



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Potencial micorrícico y microorganismos fúngicos cultivables en suelos de agricultura ecológica de la Hoya de Huesca.

Mycorrhizal potential and cultivable fungi microorganisms in organic soils in Hoya de Huesca.

Autor

Marta Pérez Redondo

Director

Juan J. Barriuso Vargas

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
2019

*“Es algo sano y necesario volver la mirada a la tierra y,
al contemplar sus bellezas,
reconocer el asombro y la humildad.”*

Rachel Carson, *El sentido del asombro*.

Resumen

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto “Actividades para la consolidación del circuito agroalimentario de productos ecológicos en la comarca de la Hoya de Huesca (la Hoya Verde)”, aprobado dentro de las acciones de Cooperación de Agentes del sector agrario del Programa de Desarrollo Rural para Aragón 2014-2010”. La Escuela Politécnica Superior – Universidad de Zaragoza ha participado como socia colaboradora en este proyecto y en este trabajo se presenta una de las líneas en las que se ha colaborado.

Con el objetivo de caracterizar de forma biológica algunos suelos de interés agroecológico en la comarca, se han seleccionado una serie de parcelas manejadas de forma ecológica correspondientes a diferentes cultivos (tres parcelas de cultivo leñoso, tres de cereal en extensivo y tres de cultivo hortícola) sobre las que se han realizado análisis físico-químicos, evaluación del potencial micorrícico y evaluación de la presencia de hongos cultivables. Los resultados obtenidos se han comparado con los obtenidos en otra serie de parcelas manejadas de forma convencional, lo que ha permitido establecer diferencias entre los manejos y obtener datos que permitan, a través de análisis futuros, observar si existe una tendencia de mejora de la fertilidad de los suelos relacionada con su manejo.

El potencial micorrícico de los suelos evaluados ha sido bajo, aunque se han observado tendencias favorables hacia las parcelas de agricultura ecológica y el no laboreo. Además, los cultivos de leñoso han mostrado tener unas mayores densidades de microorganismos fúngicos, seguidos de los cultivos hortícolas. No obstante, se considera necesario aumentar el número de muestras para obtener unas mejores conclusiones.

Palabras clave: calidad biológica, micorrizas arbusculares, cultivo ecológico, hongos cultivables, fertilidad y salud del suelo.

Abstract

This work is part of the project "Activities for the consolidation of the agro-food circuit of organic products in the region of Hoya de Huesca (La Hoya Verde)", approved within the actions of Cooperation of Agents of the agricultural sector of the Rural Development Program for Aragon 2014-2010". The Escuela Politécnica Superior - Universidad de Zaragoza has participated as a collaborating partner in this project and in this work one of the lines of work that have been carried out is presented.

With the aim of carrying out a biological characterization of some soils with agroecological interest in this region, a series of different samples of organic agricultural parcels corresponding to different crops have been selected: three plots of woody crop, three of cereal in extensive and three of horticultural crop. Physical-chemical analysis, evaluation of the mycorrhizal potential and evaluation of the presence of cultivable fungi have been carried out on the samples. The results obtained have been compared with those obtained in other plots managed in a conventional way, which has allowed to establish differences between the management and to obtain data that allow, through future analyses, to observe if there is a tendency of improvement of soil fertility related to its management.

The mycorrhizal potential of the evaluated soils has been low, although favourable trends towards organic plots and no tillage have been observed. In addition, woody crops have shown higher densities of fungal microorganisms, followed by horticultural crops. However, it is considered necessary to increase the number of samples in order to obtain better conclusions.

Key words: biological quality, arbuscular mycorrhizae, organic farming, cultivable fungi, fertility and soil health.

Agradecimientos

Ahora que alcanzo el final de esta etapa, quiero aprovechar para dedicar unas palabras de agradecimiento a algunas de las personas que han aportado su granito de arena en este trabajo, y sin las que no habría sido posible llegar hasta aquí.

En primer lugar agradecer a mis tutores, Juan Barriuso y María Videgain que han sabido transmitirme esa pasión por conocer el universo que se esconde bajo nuestros pies. Gracias Juan por compartir tus conocimientos y darme el apoyo y confianza que muchas veces ha flaqueado. Gracias María por tu dedicación, amabilidad, y por abrirme un mundo de posibilidades, eres una gran investigadora y, sobre todo, una gran persona.

A los y las técnicas de laboratorio, Asún, Belén, Ester, Jaime y Joaquín, por sus ánimos y por hacer todo este proceso mucho más fácil.

A Yana por su tiempo y paciencia, y a todas las personas maravillosas que trabajan en la universidad sin descanso y que he podido conocer este último año entre tappers de comida y cafés. Siempre dispuestos a sacar unas sonrisas en las horas de descanso.

A mis amigos y amigas, que han confiado en mí y han sabido aguantar estos últimos meses de cambios de humor.

A mi familia que con paciencia han sabido valorar mi trabajo y han sido un pilar fundamental en estos años.

Gracias a todas y todos y... ¡gracias a las micorrizas!

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	El suelo.....	1
1.2.	Estrategias para la conservación del suelo.....	3
1.3.	Agricultura ecológica	4
1.4.	Políticas y acciones agroecológicas	6
1.5.	Calidad del suelo	7
1.5.1.	Calidad biológica	8
1.6.	Microorganismos	10
1.6.1.	Micorrizas.....	11
	<i>Micorrizas arbusculares.</i>	12
	<i>Micorrizas arbusculares en agricultura</i>	13
1.6.2.	Microorganismos cultivables.....	14
2.	OBJETIVOS	17
3.	MATERIAL Y MÉTODOS	18
3.1.	Área de estudio	18
3.1.1.	Localización.....	18
3.1.2.	Climatología y edafología	18
3.2.	Selección de parcelas de estudio	20
3.3.	Toma de muestras de suelo y procesado	22
3.4.	Caracterización físico-química.....	23
3.5.	Caracterización microbiológica	23
3.5.1.	Potencial micorrícico del suelo	24
	<i>Técnica del número más probable</i>	24
	<i>Extracción y cuantificación de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares</i>	26
3.5.2.	Microorganismos fúngicos cultivables.....	27
	<i>Recuento de colonias</i>	28
	<i>Caracterización molecular de los aislamientos fúngicos</i>	29

3.6.	Análisis estadístico de los resultados.....	30
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1.	Parámetros físico-químicos	31
4.2.	Fertilidad biológica.....	33
4.2.1.	Micorrizas arbusculares.....	33
	<i>Esporas de hongos formadores de MA</i>	33
	<i>Propágulos de hongos formadores de MA</i>	37
4.2.2.	Microorganismos cultivables.....	39
	<i>Densidad de Unidades Formadoras de Colonias</i>	39
	<i>Identificación de especies de hongos cultivables</i>	41
4.2.3.	Correlación entre variables.....	47
5.	CONCLUSIONES	49
6.	BIBLIOGRAFÍA	50
7.	ANEJOS	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contribución de GEI de Aragón al conjunto nacional. Gobierno de Aragón, 2019.	2
Figura 2. Prácticas para la adaptación frente al cambio climático en tierras arables, ganadería y viticultura. European Environment Agency, 2019	4
Figura 3. Logotipo agricultura ecológica UE. MAPAMA	5
Figura 4. Logotipo La Hoya Verde. www.lahoyaverde.es	7
Figura 5. Interacción de los diferentes factores que influyen en la calidad del suelo. Barea, 2009 .	8
Figura 6. Tipos de micorrizas según su morfología. Barea, 2009	11
Figura 7. Enfrentamiento entre <i>Trichoderma atroviride</i> , agente de control biológico y <i>Monilinia fruticola</i> cepa R153, hongo patógeno.....	16
Figura 8. Diagrama ombrotérmico de precipitaciones y temperaturas medias durante el periodo de ensayo 2018-2019. Elaboración propia a partir de los datos meteorológicos de la Oficina del Regante, para Huesca.	19
Figura 9. Ubicación de las parcelas estudiadas sobre mapa geológico de la Hoya de Huesca, siendo las áreas circulares amarillas la ubicación aproximada de las parcelas en convencional, y las verdes las parcelas en ecológico. Comarca Hoya de Huesca.	20
Figura 10. Muestreo con barrena de caña cilíndrica.....	22
Figura 11. Preparación de bioensayo NMP: 1. Diluciones seriadas de suelo y gravilla; 2. Siembra de semillas de cebada pregerminadas; 3. Bandeja multipot sembrada; 4. Crecimiento de cebada en invernadero.....	24
Figura 12. Tinción del sistema radicular de la cebada.....	25
Figura 13. Instrumental utilizado para la extracción de esporas: rampa de filtrado con bomba de vacío (izquierda) y nido de tamices (derecha).	26
Figura 14. Cultivo de medio de cultivo en estufa del laboratorio a 24 °C.	28
Figura 15. Placa de Petri con 1 U.F.C. (izquierda), observación al microscopio de la colonia e identificación morfológica típica del género <i>Aspergillus</i> (derecha).	28
Figura 16. Proceso de extracción de micelo fúngico a partir de las purificaciones de hongos en el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón.	29

Figura 17. Fertilidad físico-química para las 18 parcelas, datos de materia orgánica, nitrógeno nítrico, fósforo Olsen y potasio.	32
Figura 18. Texturas de las 18 parcelas, diferenciadas según tipo de cultivo: extensivo, hortícola y leñoso.	32
Figura 19. Número medio de esporas de HMA/100 g de suelo según el tipo de cultivo, y desviaciones típicas.	35
Figura 20. Número de esporas hongos formadores de MA en 100 g de suelo, según diferente manejo: ecológico y convencional. Media e intervalos de confianza al 95%. Las letras “a” y “b” representan diferencias significativas al 5% entre tipo de manejo, según el análisis de varianzas.	35
Figura 21. Observación a través de lupa binocular de las esporas sobre el papel de filtro.	36
Figura 22. Observación al microscopio del sistema radicular de cebada tras la tinción. Estructuras fúngicas detectadas: imagen 1, hifa de HFMA colonizando célula vegetal; imagen 2, hifas de HFMA en el sistema radicular; imágenes 3 y 4, vesículas y esporas de HFMA.	38
Figura 23. Media de U.F.C. por 100 g de suelo e intervalos de confianza al 95%. Las letras “a” y “b” representan diferencias significativas al 5% entre tipo de cultivo, según la prueba de Tukey.	40
Figura 24. Densidad de microorganismos fúngicos cultivables en las parcelas bajo manejo ecológico frente a las parcelas con manejo convencional, agrupadas según tipo de cultivo. .	41
Figura 25. Número de especies de microorganismos cultivables identificadas según su función. .	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Algunos de los métodos de medición de la actividad biológica del suelo.	9
Tabla 2. Referencia de las muestras de suelo estudiadas, según tipo de cultivo y manejo.....	21
Tabla 3. Metodologías de análisis utilizadas para los diferentes parámetros físico-químicos	23
Tabla 4. Composición del medio selectivo para Trichoderma, TSM (Askew y Laing, 1993).....	27
Tabla 5. Composición del medio selectivo para Rhizoctonia, RSM (Ko y Hora, 1971).	27
Tabla 6. Test de Tukey para el número de esporas por 100 g de suelo según tipo de cultivo: extensivo, hortícola, leñoso. Se exponen valores de error típico y significancia (p-valor).	34
Tabla 7. Número medio de esporas de hongos formadores de micorrizas en 100g de suelo, y desviación típica, por parcela y por agrupación según tipo de cultivo y manejo.	36
Tabla 8. Número de propágulos micorrícicos en 100 cm ³ de suelo para cada parcela. Media y desviación típica para las agrupaciones por cultivo y manejo.	38
Tabla 9. Análisis de varianza de la variable U.F.C./100 g de suelo en función del tipo de cultivo: extensivo, hortícola y leñoso.	39
Tabla 10. Prueba de homogeneidad de varianzas según el tipo de manejo para las distintas transformaciones, estadístico de Levene.....	40
Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis para las U.F.C. agrupadas según el tipo de manejo: convencional/ecológico.	41
Tabla 12. Especies identificadas en los suelos de cultivo hortícola, grupo al que pertenecen y número de especies potencialmente patógenas y beneficiosas para los cultivos.....	44
Tabla 13. Especies identificadas en los suelos de cultivo de almendro, grupo al que pertenecen y número de especies potencialmente patógenas y beneficiosas para los cultivos.....	45
Tabla 14 Especies identificadas en los suelos de cultivo extensivo de cereal, grupo al que pertenecen y número de especies potencialmente patógenas y beneficiosas para los cultivos	46
Tabla 15. Análisis de las correlaciones de Pearson entre los parámetros químicos: materia orgánica (%), fósforo (mg/kg), nitrógeno (mg/kg); y los índices de calidad biológica: 10 ³ UFC/g suelo, número de esporas/100g suelo, número de propágulos micorrícicos/100 cm ³ suelo...	47

1. Introducción

1.1. El suelo

El suelo es un recurso natural básico y soporte fundamental de los ecosistemas terrestres, naturales y productivos, donde reside gran parte de la biosfera terrestre. Se trata de un sistema vivo y dinámico que resulta de la interacción entre sus partes físicas, químicas y biológicas (Sánchez *et al.*, 2012).

