

Lamas y Maio (2020) llevaron a cabo un estudio para definir la zonificación climática para la producción de trufas (*Tuber melanosporum*) en Argentina. Se realizó utilizando como límites de precipitación a la isohieta de 400 mm y a la de 1500 mm, a las isotermas de temperatura media de 8° C y 18° C y la de temperatura máxima correspondiente a 24° C. Como resultado se obtuvo que la zona apta más extensa se encuentra en el centro de la Región Pampeana, una segunda zona es el oeste de la Patagonia y una última en la parte central de la provincia de Jujuy (Figura 4). Recientemente Salgado Salomón et al. (2021) también aportaron datos sobre la aptitud potencial trufícola en la provincia de Chubut, y sus resultados que son a nivel de cuenca, son prometedores.

Esto pone en evidencia el gran potencial productivo con el que cuenta Argentina, debido a la amplia oferta ambiental que presenta el país y por la posibilidad de producir a contra estación de los principales mercados del hemisferio Norte, lo que permitiría una excelente oportunidad comercial (Lamas y Maio, 2020).

Por otra parte, el cultivo de pecán también se encuentra en constante crecimiento. Actualmente el mayor productor a nivel mundial es EEUU, seguido por México, concentrando ambos países más del 90% de la producción total, y luego Sudáfrica y Australia. En Argentina, como ya se hizo referencia, se desarrolla en diversas zonas del país, desde Patagonia hasta el NOA, encontrándose el 80% de la producción concentrada en las provincias del Litoral (Entre Ríos, Corrientes y Misiones), Buenos Aires y Santa Fe (Cadena de Nuez Pecán, 2019). Si se relaciona estas zonas con las potenciales para la producción de trufas en Argentina, existen zonas similares para la producción de ambos cultivos, como la provincia de Buenos Aires, parte de Entre Ríos y Santa Fe.

Esta investigación bibliográfica sugiere un gran potencial para la producción de ambos cultivos en conjunto, ya que hay una gran diversidad de trabajos que demuestran que es factible lograr una interacción entre *Carya illinoensis* y algunos hongos del género *Tuber*, como *Tuber melanosporum*, *Tuber brumale*, *Tuber borchii*, *Tuber aestivum* y *Tuber lyonii*. No obstante, para que esto se logre, se deben cumplir las prácticas de manejo adecuadas en vivero y se deberían llevar a cabo ensayos en cultivos implantados para evaluar si la micorrización se mantiene luego de ésta. Otro aspecto a considerar es que las especies del género *Tuber* se comportan bien en suelos calizos y el pecán es sensible a suelos con alta cantidad de carbonato de calcio. Todo esto lleva a la necesidad de monitorear y lograr un equilibrio en el contenido de la mencionada sal, para que el hongo y la planta se desarrollen con éxito. También es importante considerar el uso del portainjerto Apache, por su tolerancia a suelos alcalinos, conforme a los requerimientos edáficos del género *Tuber*.