Además de estas características propias de un sistema complejo, es necesario reconocer la naturaleza no renovable a escala temporal humana de este recurso, ya que su conservación es esencial para la soberanía alimentaria y un futuro sostenible. La Carta Mundial de los Suelos, elaborada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (más conocida como FAO), advirtió en el año 2015: “Los suelos son fundamentales para la vida en la Tierra, pero las presiones sobre los recursos de suelos están alcanzando límites críticos” (FAO, 2015). En ese mismo año se elaboró el primer informe del Estado Mundial del Recurso Suelo a través del cual se estimó que el 33% del suelo se encuentra moderada o altamente degradado debido a procesos de erosión, salinización, compactación, acidificación y contaminación química (Montanarella *et al.*, 2016)

La degradación de este recurso se encuentra estrechamente relacionada con la productividad de los agrosistemas, que varía en función del estado de conservación del mismo. Además estos agrosistemas, con una ocupación del 38 % de la superficie terrestre, son los que proveen de alimentos y otros productos a una población creciente y que se prevé que supere los 9.000 millones de personas en el año 2050. Ante este reto poblacional, la intensificación de la agricultura registrada a partir del s. XX, supuso grandes mejoras cuantitativas de la producción de alimentos gracias a cuatro pilares fundamentalmente: la aplicación de agroquímicos, la biotecnología, la mecanización de los procesos y la irrigación del terreno (Gomiero *et al.*, 2011). Pero por otro lado, estas prácticas continuadas a lo largo de los años, han traído consigo importantes problemas ambientales derivados tanto de la expansión del suelo agrícola como de la intensificación de los procesos. El cambio de usos del suelo ha supuesto la pérdida de importantes ecosistemas naturales, muchos de ellos grandes sumideros de C, la pérdida de biodiversidad y la simplificación de paisajes (incluidos paisajes agrícolas). La intensificación de la agricultura para conseguir mejores producciones, ha supuesto la degradación del suelo y de muchos ecosistemas acuáticos, la pérdida de biodiversidad cultivada y ha contribuido a la producción de gases de efecto invernadero (GEI) (Foley *et al.*, 2011).

En el caso concreto de Aragón, su contribución a los GEI supera a la media nacional en los sectores agrícola y ganadero (figura 1), debido al modelo productivo de la comunidad autónoma que presenta una importante presencia del sector agrario (Gobierno de Aragón, 2019).



Figura 1. Contribución de GEI de Aragón al conjunto nacional. Gobierno de Aragón, 2019.

Otro problema ambiental al que se enfrenta la comunidad autónoma es la contaminación de masas de agua superficiales y subterráneas por nitratos de origen agrario. Según la Orden de 10 de septiembre de 2013, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, la comarca de la Hoya de Huesca se ve afectada por tres masas de aguas declaradas como Zonas Vulnerables a la contaminación por nitratos: Saso de Bolea, Hoya de Huesca y Sasos de Alcanadre. Lejos de solucionarse esta problemática, la Orden de 8 de Julio de 2019, del Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, adicionó nuevas zonas y municipios a los publicados cuatro años atrás, como Ayerbe y Loporzano y Loscorrales.

En relación con los suelos de la provincia oscense, la escasez de materia orgánica, con valores entre 39 y 47 t/ha de carbono en la mayor parte del municipio de Huesca, es uno de los principales factores que condicionan su tendencia a la degradación, así como su bajo nivel de fertilidad. En el Término Municipal de Huesca existe una gran variabilidad en cuanto a tasas de erosión de suelo, predominando tasas moderadas de entre 0,5 y 5 t/año de pérdida de suelo según el modelo RUSLE 2015 - Ecuación Universal de Pérdida de Suelo revisada (Ayuntamiento de Huesca, 2017).

La degradación del suelo, traducida en la pérdida o disminución de la capacidad del suelo para prestar o producir bienes y/o servicios, es una problemática a nivel mundial que pone en jaque la productividad agrícola y los ecosistemas terrestres. Proteger y mejorar la calidad del suelo, es un reto fundamental que se proponen los grandes organismos internacionales como las Naciones Unidas. La agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible elaborada por este organismo, pone énfasis en este recurso, el cual es considerado en los

Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) número 2, 3, 6, 11, 13, 14, y 15 (United Nations, 2015). En marzo de 2018, la Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos publicó el informe Evaluación de la Degradación y Restauración del Suelo, y encontró que tan solo una cuarta parte de la superficie de la Tierra esta sustancialmente libre de impactos de actividades humanas. Este grupo de expertos opinaron que ante esta situación, la mayoría de los ODS no pueden ser logrados a menos que se aborde simultáneamente la degradación del suelo (WWF, 2018).

1.2. Estrategias para la conservación del suelo

Un manejo sostenible del suelo puede prevenir y reducir la degradación del mismo, mantener su productividad, y generar resiliencia frente al cambio climático. Dentro del marco de la adaptación al cambio climático surgen nuevos enfoques como la Adaptación basada en Ecosistemas (*Ecosystem Based Adaptation*), que aplica la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para mantener y mejorar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas. En el contexto de la agricultura, la agroecología se plantea como una alternativa fundamental a la agricultura convencional, basada en la aplicación de conceptos y principios ecológicos, que favorecen procesos naturales e interacciones biológicas, para el diseño y manejo de agrosistemas (Odoemene, 2017; Nicholls y Altieri, 2007).

En agricultura las medidas encaminadas a la adaptación al cambio climático pueden enfocarse desde distintas escalas espaciales, desde nacionales a regionales y campos de cultivo. Ocurre lo mismo con las responsabilidades y partes interesadas. La agroecología, entendida como una disciplina científica con un enfoque holístico de los agrosistemas, se plantea como una alternativa a todo un sistema alimenticio abarcando desde la dieta de las personas y la soberanía alimentaria de los pueblos, a las prácticas agrícolas sostenibles a nivel de finca.

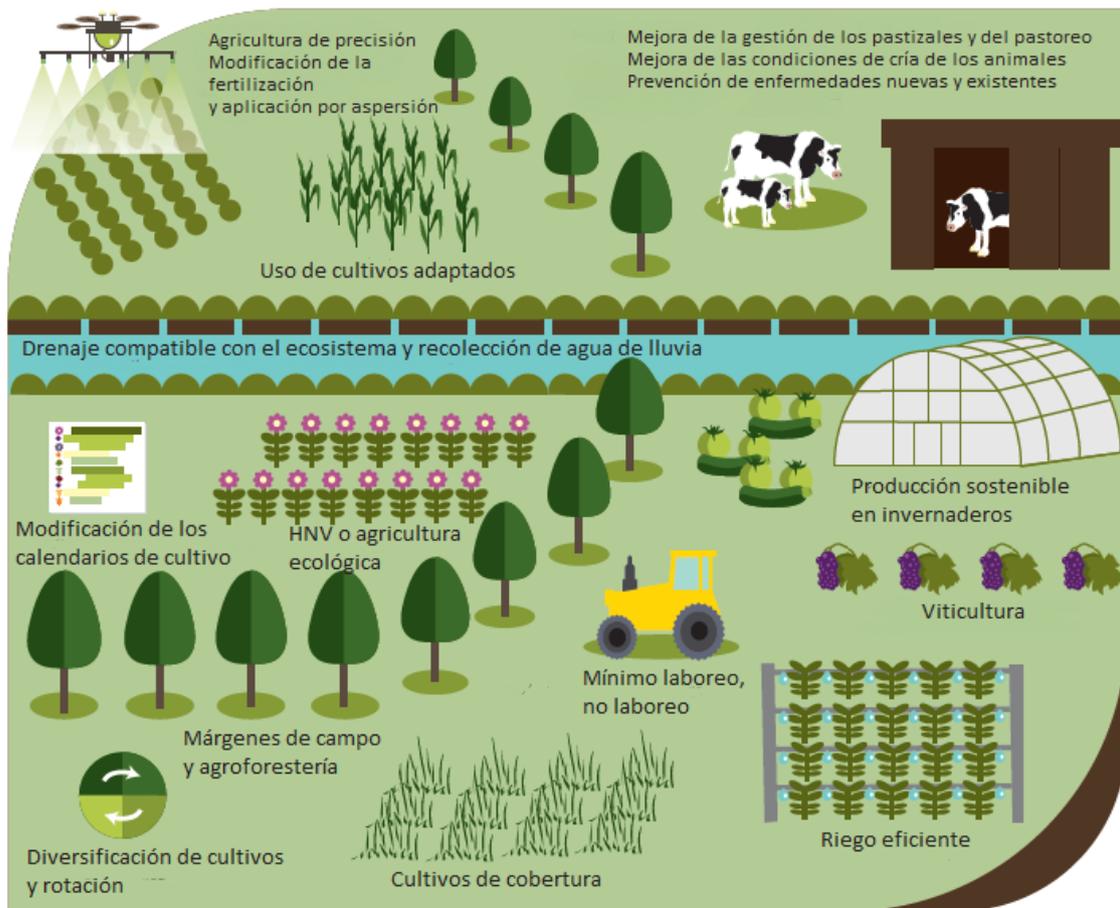


Figura 4. Prácticas para la adaptación frente al cambio climático en tierras arables, ganadería y viticultura. European Environment Agency, 2019

Actualmente, existen diferentes sistemas de producción sostenibles como la agricultura de conservación o la agricultura ecológica, que se nutren de diferentes técnicas que se complementan y buscan mejorar la calidad del suelo y productividad. Algunas de las prácticas sostenibles que se proponen desde la agricultura, representadas en la figura 2, son mejorar y conservar la cubierta orgánica que protege la superficie del suelo, el laboreo mínimo o nulo y favorecer la biodiversidad de cultivos, con asociaciones, secuencias y rotaciones de los mismos (FAO, 2011).

1.3. Agricultura ecológica

La agricultura ecológica (AE) u orgánica es un “sistema de producción agrícola que mediante el uso de técnicas mejoradoras y/o conservadoras del suelo y el ecosistema (como las mencionadas en el apartado anterior), obtiene alimentos de elevada calidad, respetando el medioambiente sin la utilización de productos químicos de síntesis, pensando en la fertilidad y salud del suelo” (Comité Aragonés de Agricultura Ecológica, n.d.). La particularidad de este sistema es que se encuentra regulado por organismos

nacionales e internacionales que certifican la producción ecológica de sus productos, interviniendo desde el tipo de manejo hasta el procesado y etiquetado.

Actualmente la agricultura ecológica se encuentra regulada por el Reglamento (CE) nº 834/2007 del Consejo Europeo, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, y por los Reglamentos: R(CE) 889/2008 de la Comisión Europea, por el que se establecen disposiciones de aplicación del R(CE) 834/2007 con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y control (figura 3) y R(CE) 1235/2008 de la Comisión Europea por el que se establecen las disposiciones de aplicación del R(CE) 834/2007, en lo que se refiere a las importaciones de productos ecológicos procedentes de terceros países.



Figura 5. Logotipo agricultura ecológica UE. MAPAMA

Según los últimos datos de producción ecológica publicados en el año 2018 por el Ministerio de Agricultura correspondientes al año 2017, se confirma la tendencia de crecimiento del sector de la AE en España, habiéndose superado en el año 2016 los 2 millones de hectáreas bajo este sistema. Este sector a nivel nacional se caracteriza por un alto grado de concentración de la producción en unos pocos cultivos y en unas pocas comunidades autónomas: Andalucía, Castilla la Mancha, Cataluña, Extremadura, Comunidad Valenciana y Región de Murcia, son las que suponen el 87,37 % de toda la superficie ecológica inscrita en España (Ministerio de Agricultura, 2018).

Aragón representa un 2,7% de la superficie en AE en España (Ministerio de Agricultura, 2018), con 62.600 ha en ecológico, siendo los cultivos predominantes cereal, leguminosas, pastos, praderas y forrajes. Pese a no destacar en volumen de hectáreas cultivables en las estadísticas, Aragón cuenta con tres sectores de gran tradición y calidad como son el aceite de oliva, la viticultura y el almendro. Estos productos, junto con las hortalizas, han adquirido mayor relevancia en los mercados nacionales e internacionales, mejorando su calidad intrínseca al aplicar el método de producción ecológico (Comité Aragonés de Agricultura Ecológica, n.d.).

Dentro de esta norma, la provincia de Huesca presenta una superficie total¹ de 6.214,23 ha certificadas en agricultura ecológica, las cuales representan un 10,9% de la superficie total ecológica en Aragón, siendo la provincia con menos hectáreas dedicadas a este tipo de producción (Ministerio de Agricultura, 2018). Como en el caso de Aragón, Huesca destina la mayor superficie de cultivo a cereales de grano (cultivo mayoritario) y leguminosas.

1.4. Políticas y acciones agroecológicas

Existe un crecimiento de iniciativas locales enfocadas hacia la agricultura ecológica y la agroecología, pero frente a un escenario que se plantea de cambio climático global, es necesario trascender hacia todos los niveles de la organización territorial. Se hace necesario un compromiso político, social y económico, expresado en voluntades políticas y especialmente en acciones concretas (Sánchez *et al.*, 2012). Un ejemplo dentro del territorio oscense es el Plan Estratégico para la Producción Ecológica en el Término Municipal de Huesca promovido por el Área de Desarrollo del Ayuntamiento de Huesca. Este plan tiene como objetivo impulsar este tipo de producción trabajando en el consumo responsable y la vertebración de las iniciativas locales respetuosas con el medio ambiente (Ayuntamiento de Huesca, 2017).

En el ámbito Comarcal se encuentra el proyecto “Actividades para la consolidación del circuito agroalimentario de productos ecológicos en la Comarca de la Hoya de Huesca (La Hoya Verde)”, aprobado dentro de las Acciones de Cooperación de Agentes del Sector Agrario del Programa de Desarrollo Rural para Aragón 2014-2020, en el que la Universidad de Zaragoza ha participado como socia colaboradora y en el que se enmarca el presente trabajo. El proyecto tiene como objetivo impulsar la producción y el consumo de productos agroecológicos, promoviendo este tipo de manejo agrícola; y apoyar diferentes iniciativas de venta en circuitos cortos de comercialización, como es el mercado agroecológico de Huesca.

¹ La superficie total se encuentra referida al sumatorio de las hectáreas calificadas en primer año de prácticas ecológicas, aquellas calificadas en conversión y las calificadas en agricultura ecológica.

Desde la Hoya Verde se trabajan todos los eslabones de la cadena alimentaria desde la calidad de los suelos donde se producen los alimentos, hasta la venta directa de los mismos (www.lahoyaverde.es). El actual trabajo de investigación se sitúa en esta primera fase de la cadena productiva de alimentos, la evaluación de la calidad de los suelos de interés agrícola.



Figura 8. Logotipo La Hoya Verde. www.lahoyaverde.es

1.5. Calidad del suelo

Para adquirir un enfoque agroecológico en un sistema basado en manejo convencional se proponen dos pilares fundamentales sobre los que trabajar: la calidad del suelo y la biodiversidad, ambos estrechamente ligados si se utiliza una visión sistémica. El buen funcionamiento de un agrosistema dependerá de las sinergias entre la diversidad de organismos (sobre y bajo tierra) sustentadas por un suelo rico en materia orgánica y de calidad (Nicholls y Altieri, 2007).

La calidad de los suelos es un concepto complejo de definir y evaluar, ya que se trata de un recurso muy heterogéneo, con múltiples funciones y variables que le afectan. Es por esto que existen numerosas definiciones para este término que actualmente sigue en debate. La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA) definió, en un proceso de síntesis, la calidad del suelo como “la capacidad de un suelo específico para funcionar, dentro de los límites de los ecosistemas naturales o manejados (sostenibilidad), para sostener la productividad de plantas y animales (productividad) y mantener o mejorar la calidad del agua y aire, y apoyar la salud humana y hábitat” (Karlen *et al.*, 1997).

Se deduce a partir de la definición que la calidad del suelo se encuentra relacionada directamente con la productividad, la salud y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

En un contexto agrícola, la calidad del suelo puede ser expresada como “fertilidad” definida por la capacidad de un suelo de sostener la producción de cultivos o ganado. Esta fertilidad agronómica de los suelos es el resultado de la compleja interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo, junto con los factores climáticos (figura 5) (Jaizme-Vega, 2011).



Figura 5. Interacción de los diferentes factores que influyen en la calidad del suelo.

Barea, 2009

No existe un consenso universal sobre los indicadores para evaluar los cambios en la calidad del suelo, por la heterogeneidad del recurso. La evaluación de la calidad de forma regular en el tiempo debe ser útil para controlar si las medidas adoptadas en un momento determinado han paliado o no la degradación.

1.5.1. Calidad biológica

La evaluación de la calidad de los suelos, tradicionalmente se ha basado en el estudio de los factores físico-químicos, sin tener en cuenta los aspectos biológicos fundamentales en muchos procesos del suelo. Sin embargo, en la actualidad cada vez se da más importancia al estudio de los parámetros biológicos que aporten valores de referencia para la evaluación de la calidad de los suelos (Cluzeau *et al.*, 2012).

Un buen indicador que determine la calidad del suelo debe poder ser utilizado de forma rutinaria (sencillo y económico), con una amplia validez y sensibilidad a los cambios. Además hay que tener en cuenta que los indicadores disponibles para evaluar la calidad de suelo pueden variar de localidad a localidad dependiendo del tipo y uso, función y factores de formación del suelo (Arshad y Coen, 1992).

Los indicadores biológicos o bioindicadores (definidos como “un organismo, o parte de un organismo, o una comunidad de organismos, utilizados para obtener información sobre la calidad del medio ambiente”) han ido cobrando más fuerza por su mayor sensibilidad ante perturbaciones en el medio y por su carácter integrador (Garbisu *et al.*, 2007).

La actividad biológica del suelo se encuentra regulada por factores bióticos y abióticos y su funcionamiento va a depender de las características químicas, físicas y biológicas del mismo. Este carácter integrador hace que sea buen índice de la salud y fertilidad del suelo. Existen numerosos métodos de análisis de la biología de los suelos y para cuantificar su actividad, a continuación se citan algunos de ellos en la tabla 1 (García Sansón, 2017).

Tabla 1. Algunos de los métodos de medición de la actividad biológica del suelo.

MÉTODOS	TIPOS
MICROBIOLÓGICOS	Potencial micorrícico del suelo
	Biomasa microbiana edáfica
	Respiración del suelo
	Mineralización del N del suelo
	Actividad enzimática del suelo
ENTOMOLÓGICOS	Estructura de la comunidad edáfica (biomasa, densidad, abundancia, diversidad)
	Composición taxonómica edáfica
	Estructura de la red trófica edáfica

De la materia orgánica “viva” del suelo los microorganismos resultan ser indicadores de la salud del suelo fiables gracias a que responden rápidamente a cualquier cambio que se produzca en el medio, por su papel dentro de la fertilidad, conservación y mantenimiento

del suelo y su influencia en la estabilidad y funcionamiento de los ecosistemas. La sensibilidad de las comunidades microbianas ante perturbaciones se explica con la alta relación superficie-volumen en comparación con otros organismos más altos en la cadena trófica (Jaizme-Vega, 2010; Cenci y Jones, 2009).

1.6. Microorganismos

El funcionamiento de un ecosistema, tanto agrícola como natural, depende en gran medida de las poblaciones microbianas del suelo involucradas en actividades fundamentales que aseguran la estabilidad y productividad del mismo. Entre otras capacidades, los microorganismos del suelos facilitan la captación de nutrientes, producen fitohormonas favorecedoras del enraizamiento, protegen a la planta frente a los patógenos, descomponen sustancias tóxicas en el ecosistema y mejoran la estructura del suelo (Jaizme-Vega y Rodríguez-Romero, 2008).

Las comunidades microbianas interactúan con las raíces y el suelo generando un ambiente dinámico conocido como rizosfera, término acuñado en el año 1904 por el científico alemán Lorenz Hiltner. La mejora en el conocimiento de estas interacciones microorganismos-planta-suelo actualmente se reconoce imprescindible para el desarrollo sostenible de los agrosistemas, la fertilidad del suelo y la producción de cultivos (Johansson *et al.*, 2004).

Los suelos que se encuentran bajo la normativa de producción ecológica suelen presentar altos niveles de biodiversidad edáfica, bajo la que se encuentran aquellos microorganismos nativos adaptados a las condiciones del lugar, con el fin de favorecer la sostenibilidad del sistema y su producción (Jaizme-Vega y Rodríguez-Romero, 2008).

La diversidad de microorganismos que se encuentran en este ambiente puede ser clasificada de diferentes formas, una de ellas según la relación que establecen con las plantas: saprofítica (se alimentan de los residuos de las raíces), parásita (causan enfermedades a las plantas) o simbiótica (proporcionan un beneficio a las plantas a cambio de alimento).

Dentro de la multitud de habitantes microscópicos de la rizosfera, destacan por sus efectos benéficos sobre el sistema suelo-planta las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico y los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA), de las que se hablará en el siguiente apartado.

1.6.1. Micorrizas

El término micorriza (*Mycos*-hongo, *Rhiza*-raíz) fue creado por el botánico alemán Albert Bernard Frank a finales del siglo XIX para definir la asociación simbiótica entre las raíces de una planta y determinados hongos. Se habla de relación simbiótica ya que, una vez la planta hospedadora es colonizada, se producen beneficios mutuos y un intercambio bidireccional de nutrientes. Los hongos se beneficiarán del suministro de fuentes carbonatadas provenientes de la planta, y esta última se beneficiará de la mayor cobertura de suelo proporcionada por las hifas, asociada a una mayor capacidad de absorción de nutrientes, además de un incremento de la tolerancia de la planta a estrés hídrico y salino, a patógenos y a metales pesados (Smith y Read, 2002).

Diversos autores han definido hasta siete tipos de micorrizas, pero comúnmente se habla de hasta tres grandes grupos de micorrizas según las estructuras desarrolladas: ectomicorrizas, ectomicorrizas y endomicorrizas (figura 6). Este último grupo lo componen las endomicorrizas ericoides, orquidoides y arbusculares (Barea, 2009; Smith y Read, 2002). El objeto de este trabajo se centra en este último grupo, por su importante papel en los cultivos agrícolas.

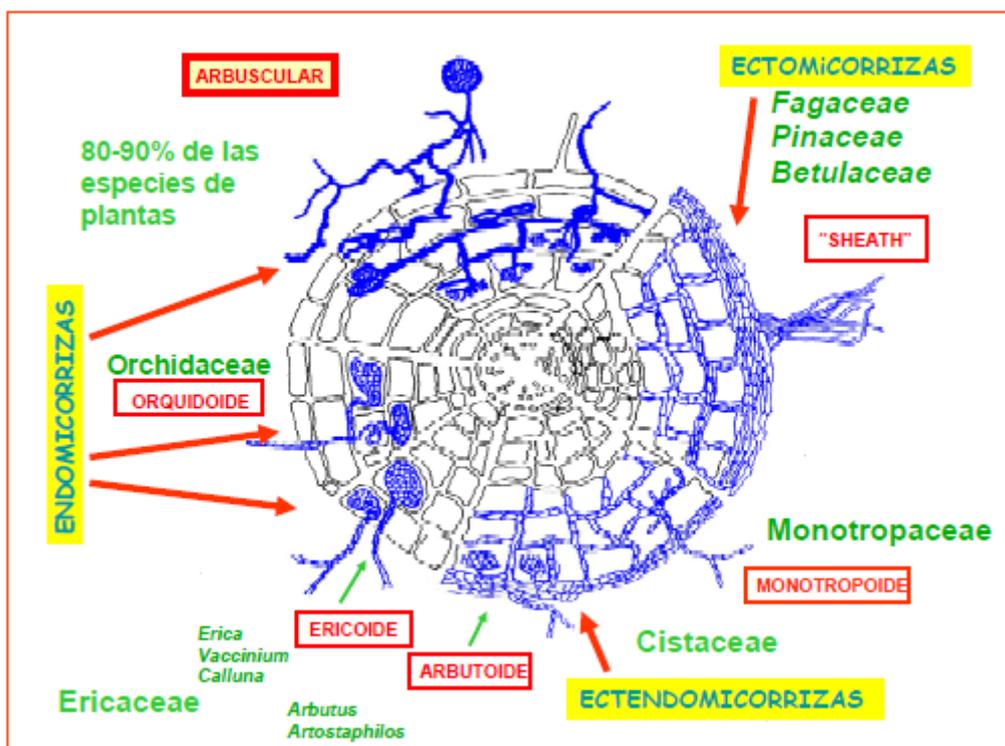


Figura 6. Tipos de micorrizas según su morfología. Barea, 2009

Micorrizas arbusculares.

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) generan unas estructuras características que se desarrollan dentro de las células corticales de las plantas: arbuscúlos y vesículas, aunque estas últimas no en todos los casos. Este tipo de asociación simbiótica posee tres componentes importantes: la raíz, las estructuras fúngicas desarrolladas dentro de las células de la planta y el micelio extrarradical en el suelo. En el caso de las plantas que forman micorrizas se ha determinado que es la asociación simbiótica más común ya que al menos el 80 % de familias de plantas vasculares son micorrizadas, con una amplia distribución ecológica (Smith & Read, 2002). Los hongos micorrícicos arbusculares en cambio se restringen a un único phylo, Glomeromycota, con 4 órdenes diferenciados: Diversisporales, Paraglomerales, Archaeosporales y Glomerales (Schüßler, *et al.*, 2001).

Estas relaciones simbióticas pueden haber jugado un papel decisivo en la historia evolutiva de las plantas puesto que esporas e hifas de hongos similares a los que hoy forman el phylo Glomeromycota han sido registradas en fósiles del Ordovícico, hace 460 millones de años (Redecker, *et al.*, 2000).

La colonización de nuevas raíces por los hongos micorrícicos se puede producir a partir de tres tipos de inóculos o también denominados propágulos: esporas, hifas y fragmentos de raíz infectados. Dentro de los hongos MA se han desarrollado diferentes estrategias de colonización: colonización rápida con mayor sensibilidad a situaciones adversas, y hongos MA más resistentes, con mayor diversidad de estrategias de colonización. Estas divergencias han derivado en capacidades de supervivencia distintas que condicionarán la presencia de un determinado grupo de hongos en el suelo, especialmente importante en climas como el mediterráneo con contrastes estacionales (López García *et al.*, 2014).

Una vez establecida la simbiosis micorrícica, se generan un conjunto de mecanismos que mejoran las condiciones de la planta, protegiéndola ante diferentes estreses bióticos y abióticos. A continuación se mencionan algunos de estos mecanismos (Jaizme-Vega y Rodríguez-Romero, 2006):

- Mejora del estatus nutricional y aumento de la biomasa radical pueden compensar los daños producidos por patógenos del suelo en los tejidos radicales, reduciendo síntomas.
- Competencia por fotosintatos y nicho ecológico con los patógenos.

- Cambios en la morfología de las raíces con tendencia a un mayor desarrollo de las raíces secundarias.
- Cambios en los componentes microbianos de la rizosfera por una modificación de los exudados radicales y pH del suelo ante una micorrización activa.
- Cambios en los constituyentes químicos de los tejidos vegetales.