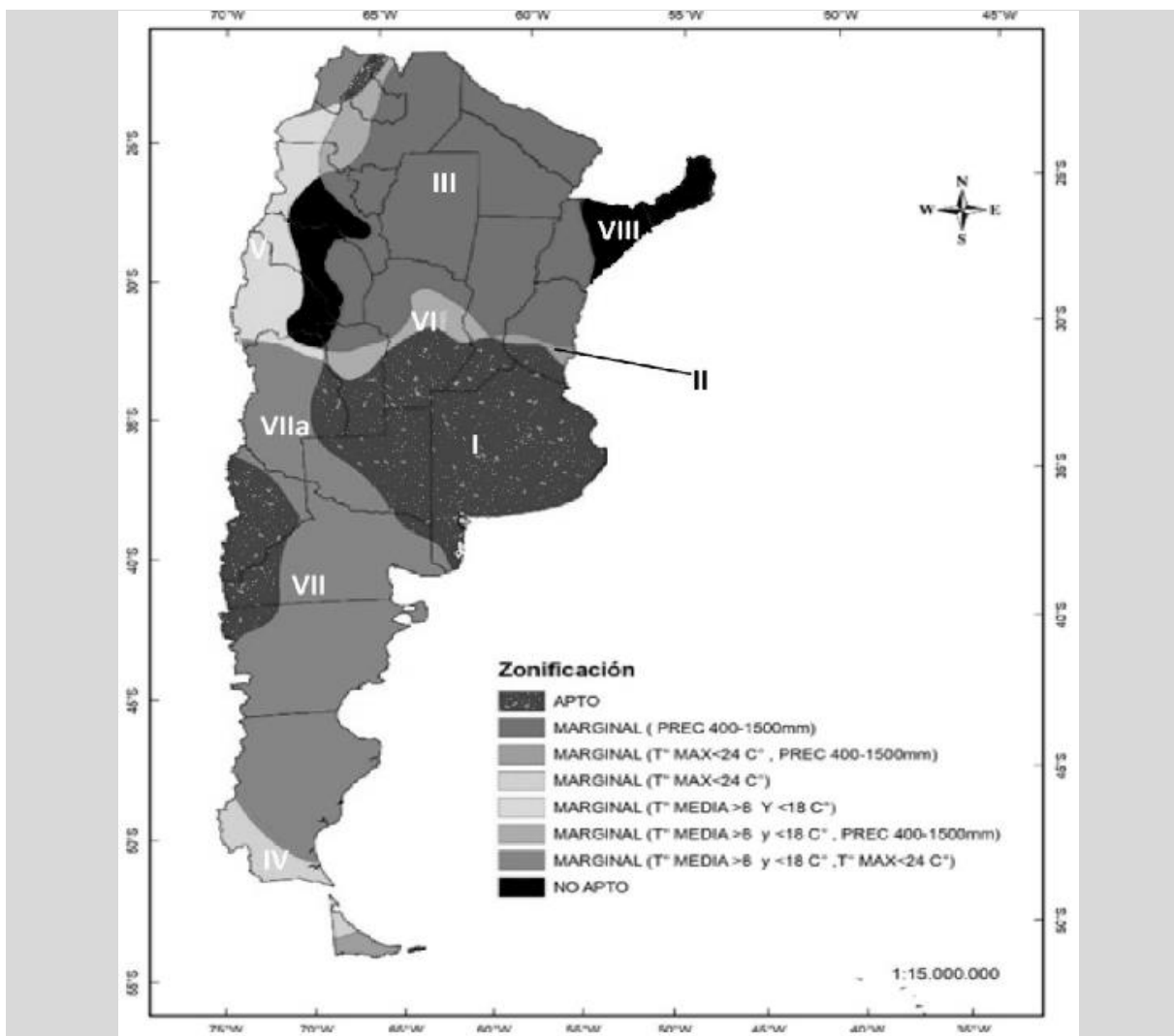


FIGURA 4

Zonificación climática para el desarrollo de trufa negra en Argentina. Tomado de: Aptitud climática para la producción de trufa negra (*Tuber melanosporum*) en Argentina. Lamas y Maio (2020).

CONCLUSIONES

La interacción entre *Carya illinoensis* y hongos del género *Tuber* es prometedora como una estrategia económica ya que se podrían obtener dos productos distintos de una única plantación. Además, ello implicaría la promoción del crecimiento de *Carya illinoensis* y una mayor protección ante patógenos, que aportará mayores ingresos en el marco de una producción más sustentable. Específicamente, este tipo de interacción sería ideal que se explotara con *Tuber lyonii*, que, si bien no cuenta con una importancia económica como la trufa negra o la blanca, se trata de la especie que naturalmente se asocia con *Carya illinoensis* y tiene características culinarias que le pueden otorgar un gran potencial para ser utilizado como alimento y/o como fuente de varios metabolitos o aromas, los cuales deberían ser identificados analíticamente para su aprovechamiento en la industria. Por lo tanto, es necesario plantear técnicas adecuadas para su inoculación y domesticación, mediante la obtención de cepas de la especie y la determinación de parámetros físicos como la temperatura óptima de micorrización, colonización en raíz y activación de la fructificación en planta tal como se hace para domesticar otros hongos ectomicorrícicos comestibles. También es clave que se lleve a cabo la zonificación climática en Argentina, como se realizó para *Tuber melanosporum* y así determinar la potencialidad del cultivo en el país. No obstante, conviene avanzar con los estudios de micorrización de *Carya illinoensis* en invernáculo utilizando una especie de trufa que naturalmente

es dominante en su rizósfera, tal como *Tuber lyonii*, e indagar sobre el potencial de especies de trufas que actualmente se comercializan como *Tuber melanosporum*.