Micorrizas arbusculares en agricultura

Numerosos estudios han documentado la influencia de las prácticas agrícolas sobre las comunidades de hongos micorrícicos, concretamente, el tipo de labranza, la rotación de cultivos, el control fitosanitario, y el manejo de nutrientes. Ha sido demostrado que un incremento en la intensificación de la tierra se correlaciona con un descenso en la riqueza de especies de hongos MA, con una selección que favorece aquellas especies de esporulación más rápida (Oehl *et al.*, 2003). Estudios realizados en la provincia de Huesca, demuestran una relación negativa entre el aporte excesivo o inadecuado de fósforo y herbicidas con la cantidad de endomicorrizas (Perdiguer *et al.*, 2006)

Por otro lado, aquellas prácticas encaminadas a la conservación del suelo como la siembra directa, rotación de cultivos y disminución de agroquímicos, han tenido una influencia positiva en el desarrollo de propágulos micorrícicos (Cofré *et al.*, 2018).

La relación existente entre el tipo de manejo agrícola del suelo y la presencia o abundancia de hongos micorrícicos, hace de éstos un importante bioindicador de la fertilidad y salud del suelo. Para el estudio de las poblaciones micorrícicas en suelo se han utilizado diferentes metodologías: el Número Más Probable (Porter, 1979) o MPN (“Most Probable Number”) para una estimación del potencial de colonización micorrícica², y la técnica del Tamizado Húmedo (Wet Sieving) (Gerdemann y Nicolson, 1963), para la determinación del número de esporas de hongos MVA, ambas empleadas en el actual trabajo. Debido a los diferentes tipos de propágulos de hongos MA que han de tenerse en cuenta para evaluar el potencial infectivo del suelo, resulta imprescindible combinar diferentes metodologías para obtener un resultado más cercano a la realidad.

Además de su sensibilidad ante los diferentes manejos agrícolas, resultan ser buenos indicadores de la calidad biológica del suelo debido a que se encuentran en la mayoría de los suelos, establecen simbiosis en la mayoría de las plantas, su identificación no es muy compleja y los métodos de análisis son fácilmente reproducibles.

² capacidad del suelo de iniciar la colonización micorrícica en una planta hospedadora a partir de los propágulos que conforman el inóculo de MVA en el suelo (Smith y Read, 2002).

Los beneficios reportados por las MA hacen que, además del interés en el estudio de las poblaciones presentes en el suelo de forma natural, se haya abierto un mercado de inóculos para su aplicación en suelos agrícolas como biofertilizantes. La creciente demanda de nuevos productos por parte de un sector más sensibilizado o el incremento del precio de los fertilizantes, ha fomentado la producción de inóculos de calidad y con altos niveles de eficacia y viabilidad. No obstante, el empleo de las MA actualmente no se encuentra extendido en los sistemas agrícolas debido a la dificultad de multiplicar el hongo en ausencia de hospedador, la incompatibilidad con suelos con alto contenido en P y la vulnerabilidad frente a fungicidas, principalmente (Jaizme-Vega, 2011).

1.6.2. Microorganismos cultivables

“Todo está en todas partes”, “la comunidad refleja el hábitat” frases de Martinus Beijerinck y Pasteur respectivamente, reflejan la importancia de conocer la ecología microbiana de nuestros suelos y la complejidad de este trabajo. Cuantificar y caracterizar la comunidad de microorganismos que habitan los suelos agrícolas resulta fundamental para conocer la diversidad de grupos funcionales existentes: desde patógenos a posibles agentes de control biológico (Coyne y Rasskin, 2000).

Estudiar cuantitativa y cualitativamente los hongos en el suelo resulta difícil ya que existen numerosos estados morfológicos y fisiológicos. Pero una estimación del número de colonias de hongos cultivables en un gramo de suelo puede considerarse un indicador de la calidad biológica. La existencia de un mayor número de hongos contribuye a la biodiversidad del suelo y al buen funcionamiento del mismo (Tello *et al.*, 2011).

Los cultivos agrícolas están sujetos a diversas enfermedades causadas por una amplia gama de fitopatógenos. Entre los muchos servicios que prestan los microorganismos fúngicos, se encuentra el control de patógenos a través de diferentes mecanismos: parasitismo, la producción de antibióticos y la exclusión competitiva entre otros. (Coyne y Rasskin, 2000). Las ventajas que presentan frente al control químico son:

- Mayor seguridad al no acumularse en la cadena trófica
- Control persistente en el tiempo, llegando incluso a convertirse en parte integral del ciclo vital de la plaga
- Efecto reducido en el equilibrio ecológico
- Compatibilidad con otros agentes de control

Rhizoctonia solani es una especie de hongo patógeno de amplia distribución que genera importantes pérdidas en cultivos hortícolas. Esta especie provoca el marchitamiento

de plántulas (“damping-off” en inglés) y la podredumbre de los tallos de las plantas. Para evitar el uso de fungicidas de síntesis química, se ha estudiado la aplicación de microorganismos antagonistas para el control biológico. Especies del género *Trichoderma* (género detallado a continuación) resultan efectivas y *Chaetomium* spp. presentan una inhibición moderada del hongo. Este género es capaz de inhibir el crecimiento del micelio de algunos patógenos y de secretar un antibiótico en medios líquidos (Elgorban *et al.*, 2013).

El género *Rhizoctonia* es un conjunto heterogéneo de taxones de hongos filamentosos. Este género incluye Ascomycetes y Basidiomycetes, que se distribuyen en todos los suelos del planeta. Las especies de este género se encuentran asociadas con las raíces y el suelo. Los miembros de *Rhizoctonia* spp. son considerados como un complejo de hongos con anamorfos o fase asexual no productora de esporas. *Rhizoctonia* comprende hongos fitopatógenos de importancia económica, saprófitos en materia orgánica, simbiontes o micorrízicos de orquídeas terrestres (Stalpers y Andersen, 1996; Cubeta y Vilgalys, 2000).

Trichoderma spp. es un género de hongos imperfectos, de reproducción asexual (anamorfo) y considerado como un grupo de vida libre. Sus especies son comunes en los ecosistemas de suelo y rizosfera y sobre restos de materia orgánica, pudiendo ser oportunistas, no virulentas, simbiontes de plantas y micoparásitas (Burgos, 2017). El interés en estos hongos se debe a que ciertas especies son reconocidas como agentes de control biológico (figura 7), por las siguientes características (Harman *et al.*, 2004):

- Inducen resistencia sistémica en las plantas huésped
- Es un buen competidor frente a otros hongos por su rápido crecimiento
- Parasita determinados hongos
- Mejora el crecimiento de la planta huésped
- Incrementan la captación de nutrientes

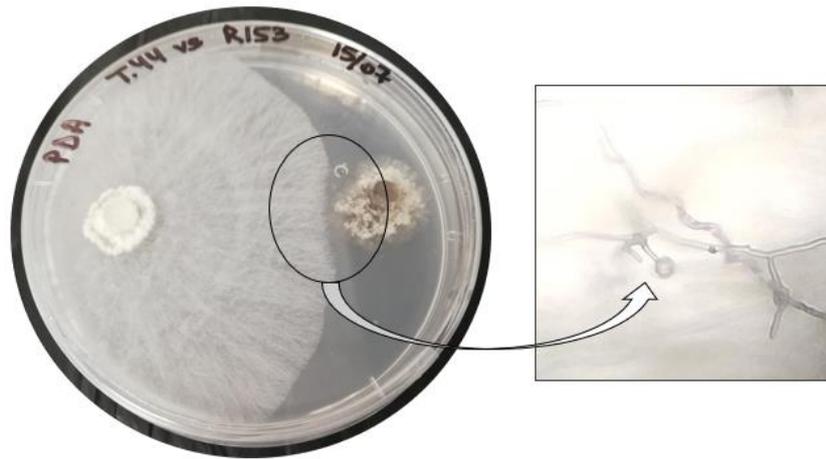


Figura 7. Enfrentamiento entre *Trichoderma atroviride*, agente de control biológico y *Monilinia fructicola* cepa R153, hongo patógeno.

La presencia de estos hongos en los diferentes agrosistemas puede resultar de interés para la evaluación de la calidad biológica de los suelos. Pese a no existir un método fiable de cuantificación, su alto grado de distribución y sus características beneficiosas, pueden hacer de *Trichoderma* un buen indicador.

Además de hongos, en el suelo existen otros organismos cultivables conocidos como oomicetos, pertenecientes a la clase Oomicota. Dentro de esta clase se encuentran dos géneros con especial importancia en la agricultura: *Phytophthora* y *Phytium*. El fitopatógeno *Phytophthora* causa el tizón tardío de la patata y tizones y pudriciones de raíz de muchas otras plantas. *Phytium* causa la pudrición de las semillas, el ahogamiento de las plántulas, la pudrición de la raíz de la mayoría de las plantas y la pudrición blanda de los frutos carnosos y órganos vegetales que se encuentran en contacto con ella (Agrios, 2001).

2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es determinar el potencial micorrícico de los suelos agrícolas manejados en agricultura ecológica dentro de la Comarca Hoya de Huesca.

Los objetivos específicos son la cuantificación de los microorganismos fúngicos cultivables presentes en esos suelos y la comparación de los resultados con los valores obtenidos en suelos manejados de forma convencional.

3. Material y métodos

3.1. Área de estudio

El presente estudio se ha llevado a cabo sobre muestras de suelo procedentes de explotaciones agrícolas de la Comarca de la Hoya de Huesca/Plana de Uesca, en la provincia de Huesca (figura 9).

3.1.1. Localización

La Hoya de Huesca es una comarca ubicada en la zona central de la provincia de Huesca, al pie de las sierras Exteriores en la zona centro-septentrional de la comunidad aragonesa. El territorio se encuentra enclavado entre las sierras Exteriores y la depresión del Ebro. El término Hoya hace referencia a las formaciones depresivas erosivas de gran amplitud fruto de la sobreexcavación de los ríos pirenaicos (Peña y Lozano, 2004), dando lugar a la zona más llana del somontano oscense. Los ríos que discurren y modelan el paisaje de esta comarca son el Gállego, el Alcanadre, el Garona, el Sotón, el Isuela, el Flumen, el Guatizalema, el Calcón y el Formiga.

La comarca cuenta con 40 municipios distribuidos en 2.525 km² de superficie, de los cuales 166.182 ha corresponden a explotaciones agrarias (más del 50% de la superficie útil comarcal), según el censo agrario elaborado en el año 2009 (IAEST, 2009).

3.1.2. Climatología y edafología

En lo que respecta a la climatología, la comarca situada al norte de la depresión del Ebro se enmarca dentro del dominio climático mediterráneo continental. En el territorio se pueden distinguir dos grandes zonas: al norte en las sierras prepirenaicas, un área montañosa, fresca y relativamente húmeda; al sur, en la depresión del Ebro, un área con lluvias escasas y temperaturas más elevadas que en las zonas de montaña.

Según el Atlas Climático elaborado por AEMET, las temperaturas medias en el territorio comarcal se encuentran en torno a 12-15°C, exceptuando áreas montañosas con isoterma media anual de 7 °C. La distribución de las precipitaciones a lo largo del año es irregular y presenta máximos en otoño y, especialmente, en primavera, con un descenso en los meses estivales. Al norte de las sierras se llegan a registrar hasta 900 mm anuales, mientras que al sur de la Hoya de Huesca, las cifras se encuentran próximas a los 500 mm al año. Es de destacar el denominado efecto Foehn, causante de importantes diferencias pluviométricas entre las laderas de barlovento y sotavento en las sierras prepirenaicas.

Este fenómeno supone un desecamiento progresivo de las masas de aire atlánticas al atravesar las crestas montañosas de norte a sur (Acín Fanlo, *et al.*, 2011). En la figura 8 se muestran los valores climáticos mensuales en Huesca, para el periodo de un año (julio 2018-julio 2019). Predominan los meses secos, en los que la línea de temperatura supera a la de precipitación, especialmente en los meses de verano. Destaca como mes lluvioso octubre de 2018 con una precipitación acumulada superior al resto de meses. La precipitación acumulada para estos meses apenas es de 334 mm.

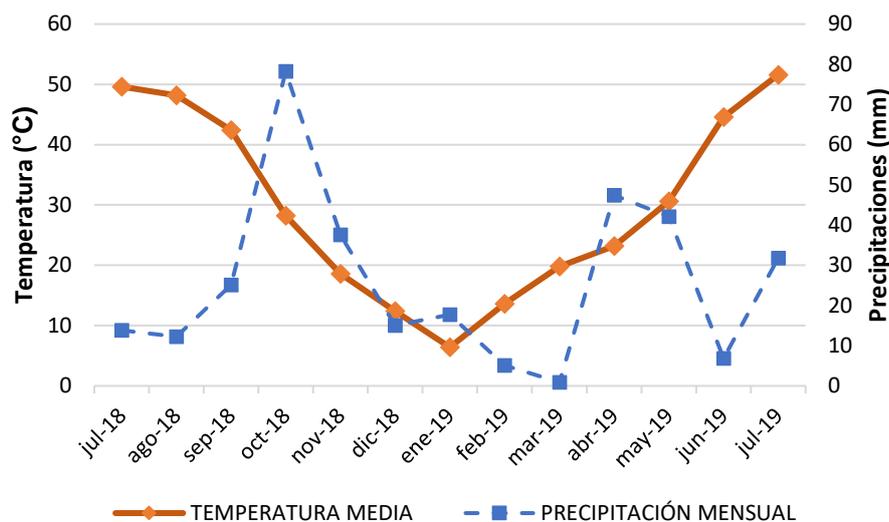


Figura 8. Diagrama ombrotérmico de precipitaciones y temperaturas medias durante el periodo de ensayo 2018-2019. Elaboración propia a partir de los datos meteorológicos de la Oficina del Regante, para Huesca.

Finalmente se pueden describir dos vientos con dos componentes dominantes distintas: N-NO y S-SE. La primera da lugar al denominado cierzo, viento seco, frío en invierno que puede superar los 100 km/h, y de la segunda sopla el bochorno, habitual en la estación de verano, aire desecante y caluroso (Acín Fanlo *et al.*, 2011).