Agradecimientos y contribución de los autores

Mario C. N. Saparrat es un investigador del CONICET, Argentina. RQ: formuló los objetivos de la revisión y la redactó. GAM y MCNS: supervisaron la propuesta de la revisión, la revisaron y editaron el manuscrito. HT: aportó información bibliográfica y revisó la versión final del manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

- Alpuente, A.C.A.** (2013). *Análisis comparativo de los métodos utilizados para la evaluación de la calidad de la planta de encina (Quercus ilex subsp. ballota (Desf.) Samp.) micorrizada con trufa negra (Tuber melanosporum Vittad.)*. Trabajo Final de Maestría. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad Zaragoza.
- Babuin, M.F.** (2009). *Evaluación de plantas de Carya illinoensis (Wangenh.) K. Koch micorrizadas con Glomus intraradice*. Tesina. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Barroetaveña, C., Schinelli Casares, T., Bassani, V.N., Tejera, L. y Gallo, L.** (2009). *Inoculación ectomicorrícicas de Nothofagus sp. creciendo bajo fertirriego*. Proyecto marco: "Domesticación de especies forestales nativas". INTA.
- Benucci, G. M., Bonito, G., Baciarelli Falini, L. y Bencivenga, M.** (2012) Mycorrhization of pecan trees (*Carya illinoensis*) with commercial truffle species: *Tuber aestivum* Vittad. and *Tuber borchii* Vittad. *Mycorrhiza* 22, 383-392.
- Bonito, G., Smith, M.E., Breneman, T. y Vilgalys, R.** (2012). Assessing ectomycorrhizal fungal spore banks of truffle producing soils with pecan seedling trap-plants. *Plant and Soil*, 356, 357–366.
- Breneman, T., Grupe, A.C., Bonito, G. y Smith, M.E.** (2016). The Pecan Truffle (*Tuber lyonii*): A Gourmet Truffle Native to the Southeastern United States. UF/IFAS.
- Brutsch, M. O., Allan, P. y Wolstenholme, B. N.** (1977). The anatomy of adventitious root formation in adult phase pecan (*Carya illinoensis*) stem cuttings. *Horticultural Reviews*, 17, 23-31.
- Cabrera Rodríguez, A., Nava Reyna, E., Trejo Calzada, R., García De la Peña, C., Arreola Ávila, J.G., Collavino, M.M., Vaca Paniagua, F., Díaz Velásquez, C. y Constante García, V.** (2020). Effect of Organic and Conventional Systems Used to Grow Pecan Trees on Diversity of Soil Microbiota. *Diversity*, 12, 436. <https://doi.org/10.3390/d12110436>
- Cadena de nuez pecán.** (2019). Recuperado el 3 de marzo de 2021 de: <https://alimentosargentinos.gob.ar>
- Campos-Villarreal, A.G., Arreola-Ávila, J.G., Chávez-Simental, J.A., Trejo Calzada, R., Borja de la Rosa, A., López Santos, A. y Hernández Salgado, J.R.** (2017). Respuesta fisiológica, acumulación iónica y peso en portainjertos de nogal pecanero (*Carya illinoensis* (WANGENH) K. KOCH) desarrollados bajo condiciones de stress salino. *Asociación Interciencia*, 42, 44-749
- Cartié Guijarro G., Palazón Español C., Delgado Izquierdo I. y Barriuso Vargas J.** (1996). Influencia de los sustratos y geles, utilizados en la micorrización de *Q. ilex* por *Tuber melanosporum* vitt. *Servicio de Investigación Agraria. ITEA*, 2, 64-69
- Castel Duaso, L.** (2012). *Artrópodos parásitos asociados a carpóforos del género Tuber*. Trabajo final de carrera Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.
- Chiummiento, J.** (2020). Pensar nuevas inversiones en la cuarentena: el cultivo que se exporta a 2.000 dólares el kilo. *Agrofy News*. Recuperado el 22 de junio de 2021 de <https://news.agrofy.com.ar>
- Colinas, C., Capdevila S., Josep M., Oliach, D., Fischer, C. y Bonet Lledos, J. A.** (2007). Mapa de aptitud para el cultivo de trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) en Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC).
- Domínguez Núñez J. A., Planelles R., Rodríguez Barreal J. A. y Saiz de Omeñaca J. A.** (2004). Influencia de la micorrización con trufa negra (*Tuber melanosporum*) en el crecimiento, intercambio gaseoso y nutrición mineral de plántulas de *Pinus halepensis*. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 13 (2), 317-327.
- Doreste P.** 2015. Nuez de pecán. Recuperado el 25 de febrero de 2021 de <http://alimentosargentinos.magyp.gob.ar>

- El ciclo biológico de la trufa.** associació de productors de tòfona de catalunya. Recuperado el 7 de mayo de 2021 de <http://www.productorstofona.cat/>
- Fisher, C. y Colinas, C.** (1996). Puesta a punto de un método de control de planta de *Quercus ilex* con *Tuber Melanosporum*. Informe para el Centro de Investigación Forestal de Valonsadero. Universidad de Lleida.
- Franco Navarro, J. D.** (2012). *Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas*. Bioscripts Recuperado el 25 de febrero de 2021 de www.bioscripts.net
- Gaido, A.P.** (2019). “Descomoditización” de la nuez Pecan. Trabajo de fin de grado Universidad del CEMA.
- García Barreda, S.** (2019). El cultivo de la trufa negra: tendencias recientes y perspectivas de innovación. Unidad de Recursos Forestales Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón.
- García Barreda, S., Molina Grau, S., Reyna, S.** (2016) Fertilization of *Quercus* seedlings inoculated with *Tuber melanosporum*: effects on growth and mycorrhization of two host species and two inoculation methods. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 10, 267–272. <https://doi.org/10.3832/for2096-009>
- García Rodríguez, J.L., Pérez Moreno, J., Aldrete, A., Cetina Alcalá, V.M. y Vaquera-Huerta, H.** (2006). Characterization of the wild ectomycorrhizal fungus *Pisolithustinctarius* (Pers.) Coker et Couch in culture and in symbiosis with eucalypt and pine. *Agrociencia*, 40, 665-676.
- Gryndler M., Hršelová H., Soukupová L., Streiblová E., Valda S., Borovička J., Gryndlerová H., Gažo J. y Miko M.** (2011). Detection of summer truffle (*Tuber aestivum* Vittad.) in ectomycorrhizae and in Osoil using specic primers. *Federation of European Microbiological Societies*, 318, 84-91. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2011.02243.x>
- Hall, I.R.** (2008). The Bianchetto Truffle, *Tuber borchii*, revised edn. Truffles & Mushrooms Consulting Ltd, Dunedin, New Zealand. Recuperado el 4 de marzo de 2021 de <http://www.trufflesandmushrooms.co.nz/>
- Hamilton B.S., W.M.** (2014). Maximizing the Symbiosis of *Tuber lyonii* with *Carya illinoensis*. Tesis de Maestría. Texas Tech University.
- Hartmann, H.T. y Kester, D.E.** (1968). *Propagación de plantas*. Editorial continental, S.A.; México.
- Iotti, M., Lancellotti, E., Hall, I., Zambonelli, A.** (2010). The ectomycorrhizal community in natural *Tuber borchii* grounds. *FEMS Microbiology Ecology*, 72, 250–260. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2010.00844.x>
- Jiménez Aguilar, M.C.** (2014). *Procedimiento para la obtención a gran escala de inóculo micelial de Ascomycetos*. Universidad Politécnica de Madrid. Organización Mundial de la Propiedad Intelectual Oficina internacional.
- Kirk, P.M., Cannon, P.F., Minter, D.W. y Stalpers, J.A.** (2008). *Ainsworth y Bisby’s Dictionary of the Fungi*. CABI. Wallingford, UK.
- Lamas, A.M. y Maio, S.** (2020). Aptitud climática para la producción de trufa negra (*Tuber melanosporum*) en Argentina. *Agrometeoros*, 28, e026624. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v28.e026624>
- Larrea, M., Comerio, R.M., Romero, S.M. y Vaamonde, G.** (2019). *Contaminación fúngica de nueces de pecán*. Editorial Académica Española.
- Luso, B.M.** (2015). *La producción intensiva de hongos de interés comercial. Posibilidades de manejo controlado. Estado actual de conocimientos*. Conferencia Planta Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.
- Mendez Valderrey, J.L.** (2010). Líquenes y micorrizas. *Asturnauta.com*. Recuperado el 21 de julio 2021 de <https://www.asturnatura.com/>
- Madero, E. y Frusso, E.** (2012). *Cultivares*. Proyecto PROPECAN (EEA INTA Delta del Paraná). INTA. Recuperado el 7 de mayo de 2021 en <http://www.inia.org.uy/>
- Madero, E.R., Trabichet, F.C., Pepé, F. y Wright, E.** (2017). *Manual de manejo del huerto de nogal pecán*. Ed. INTA.
- Mamani de Marchese, A. y Filippone, M.P.** (2018). Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 38(1), 9-21.
- Marozzi, G., Sánchez, S., Benucci, G.M., Bonito, G., Falini, L.B., Albertini, E., Donnini, D.** (2016) Mycorrhization of pecan (*Carya illinoensis*) with black truffles: *Tuber melanosporum* and *Tuber brumale*. *Mycorrhiza*, 27(3), 303–309. <http://dx.doi.org/10.1007/s00572-016-0743-y>
- Martin Amor, A.** (2011). *Efectos de la inoculación del hongo de micorrización Tuber melanosporum y la rizobacteria Pseudomonas fluorescens en la calidad de la plántula de Pinus halepensis*. Trabajo Final. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.