El material parental que predomina para esta zona de la geografía aragonesa tiene su origen en el Mioceno, con los depósitos de areniscas, arcillas y margas que rellenan las hoyas. Más recientemente, a lo largo del Cuaternario, los ríos fueron erosionando y encajándose sobre antiguos materiales, depositando gravas arenas y limos que forman los glacis y terrazas fluviales (Badía *et al.*, 2009).

En base a este material original, se fueron formando los suelos de la Hoya de Huesca, a través de la combinación de los agentes transformadores. El tipo de suelo que predomina en la Hoya es calcisol, caracterizado por una acumulación sustancial a cierta profundidad de carbonato cálcico. Estos suelos poseen un pH básico y alta saturación de

bases. Es necesario destacar en un contexto agrícola que la acumulación de calcio en los suelos puede provocar la retrogradación de los fosfatos (Badía et al., 2009).

3.2. Selección de parcelas de estudio

El principal criterio seguido para la selección de explotaciones ha sido el manejo del suelo buscando similitudes a través de entrevistas realizadas durante el proyecto de la Hoya Verde, donde se dieron a conocer los antecedentes de manejo de cada explotación.

Por otro lado, se buscó cercanía entre parcelas con manejo ecológico y convencional, pero dada la escasez de las primeras, este criterio fue difícil de seguir.

A continuación, se presenta sobre un mapa geológico de la comarca Hoya de Huesca la ubicación de las parcelas objeto de estudio.

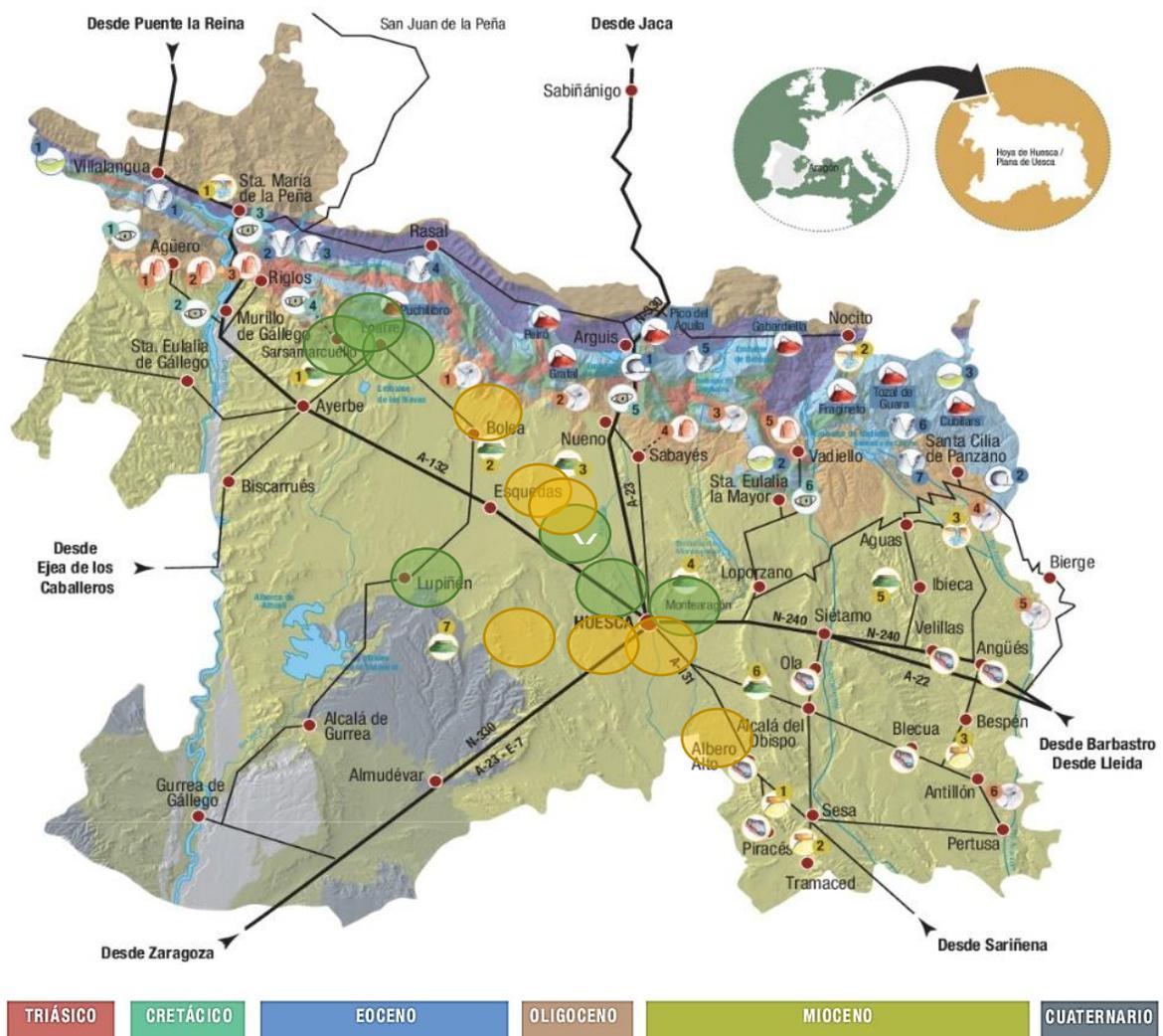


Figura 9. Ubicación de las parcelas estudiadas sobre mapa geológico de la Hoya de Huesca, siendo las áreas circulares amarillas la ubicación aproximada de las parcelas en convencional, y las verdes las parcelas en ecológico. Comarca Hoya de Huesca.

Para la clasificación y selección de las parcelas de estudio se han tenido en cuenta dos factores: el tipo de cultivo (hortícola, cereal extensivo y leñoso) y el tipo de manejo dentro de cada cultivo (ecológico y convencional). Tres explotaciones fueron seleccionadas para cada una de las combinaciones de estos dos factores, lo que supuso un total de 18 muestras de suelo (tabla 2).

Tabla 2. Referencia de las muestras de suelo estudiadas, según tipo de cultivo y manejo.

Tipo de cultivo	Tipo de manejo	Referencia
CEREAL EXTENSIVO	ECOLÓGICO	1. EXT-ECO-1
		2. EXT-ECO-2
		3. EXT-ECO-3
	CONVENCIONAL	4. EXT-CON-1
		5. EXT-CON-2
		6. EXT-CON-3
HORTÍCOLAS	ECOLÓGICO	7. HOR-ECO-1
		8. HOR-ECO-2
		9. HOR-ECO-3
	CONVENCIONAL	10. HOR-CON-1
		11. HOR-CON-2
		12. HOR-CON-3
LEÑOSOS	ECOLÓGICO	13. LEÑ-ECO-1
		14. LEÑ-ECO-2
		15. LEÑ-ECO-3
	CONVENCIONAL	16. LEÑ-CON-1
		17. LEÑ-CON-2
		18. LEÑ-CON-3

Las parcelas seleccionadas, cuyas características aparecen en el Anejo I, responden a prácticas de manejo similares entre sí, exceptuando el origen de los insumos aplicados.

Los cultivos extensivos en secano se caracterizan por un laboreo intensivo y una rotación cereal (trigo y cebada) / leguminosa. Cabe destacar una de las parcelas de extensivo convencional que lleva a cabo siembra directa y utiliza abono orgánico (EXT-CON-2).

Las parcelas hortícolas, incorporan materia orgánica a sus cultivos, practican laboreo y hacen rotación de cultivos.

Finalmente, otro de los cultivos que caracterizan al paisaje agrícola de la Hoya, aunque en menor medida, son los almendros, cultivos seleccionados para las muestras de leñoso. En estas parcelas también se realiza laboreo, con algunos relictos de cubierta vegetal y la mayoría en secano a excepción de LEÑ-CON-2, con riego por goteo.

3.3. Toma de muestras de suelo y procesado

Las muestras de suelo se tomaron durante la campaña agrícola 2018/2019, previas a la siembra y abonado de fondo en el caso de cultivos de cereal extensivo y evitando los momentos de aplicación de abono u otros insumos en el caso de cultivos hortícolas y leñosos.

Para la obtención de las muestras de suelo se realizó una observación visual de cada parcela en compañía del agricultor para poder detectar las zonas más homogéneas. Sobre estas zonas se realizó un muestreo representativo utilizando una barrena de caña cilíndrica como la que se muestra en la figura 10 (Edelman, Van Walt, Reino Unido).



Figura 10. Muestreo con barrena de caña cilíndrica.

Para el muestreo del suelo con la barrena, se retiró la primera capa de restos vegetales del suelo y se tomó muestra hasta 30 cm de profundidad en el caso de cultivo hortícola y extensivo, en el caso de los cultivos leñosos se alcanzaron mayores profundidades debido a su sistema radicular.

En cada parcela se tomaron aproximadamente 15 submuestras por hectárea de forma aleatoria, las cuales se mezclaron para formar una única muestra representativa de cada parcela. Se depositaron en bolsas de plástico herméticas y se llevaron en nevera al laboratorio.

En el laboratorio fueron repartidas en bandejas plásticas desinfectadas para su secado “al aire” durante una semana a temperatura ambiente. Una vez secas se quitaron los restos orgánicos y piedras. Los terrones de mayor tamaño se deshicieron con ayuda de un mortero para facilitar su posterior tamizado. Las muestras de suelo se tamizaron a través de un tamiz de una luz de 2 mm, y fueron homogeneizadas de forma manual.

Las muestras se introdujeron en botes de plástico correctamente etiquetados para su almacenamiento en lugar fresco y seco hasta su análisis.

3.4. Caracterización físico-química

Tras el proceso de tamizado se tomaron 0,5 kg de las muestras para enviar a un laboratorio acreditado para su análisis físico-químico. Los parámetros estudiados fueron pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y textura, a través de los métodos descritos en la tabla 3.

Tabla 3. Metodologías de análisis utilizadas para los diferentes parámetros físico-químicos

Parámetro	Método	Unidad
pH al agua (1:2,5)	Potenciometría	-
Materia orgánica	Método de Walkley y Black	% s.m.s.
Nitrogeno-nitrico (N-NO ₃)	Espectrofotometría UV-Vis	mg/kg
Fosforo soluble (Olsen)	Espectrofotometría UV-Vis	mg/kg
Potasio	Espectrometría ICP-OES	mg/kg
Textura	Gravimetría	Clase textural USDA

3.5. Caracterización microbiológica

Este apartado se encuentra dividido en dos partes bien diferenciadas, por un lado, el estudio de las poblaciones de hongos micorrízico arbusculares y por otro la cuantificación de los microorganismos fúngicos cultivables. La metodología empleada para cada ensayo se detallada a continuación.

3.5.1. Potencial micorrícico del suelo

Técnica del número más probable

La estimación del potencial micorrícico de las muestras de suelo ha sido determinado a través del método del Número Más Probable (NMP) descrito por Porter (1979), que podrá servir con propósitos comparativos a futuro. El NMP es una estimación estadística de la concentración en suelo de propágulos micorrícicos viables, basada en la capacidad infectiva de los suelos cuando su concentración se diluye progresivamente (Negrete-Yankelevich *et al.*, 2013). La técnica se llevó a cabo a través del cultivo de una planta hospedadora en suelos diluidos con diferentes proporciones de sustrato inerte (figura 11).

El material vegetal seleccionado para los ensayos ha sido la cebada debido a que es un cultivo generalizado en la comarca de la Hoya de Huesca, tanto en secano como en regadío, y por su alta susceptibilidad a ser micorrizado. Para garantizar la ausencia de contaminantes y /o fungicidas en las semillas utilizadas, se procedió al lavado y desinfección de las mismas con hipoclorito de sodio (lejía) diluido al 1 % en agua durante treinta minutos. Con este mismo objetivo se esterilizó la gravilla utilizada para mezclar con las muestras, en autoclave a 120°C y una atmósfera durante 1 hora.

Una vez el material fue desinfectado se llevaron a cabo las diluciones seriadas en bandejas multipot mezclando los sustratos objeto de estudio y la gravilla, obteniendo cinco concentraciones diferentes: 10^0 , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} , con cinco réplicas de cada una. De esta forma se obtuvieron 25 alveolos por muestra que fueron sembrados con semillas de cebada pregerminadas. Una vez sembradas, las plantas crecieron durante dos meses en el invernadero de la Escuela Politécnica Superior de Huesca siendo regadas con agua

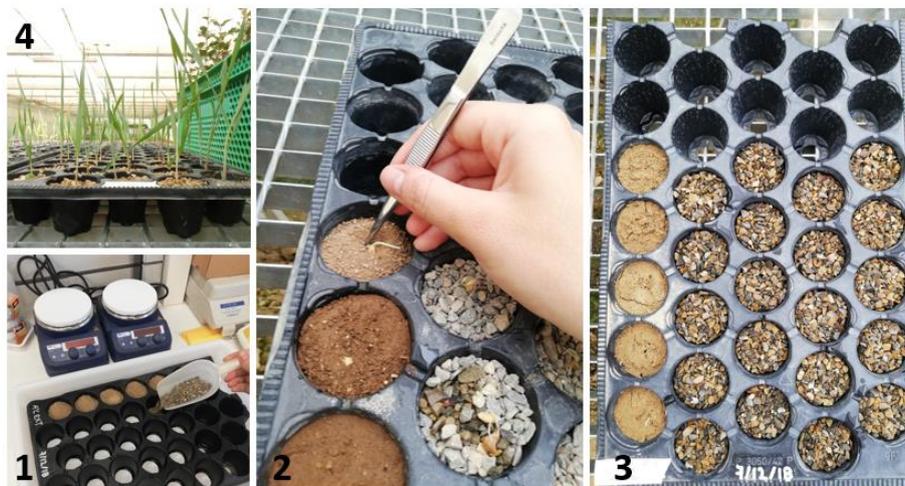


Figura 11. Preparación de bioensayo NMP: 1. Diluciones seriadas de suelo y gravilla; 2. Siembra de semillas de cebada pregerminadas; 3. Bandeja multipot sembrada; 4. Crecimiento de cebada en invernadero.

corriente en las primeras fases y solución nutritiva, baja en fósforo, en las siguientes fases para favorecer su crecimiento.