- Möding Barrera, G.I.** (2012). *Ecología, ciclo de vida y cultivo comercial de trufa negra (Tuber melanosporum Vitt.)*. Trabajo final, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera.
- Morcillo, M., de Paz, E., Vilanova, X. y Sánchez, M.** (2017). *Viabilidad y rentabilidad de una plantación de pino piñonero (Pinus pinea) micorrizado con trufa Bianchetto (Tuber borchii)*. Ed. Micología Forestal & Aplicada. Barcelona.
- Muñoz Márquez, E., Macías López C., Franco Ramírez, A., Sánchez Chávez, E., Jiménez Castro, J. y González García, J.** (2009). Identificación y colonización natural de hongos micorrícicos arbusculares en nogal. *Terra Latinoamericana*, 27, 355-361.
- Navarro, J. de D.** (2015). Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas. Recuperados el 4 de marzo de 2021 de <https://www.yumpu.com>
- Niccolò Benucci, G.M., Bonito, G., Baciarelli Falini, L. y Bencivenga, M.** (2011). Mycorrhization of Pecan trees (*Carya illinoensis*) with commercial truffle species: *Tuber aestivum* Vittad. And *Tuber borchii* Vittad. *Mycorrhiza*, 22, 383-392. <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0413-z>
- Noda, Y.** (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. Estación Experimental de Pastos y Forrajes. Matanzas.
- Özderin, S. y Allı, H.** (2020). Determination of mycorrhizal developments in pecan nut seedlings inoculated with *Tuber aestivum* Vittad. (summer truffle). *Turkish Journal of Forestry*, 21(2), 131-135.
- Özderin, S., Yilmazb, F. y Allı, H.** (2018). Determining mycorrhiza rate in some oak species inoculated with *Tuber aestivum* Vittad. (summer truffle). *Turkish Journal of Forestry*, 19(3), 226-232.
- Pasamar Escudero, V.** (2010). *Proyecto de instalación de un vivero para la producción de Encinas y Quejigos micorrizados con Tuber melanosporum Vittad*. Gallocanta (Zaragoza). Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid
- Pecan Truffles Fact Sheet.** (2021). Recuperado el 7 de julio de 2021 de <https://timbrenneman.org>.
- Peña Matamala, P.A.** (2010). *Ensayos de micorrización en Pinus radiata D. Don, utilizando el hongo Tuber magnatum Pico*. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Agronomía.
- Piña Ramírez, F.J., Soto Parra, J.M., García Muñoz, S.A., Yañez Muñoz, R.M. y Pérez Leal, R.** (2019). Aplicaciones de enmiendas orgánicas y microorganismos para optimizar parámetros del suelo y rendimiento del nogal pecanero. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 7. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v7i2.24>
- Reyna Domenech, S.** (2007). *Truficultura. Fundamentos y Técnicas*. S.A. Mundi-Prensa libros.
- Rinaudo Martín, M.** (2020). *Efectos de la fertilización en la micorrización con Tuber spp. y en la calidad de planta de distintas quercíneas: comparación entre fertilizantes orgánicos y convencionales*. Tesis de Maestría. Universidad de Alcalá. España.
- Rio Moreno, L.** (2020). *Efectos de las fuentes de nitrógeno en la micorrización con Tuber melanosporum y en la calidad de planta de Quercus ilex*. Tesis de Maestría. Universidad de Alcalá. España.
- Roa Huerta, M.** [Pecan technology] (11 de mayo de 2021). *Principales factores para alta productividad e qualidade no MexicoP.* [Archivo de Video]. Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=QNpgYD-gmk8&t=1919s>
- Salgado Salomon, M., Heitzmann, L., Alonso, V., Mohr Bell, D., Pildain, B., y Barroetaveña, C.** (2021). *Mapa de zonificación potencial para el cultivo de Trufa negra (Tuber melanosporum) en tres cuencas productivas de la provincia de Chubut*. Informe de Consejo Federal de Inversiones.
- Sánchez, S., García-Barreda, S., Tejedor-Calvo, E. y Marco, P.** (2020). *La Truficultura: una actividad novedosa y rentable pero compleja*. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón.
- Saparrat, M.C.N., Ruscitti, M. y Arango, M.C.** (2020). *Micorrizas arbusculares: Biología y aplicaciones en el sector agro-forestal*. Colección: Libros de Cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Soria Abad, E.** (2014) *Tuber melanosporum, es tiempo de trufas*. Apuntes sobre Ingeniería forestal. Rescatado el 3 de julio de 2021 en: <https://elenasoriaa.wordpress.com>
- Soto Parra, J.M., Piña Ramírez, F.J., Sánchez Chávez, E., Pérez Leal, R. y Basurto Sotelo, Moisés.** (2016). Alternativas orgánicas para disminuir la aplicación de nitrógeno en nogal pecanero. *Nova scientia*, 8(16), 140-161.
- Sparks, D.** (1992). *Pecan Cultivars, The Orchard's Foundation*. Watkinsville, Georgia: Pecan Production Innovations.