Transcurrido este tiempo, se realizó el levantamiento de los bioensayos en el laboratorio aislando la parte radical de cada planta. Las raíces fueron lavadas con agua corriente sobre un tamiz para evitar perder fragmentos de las mismas. Posteriormente, para su conservación hasta el momento de la tinción, se introdujeron en recipientes con etanol diluido al 50 %. Las raíces fueron teñidas según el procedimiento descrito por Koske y Gemma (1989) (figura 12).

Para la limpieza de los tejidos radiculares, las raíces fueron cubiertas con solución acuosa de KOH al 2,5 % e introducidas en una estufa durante 1 h a 70 °C. Tras este proceso fueron lavadas con agua corriente y sumergidas en HCl al 1 % durante 27 h con el fin de acidificar las raíces para poder ser teñidas.

La tinción se llevó a cabo calentando durante 1 h a 70°C las raíces sumergidas en una solución de glicerol acidificado y azul de Trypan al 0,05 %. Finalmente, las raíces ya teñidas, se lavaron con agua corriente y se colocaron dentro de un tubo con glicerol acidificado para eliminar el exceso de colorante y conservarlas hasta tu observación al microscopio.



Figura 12. Tinción del sistema radicular de la cebada.

Las raíces teñidas fueron observadas al microscopio para determinar la presencia o ausencia de propágulos micorrícicos (Phillips y Hayman, 1970). En la mayoría de los casos se utilizó en primer lugar una lupa binocular para hacer una primera aproximación y posteriormente, se extrajeron fragmentos de las raíces para observar a través del microscopio óptico debido a la mayor posibilidad de aumentos.

Con los resultados (número de positivos y negativos) obtenidos, se calculó el Número Más Probable de propágulos micorrícicos por volumen de suelo utilizando la tabla VIII₂ de Fisher y Yates (1963).

Extracción y cuantificación de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA)

Otra técnica utilizada en estudio de hongos MA en suelos es la extracción y cuantificación de esporas a través del método de Tamizado en Húmedo (*Wet Sieving*) descrito por Gerdemann y Nicolson (1963) con el instrumental de la figura 13.

En primer lugar, se colocaron en un Erlenmeyer de 250 ml 25 g de suelo, 5 g de hexametafosfato sódico (disgregante y blanqueante) y 100 ml de agua destilada. La mezcla se agitó durante 2 minutos en agitador magnético dejándose después en reposo inclinado durante 15 s. Posteriormente se filtró el sobrenadante a través de un nido de tamices (250 μm , 125 μm , 90 μm). Este proceso se repitió una segunda vez para después, recogiendo con agua el sedimento retenido en el tamiz de menor luz realizar una centrifugación (1 min a 4.000 r.p.m.). Tras este paso, se eliminó el sobrenadante y se añadió al tubo de centrifuga una solución de sacarosa 1,4 M. La solución se centrifugó 2 min a 4.000 r.p.m. El sobrenadante resultante se hizo pasar nuevamente por el filtro de 90 μm y el material recogido en el filtro se recogió en un vaso de precipitado con agua destilada. Para finalizar, se hizo pasar el material recogido en el vaso por una rampa de filtrado con bomba de vacío. El disco de papel de filtro al que se adhieren las esporas tiene 0,45 μm . Estos discos fueron guardados en placas de Petri en refrigeración hasta el momento del conteo con contadores manuales observando a través de la lupa binocular.



Figura 13. Instrumental utilizado para la extracción de esporas: rampa de filtrado con bomba de vacío (izquierda) y nido de tamices (derecha).

3.5.2. Microorganismos fúngicos cultivables

La caracterización de la flora fúngica de los suelos se llevó a cabo a través del método de diluciones seriadas de muestras homogeneizadas.

En primer lugar, se diluyó 1 g de suelo seco y tamizado en agua estéril con Tween 80 al 0,2 % en tubos de ensayo. A través de la agitación en vórtex y con ayuda del jabón orgánico para favorecer la disgregación de las partículas, se homogeneizaron las muestras contenidas en los tubos. Posteriormente, en condiciones de esterilidad, se prepararon diluciones seriadas, 1:100 y 1:1000 con las cuales se sembraron 100 µl sobre cada placa Petri con tres medios de cultivo diferentes: Patata-Dextrosa-Agar (PDA), Trychoderma Selective Medium (TSM) (tabla 4) y Rhizoctonia Selective Medium (RSM) (tabla 5) realizando tres repeticiones para cada dilución y medio diferente.

Tabla 4. Composición del medio selectivo para Trichoderma, TSM (Askew y Laing, 1993)

Componentes	Cantidad (g/ml)
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,2
K ₂ HPO ₄	0,9
KCl	0,15
NH ₄ NO ₃	1
Rosa de bengala	0,15
D(+)-Glucosa	3
Agar	20
Biocidas	
Cloranfenicol	0,25
Captan 80%	0,12
Previcur (Propamocarb)	1,2

Tabla 5. Composición del medio selectivo para Rhizoctonia, RSM (Ko y Hora, 1971).

Componentes	Cantidad (g/ml)
KH ₂ PO ₄	1
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,5
KCl	0,5
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,1
NaNO ₂	0,2
Agar	20
Biocidas:	
Cloranfenicol	0,05
Estreptomina	0,05
Previcur (Propamocarb)	0,24

Una vez depositada la gota sobre la superficie, se extendió con asa de Drigalski. Finalmente se introdujeron en estufa (figura 14) con una temperatura aproximada de 24 °C hasta el recuento de colonias formadas.



Figura 14. Cultivo de medio de cultivo en estufa del laboratorio a 24 °C.

Recuento de colonias

Transcurridos 3, 5 y 7 días, según el medio de cultivo PDA, RSM y TSM respectivamente, se procedió al recuento de unidades formadoras de colonias (U.F.C.). Además, se consideró oportuna la identificación microscópica de dichas U.F.C., de manera que se observaron los crecimientos y características morfológicas del micelo a través del microscopio (figura 15) y en los casos en que se requería, se llevaron a cabo preparaciones microscópicas sobre portaobjetos para poder utilizar mayores aumentos. Con este grado de precisión pudieron identificarse algunos de los géneros taxonómicos desarrollados gracias a las claves especializadas (Barnett y Hunter, 1972).

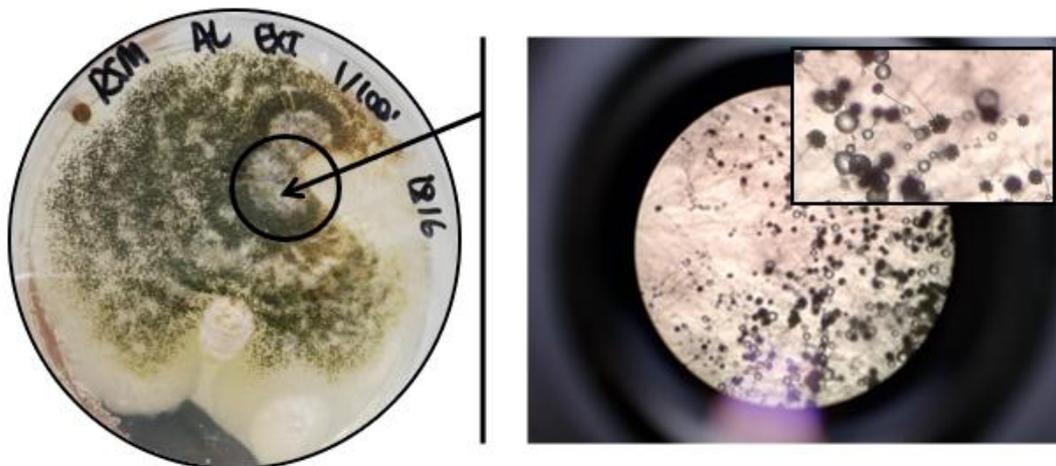


Figura 15. Placa de Petri con 1 U.F.C. (izquierda), observación al microscopio de la colonia e identificación morfológica típica del género *Aspergillus* (derecha).

Caracterización molecular de los aislamientos fúngicos

Los hongos seleccionados visualmente para su caracterización molecular fueron purificados y cultivados durante 4-5 días en PDA incubados en estufas a 24°C.

Para el aislamiento del ADN del micelio fúngico se utilizó el kit de extracción Extract-N-Amp™ (Sigma-Aldrich, St. Luis, MO, EEUU), de acuerdo a las indicaciones del fabricante. En primer lugar, para la extracción de ADN se recolectó micelio del hongo que fue depositado en un tubo de 1,5 ml, al que se añadieron 80 µl de “Extraction Solution” (solución de extracción). El tubo fue agitado con un vórtex y posteriormente incubado durante 10 minutos a 95°C en un termobloque. Transcurrido ese tiempo, se añadieron 80 µl de “Dilution Solution” (solución de dilución) y nuevamente se homogeneizó a través del vortex. La amplificación de la región ITS1 a ITS2 del ADN ribosómico mediante PCR se llevó a cabo en condiciones de esterilidad en una cabina de flujo laminar. Los reactivos utilizados para cada muestra fueron los siguientes:

- 6,3 µl de agua estéril
- 15 µl de Extract-N-Amp PCR ReadyMix
- 1,4 µl de cebador ITS1
- 1,4 µl de cebador ITS4
- 6 µl de ADN genómico

Las amplificaciones se llevaron a cabo en un termociclador bajo las siguientes condiciones: 6 min a 94°C, seguido de 35 ciclos de 1 min a 94°C, 1 min a 54°C y 1 min a 72°C; finalmente, una extensión de 7 min a 72°C.

Una alícuota de cada reacción se empleó para comprobar las amplificaciones mediante electroforesis horizontal en gel de agarosa al 1%, a 90V durante una hora.

Los productos de amplificación se secuenciaron y alinearon mediante la herramienta BLAST contra la base de datos del NCBI (*National Center for Biotechnology Information*), con el fin de identificar la especie fúngica por similitud de secuencia.



Figura 16. Proceso de extracción de micelio fúngico a partir de las purificaciones de hongos en el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón.

3.6. Análisis estadístico de los resultados

Los datos obtenidos a través de los diferentes análisis del suelo fueron sometidos a diferentes pruebas estadísticas con el programa IBM SPSS Statistics Versión 26.0.0.

Con el fin de evaluar las diferencias significativas entre los distintos tipos de cultivos y manejos, para cada uno de los bioindicadores (esporas, propágulos y U.F.C.), se aplicaron test paramétricos de análisis de varianza (ANOVA) y no paramétricos (Kruskal-Wallis), para los casos en que no se cumplían las condiciones de homogeneidad y homocedasticidad. Se aplicó la prueba de media de Tukey para aquellas variables que se mostraron significativas en el análisis de varianza ($p < 0,005$).

Asimismo, también se calculó el coeficiente de correlación lineal de Pearson para evaluar el grado de relación entre las variables de fertilidad química del suelo (materia orgánica, nitrógeno y fósforo) y los valores de fertilidad biológica (micorrizas arbusculares y densidad fúngica).

4. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos para los parámetros físico-químicos y la fertilidad biológica se muestran en el Anejo IV.

4.1. Parámetros físico-químicos

Los parámetros físico-químicos para las diferentes parcelas aparecen en la figura 17, haciendo referencia a la reserva de nutricional del suelo para los organismos vivos.

Los valores de pH se mantuvieron homogéneos, entre 7,80 y 8,60, debido a que es una característica intrínseca de la génesis del suelo. En este caso se presenta un pH moderadamente básico debido a que, como se ha comentado en el apartado de climatología y edafología, en esta región predominan los calcisoles.

Los mayores porcentajes de materia orgánica se registran en cultivos de leñoso en ecológico con 6,8%-3,6%-3,5% (LEÑ-ECO-1, LEÑ-ECO-2, LEÑ-ECO-3, respectivamente) frente a los valores más bajos registrados en leñoso convencional: 0,7%-1,5%, 1,1% (LEÑ-CON-1, LEÑ-CON-2, LEÑ-CON-3, respectivamente). En el caso de los cultivos de cereal extensivo no se encuentran grandes diferencias, siendo el valor más alto de 2,8% en EXT-CON-3, y el más bajo con 0,9% en EXT-CON-1. Finalmente, las parcelas de hortícola con valores intermedios entre el 1,3% y el 4,6% de materia orgánica, registran mayores porcentajes en manejo convencional (HOR-CON-1, 2,2%; HOR-CON-2, 4,6%; HOR-CON-3, 3,29%) frente al ecológico (HOR-ECO-1, 1,4%; HOR-ECO-2, 1,3%; HOR-ECO-3, 2,8%).

Estos valores se encuentran dentro de los límites de referencia para cultivos en secano (entre el 1-2%) y regadío (entre 2-4%), pero la gran variabilidad existente en el contenido de materia orgánica de los suelos agrícolas, hace poco aconsejable el establecer umbrales absolutos de materia orgánica (Labrador, 1996).

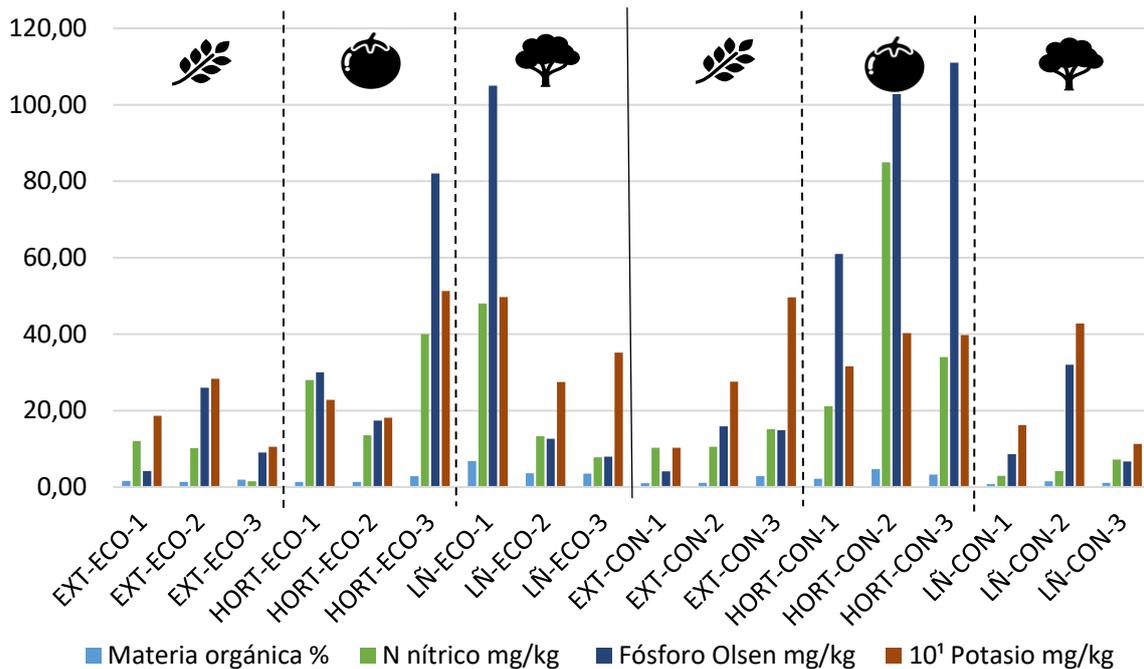


Figura 17. Fertilidad físico-química para las 18 parcelas, datos de materia orgánica, nitrógeno nítrico, fósforo Olsen y potasio.

Las texturas para las diferentes parcelas se muestran en la figura 18, donde se ve una predominancia de los suelos francos y franco-arcillosos.

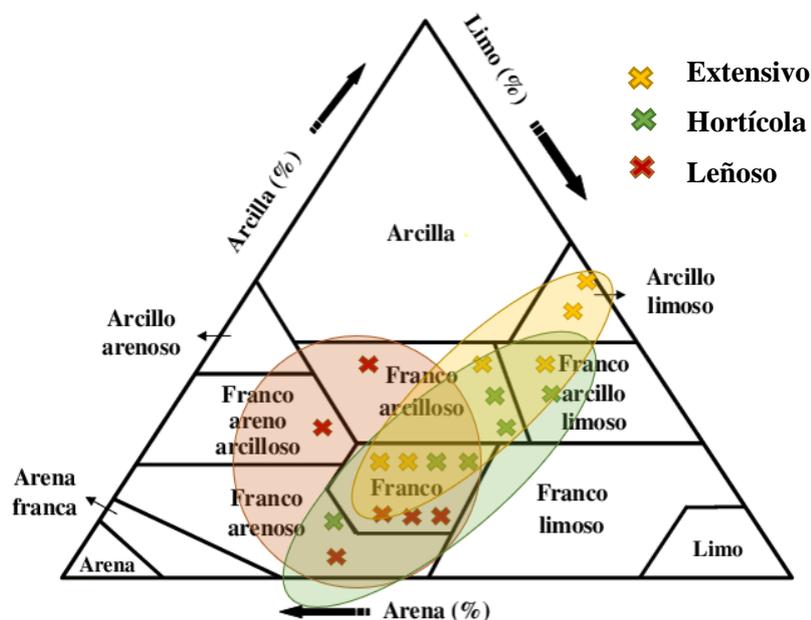


Figura 18. Texturas de las 18 parcelas, diferenciadas según tipo de cultivo: extensivo, hortícola y leñoso.

4.2. Fertilidad biológica

Debido al diseño experimental del presente ensayo, adaptado a las limitaciones temporales del trabajo y al número de parcelas muestreadas, los resultados obtenidos constituyen una primera aproximación a este tipo de estudio. Las conclusiones que se exponen reflejan las tendencias observadas.

Por otro lado, para poder interpretar mejor los resultados de este trabajo, se debe tener en cuenta la complejidad atribuida al suelo, expuesta en apartados anteriores, y el escaso estudio en estas líneas de trabajo para la región seleccionada hasta donde nuestro conocimiento alcanza.

4.2.1. Micorrizas arbusculares

La caracterización de suelos agrícolas a través de estos indicadores de calidad biológica no ha sido estudiada previamente en estas parcelas. Esto hace que los resultados obtenidos no puedan ser comparados con datos reales sobre el territorio. No obstante, sí se ha trabajado con porcentajes de micorrización de las plantas cultivadas para la evaluación de la influencia de diferentes prácticas agronómicas en la Hoya de Huesca (Perdiguer *et al.*, 2006).

A la vista de la variabilidad de los resultados, si se quiere evaluar la influencia de los manejos agrícolas sobre las poblaciones de hongos MA, es imprescindible tener en cuenta los lados del triángulo: hongo-planta-suelo (ambiente) (Jansa *et al.*, 2006).

Esporas de hongos formadores de MA

La cuantificación del número de esporas en suelo se muestra en la tabla 7. Se detectan esporas en todas las parcelas muestreadas con valores medios mínimos de 5 y 12 esporas por cada 100 g de suelo registrados en cultivos de leñoso convencional, a valores medios máximos de 175 y 195 esporas por 100 g de suelo (EXT-CON-2 y LEÑ-ECO-1, respectivamente).

Los valores registrados han sido bajos: el 50 % de las parcelas estudiadas presentan menos de 30 esporas por cada 100 gramos de suelo, y en ningún caso se superan las 200 esporas/ 100 g de suelo, alcanzando únicamente el gramo por espora en tres de los casos estudiados. Estos datos se alejan de los registrados para otros estudios similares, donde la media de esporas para suelos extensivos y hortícolas con manejo convencional es de 700/100 g y 500/100 g (respectivamente), y en ecológico 1500/100g y 1100/100g (Gosling *et al.*, 2010). Otro estudio bajo clima mediterráneo contabiliza una

media de $14,5 \pm 0,43$ /g de suelo cultivado con cebada (García-González *et al.*, 2016). Para los cultivos de almendro en convencional se han encontrado registros similares para el número de esporas (de 13 a 20 esporas/100 g) y porcentaje de materia orgánica (1,1%) (Roldán, 1985).

Las gran variabilidad respecto a otros estudios también puede deberse a la metodología utilizada para la extracción de esporas y su conteo, o a la variabilidad dentro del muestreo (condiciones ambientales o cultivos que puedan influir en la esporulación) (García-González *et al.*, 2016).

Destaca la parcela EXT-CON-2 en la que se aplica siembra directa por su mayor densidad de esporas en relación con el resto de parcelas. Se percibe una influencia positiva del no laboreo del suelo hacia las poblaciones de hongos formadores de MA, coincidiendo con Verzeaux *et al.* (2016), Jansa *et al.* (2002) y Säle *et al.* (2015) que registraron mayores porcentajes de colonización micorrícica en suelos sin laboreo.

Si bien es prudente tener en cuenta que los efectos el manejo del suelo sobre las poblaciones micorrícicas, difieren según las condiciones edafoclimáticas, la historia agronómica de la parcela y el manejo de los cultivos, encontrándose resultados tendencias opuestas a la mencionada (Schalamuk *et al.*, 2007).

Comparando las esporas cuantificadas entre las parcelas muestreadas queda evidente una gran variabilidad con diferencias significativas interparcelarias (p -valor=0,000). En el Anejo II se muestra la gráfica con el número medio de esporas/parcela con intervalo de confianza al 95%, detectándose una mayor desviación para las parcelas en ecológico.

El número de esporas de HMA para 100 g de suelo no es significativamente distinto para los distintos tipos de cultivo: extensivo, hortícola y leñoso, según los valores de p de la tabla 6.

Tabla 6. Test de Tukey para el número de esporas por 100 g de suelo según tipo de cultivo: extensivo, hortícola, leñoso. Se exponen valores de error típico y significancia (p -valor).

Variable		(I) Cultivo	(J) Cultivo	Error típico	Sig.
Nº de esporas	HSD de Tukey	Extensivo	Hortícola	0,164	0,998
			Leñoso	0,164	0,390
		Hortícola	Extensivo	0,164	0,998
			Leñoso	0,164	0,422
		Leñoso	Extensivo	0,164	0,390
			Hortícola	0,164	0,422

Aunque sin diferencias significativas, las esporas cuantificadas para los suelos de cultivo extensivo son menores frente a las de suelos con cultivos hortícolas y leñosos, siendo estos últimos los de mayor número de esporas (figura 19).

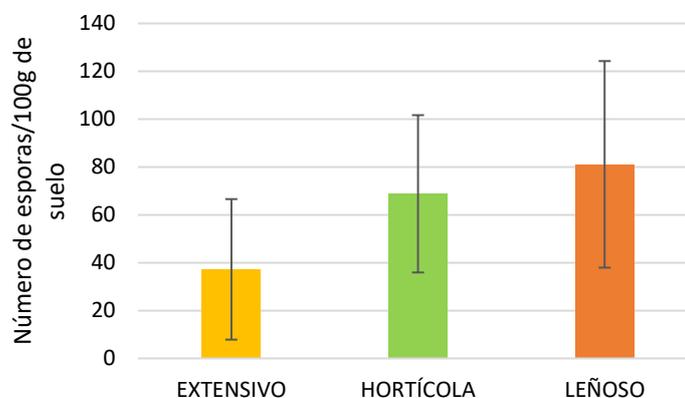


Figura 19. Número medio de esporas de HMA/100 g de suelo según el tipo de cultivo, y desviaciones típicas.

Analizando estadísticamente la influencia del manejo (convencional/ecológico) sobre este indicador, se observan diferencias (p -valor= 0,000) con mayores niveles de esporas en los suelos manejados de forma ecológica (figura 20). Estos resultados coinciden con muchos estudios que encuentran mayor densidad de esporas en los cultivos bajo manejo ecológico frente a convencional (Gosling *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2009).

Por otro lado, se evidencia que un manejo ecológico del suelo podría estar relacionado con mayores densidades de esporas, aunque los números siguen resultando bajos.

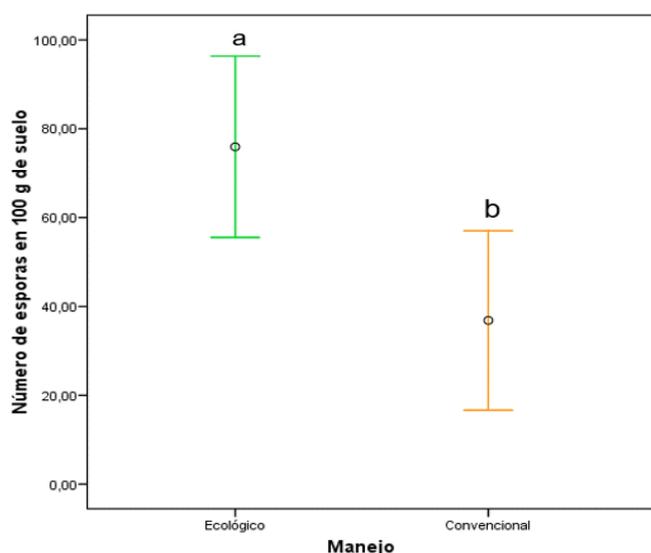


Figura 20. Número de esporas hongos formadores de MA en 100 g de suelo, según diferente manejo: ecológico y convencional. Media e intervalos de confianza al 95%. Las letras “a” y “b” representan diferencias significativas al 5% entre tipo de manejo, según el análisis de varianzas.

Tabla 7. Número medio de esporas de hongos formadores de micorrizas en 100g de suelo, y desviación típica, por parcela y por agrupación según tipo de cultivo y manejo.

CULTIVO EXTENSIVO			CULTIVO HORTÍCOLA			CULTIVO LEÑOSO		
Parcela	Nº medio esporas/100 g	Media	Parcela	Nº medio esporas/100 g	Media	Parcela	Nº medio esporas/100 g	Media
EXT-ECO-1	72 (± 13)	49 (± 28)	HOR-ECO-1	38 (± 8)	72 (± 31)	LEÑ-ECO-1	195 (± 10)	106 (± 71)
EXT-ECO-2	13 (± 8)		HOR-ECO-2	105 (± 13)		LEÑ-ECO-2	75 (± 40)	
EXT-ECO-3	63 (± 6)		HOR-ECO-3	73 (± 15)		LEÑ-ECO-3	48 (± 16)	
EXT-CON-1	20 (± 5)	72 (± 77)	HOR-CON-1	27 (± 3)	25 (± 5)	LEÑ-CON-1	12 (± 3)	11 (± 9)
EXT-CON-2	175 (± 23)		HOR-CON-2	25 (± 5)		LEÑ-CON-2	5 (± 9)	
EXT-CON-3	28 (± 10)		HOR-CON-3	23 (± 8)		LEÑ-CON-3	17 (± 12)	



Figura 21. Observación a través de lupa binocular de las esporas sobre el papel de filtro.