- Sulzbacher, M.A., Hamann, J.J., Fronza, D., Jacques, R.J.S., Giachini, A.J., Grebenc, T., y Antonioli, Z.I.** (2019). Fungos ectomicorrízicos em plantações de nogueira-pecã e o potencial da truficultura no Brasil. *Ciência Florestal*, 29(2), 975–987. <https://doi.org/10.5902/1980509827581>
- Taber, R.A., Worthington, J.W., Trappe, J.M. y Taber, W.A.** (1982). Mycorrhizal fungi associated with native and improved varieties of pecan in Texas. *Phytopathology*, 72, 951.
- Tarango Rivero Socorro, H., Macías López, B.C., Alarcón, A. y Pérez Moreno, J.** (2004). Colonización micorrícica, crecimiento y concentración foliar de nutrientes en nogal pecanero y pistachero. *Agricultura Técnica en México*, 30(2), 191-203.
- Torri, S.I., Cabello, M.J. y Lavado, R.S.** (2006). *Diagnóstico de la calidad de los suelos y su fertilidad para el pecán. Producción de pecán en Argentina*. INTA-FAUBA.
- Zhang, X., Li, X., Wu, C., Ye, L., Kang, Z. y Zhang, X.** (2019). Exogenous Nitric Oxide and Phosphorus Stress Affect the Mycorrhization, Plant Growth, and Associated Microbes of *Carya illinoensis* Seedlings Colonized by *Tuber indicum*. *Microbiology*, 10, 2634. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02634>