A continuación, se expone en la tabla 8 el Número Más Probable de propágulos micorrícicos de cada muestra de suelo expresados para 100 cm³ de suelo seco. Los propágulos, o elementos capaces de formar la simbiosis micorrícica, son tanto esporas como fragmentos de raíz micorrizados con arbusculos y vesículas, e hifas de los HFMA.

El número de propágulos micorrícicos determinado es muy bajo: la mitad de las parcelas no alcanzan 2 propágulos por cada 100 cm³ de suelo, siendo el máximo número registrado de 29 propágulos/100 cm³ en LEÑ-ECO-2.

En tres de las parcelas estudiadas (EXT-ECO-2, HOR-CON-2 y LEÑ-CON-2) el cultivo hospedador no ha sido colonizado por hongos formadores de MA, aunque si tienen presencia de esporas, pero en menor cantidad frente al resto de parcelas. Para eliminar el posible efecto selectivo de las especies de plantas trampa en los propágulos micorrícicos, sería recomendable repetir este bioensayo con otras especies de plantas hospedadoras (Jansa *et al.*, 2002).

Realizando una media del número de propágulos agrupando las parcelas por cultivo y tipo de manejo se establece el siguiente orden de mayor a menor presencia de propágulos MA:

LÑ-ECO > EXT-ECO > HOR-ECO > EXT-CON > LÑ-CON = HOR-CON

Cabe destacar las altas desviaciones típicas fruto de la alta variabilidad dentro de un tipo de cultivo con el mismo manejo.

Las parcelas con mayor número de propágulos coinciden con cultivos leñosos y esto puede estar relacionado con que son cultivos perennes en el que permanecen vivas las raíces del suelo, resultando ser una fuente de propágulos permanentes y vivos (Roldán, 1985)

De forma generalizada, las diferencias en el potencial micorrícico aparecen en favor de los suelos con manejo ecológico, en contraste con los suelos bajo manejo convencional. Se detecta muy baja presencia de elementos infectivos en los suelos con manejo convencional para los tres tipos de cultivos, a excepción de la parcela EXT-CON-2 que practica agricultura de conservación.

Tabla 8. Número de propágulos micorrícicos en 100 cm³ de suelo para cada parcela. Media y desviación típica para las agrupaciones por cultivo y manejo.

CULTIVO HOTÍCOLA			CULTIVO EXTENSIVO			CULTIVO LEÑOSO		
Parcela	Nº propágulos micorrícicos	Media Y desviación típica	Parcela	Nº propágulos micorrícicos	Media Y desviación típica	Parcela	Nº propágulos micorrícicos	Media Y desviación típica
HOR-ECO-1	7,50	6,50 (±1,73)	EXT-ECO-1	4,50	7,83 (±9,93)	LEÑ-ECO-1	19,00	20,06 (±8,30)
HOR-ECO-2	7,50		EXT-ECO-2	0,00		LEÑ-ECO-2	28,83	
HOR-ECO-3	4,50		EXT-ECO-3	19,0		LEÑ-ECO-3	12,33	
HOR-CON-1	1,90	0,88 (±0,96)	EXT-CON-1	0,73	2,99 (±3,91)	LEÑ-CON-1	1,90	0,88 (±0,96)
HOR-CON-2	0,00		EXT-CON-2	7,50		LEÑ-CON-2	0,00	
HOR-CON-3	0,73		EXT-CON-3	0,73		LEÑ-CON-3	0,73	

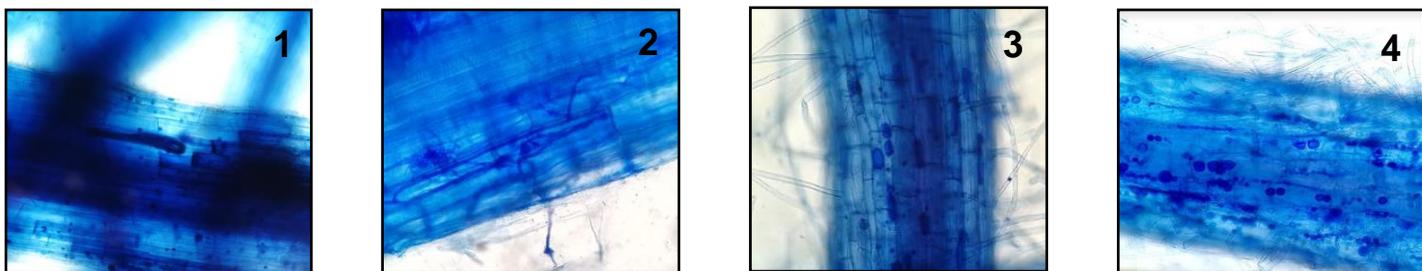


Figura 22. Observación al microscopio del sistema radicular de cebada tras la tinción. Estructuras fúngicas detectadas: imagen 1, hifa de HFMA colonizando célula vegetal; imagen 2, hifas de HFMA en el sistema radicular; imágenes 3 y 4, vesículas y esporas de HFMA.

4.2.2. Microorganismos cultivables

El método de diluciones sucesivas, utilizado en este trabajo, ha sido objeto de críticas por sus limitaciones. A pesar de ello, es considerado uno de los métodos más útiles para detectar cambios cuantitativos en las poblaciones de hongos si se repiten las estimaciones poblacionales a lo largo del tiempo (Martínez *et al.*, 2009)

Densidad de Unidades Formadoras de colonias

El estudio de las U.F.C. muestra nuevamente una gran variabilidad interparcelaria. En el Anejo III se encuentra la gráfica con el número medio de U.F.C. por gramo de suelo para las diferentes parcelas con intervalo de confianza al 95%. Los mayores recuentos han sido determinados en dos parcelas de almendro con 26.000 U.F.C. \cdot g⁻¹. En el lado opuesto, se contabilizaron 2.000 U.F.C. \cdot g⁻¹ en una parcela de cereal convencional.

Valorar las poblaciones fúngicas del suelo supone un problema de magnitud enorme ya que una especie de hongos puede encontrarse en el suelo en proporciones que varían entre 10 y 10⁹ U.F.C. \cdot g⁻¹. Pese a esta dificultad, Burges (1960) estimó que un suelo fértil contiene una densidad aproximada de 4 \cdot 10⁵ U.F.C. \cdot g⁻¹. Este dato se aleja en un orden de magnitud de los datos para estas parcelas en algunos de los casos, y en otros en hasta dos.

Para el estudio de la densidad fúngica en relación con el tipo de cultivo, se ha realizado un análisis de varianza para las U.F.C. en 100 gramos de muestra de suelo representada en la tabla 9, encontrando diferencias significativas con nivel de significación $p < 0,05$.

Tabla 9. Análisis de varianza de la variable U.F.C./100 g de suelo en función del tipo de cultivo: extensivo, hortícola y leñoso.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
U.F.C	Inter-grupos	736,259	2	368,130	7,285	,002
	Intra-grupos	2577,167	51	50,533		
	Total	3313,426	53			

El test de comparaciones múltiples de Tukey determina que existen diferencias significativas entre los cultivos extensivos “a” frente a los cultivos hortícolas y leñosos “b”, siendo estos dos últimos los que mayor densidad fúngica presentan como se muestra en la figura 23. Esta tendencia también se observaba para el número de esporas de hongos formadores de MA.

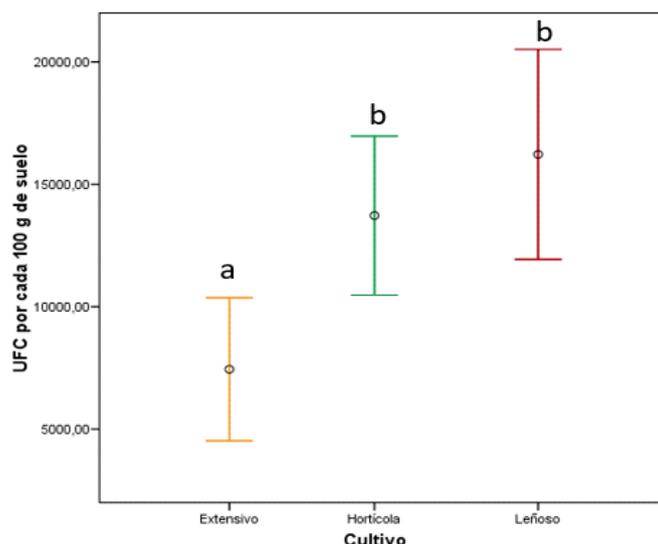


Figura 23. Media de U.F.C. por 100 g de suelo e intervalos de confianza al 95%. Las letras “a” y “b” representan diferencias significativas al 5% entre tipo de cultivo, según la prueba de Tukey.

Para el estudio de los microorganismos fúngicos cultivables según el tipo de manejo no se cumplían las asunciones de homocedasticidad ($p\text{-valor} > 0,05$), por lo que no pudo realizarse un análisis paramétrico, incluso cuando dichos datos fueron sometidos a varias transformaciones para ser analizados ($\log x$, $\ln x$, \sqrt{x} , siendo “x” el número de U.F.C.g⁻¹ de suelo), según se muestra en la siguiente tabla 10.

Tabla 10. Prueba de homogeneidad de varianzas según el tipo de manejo para las distintas transformaciones, estadístico de Levene.

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
UFC	5,157	1	52	0,027
LogUFC	6,297	1	52	0,015
RaizUFC	12,121	1	52	0,001
LnUFC	22,461	1	52	0,000

Se lleva a cabo la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis (tabla 11), tomando como variable de agrupación el manejo, que constituye una alternativa al uso del análisis de varianzas de un factor (ANOVA). A través de esta prueba se determina que sí existen diferencias significativas entre las parcelas bajo manejo convencional frente a las de ecológico para las U.F.C. ($p < 0,05$), con una mayor densidad fúngica en estas últimas.

Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis para las U.F.C. agrupadas según el tipo de manejo: convencional/ecológico.

	10 ³ U.F.C./g ⁻¹
Chi-cuadrado	5,794
gl	1
Sig.	0,016

En esta última gráfica (figura 24), donde se resumen los datos para este índice de calidad, se ve una tendencia creciente de extensivo a leñoso, tanto en cultivos ecológicos como aquellos bajo manejo convencional. Además, se aprecia la diferencia significativa entre ambos manejos, causada principalmente por las diferencias entre los cultivos de extensivo en ecológico y convencional.

Finalmente hay que destacar las amplias desviaciones típicas para cada columna de datos, a excepción del cultivo extensivo en convencional. Esto se debe a la variabilidad detectada entre parcelas, fruto de los diferentes manejos que se dan para cada una de ellas.

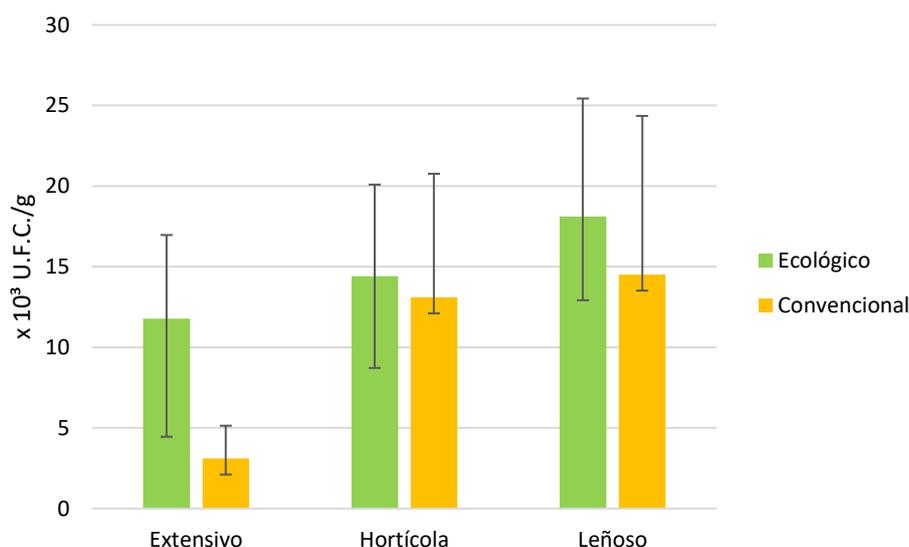


Figura 24. Densidad de microorganismos fúngicos cultivables en las parcelas bajo manejo ecológico frente a las parcelas con manejo convencional, agrupadas según tipo de cultivo.

Identificación de especies de hongos cultivables

Pese a no ser uno de los objetivos propuestos en el trabajo, se decidió identificar las especies de los hongos purificados en los diferentes medios de cultivo. Al no haberse realizado este tipo de estudios previamente para estos tipos de parcelas, se consideró necesaria una primera aproximación a las poblaciones fúngicas cultivables sin distinguir entre las diferentes formas de manejo agronómico. Queda justificado el interés agrícola en

el estudio de los hongos agentes de control biológico y patógenos, pero además, es importante destacar el papel de los hongos saprófitos que juegan un papel fundamental en la circulación de nutrientes, y cuya diversidad y abundancia puede constituir otro indicador de calidad biológica.

A continuación, se exponen en las tablas 12, 13 y 14 las especies de microorganismos cultivables identificadas en los suelos para los diferentes cultivos, cuyas secuencias se muestran en el Anejo V. Dentro de los géneros identificados se encuentran algunos de los señalados como más abundantes en suelos de cultivo para el sur de España: *Penicillium* spp., *Fusarium* spp., *Mucor* spp., *Aspergillus* spp., *Mortiriella* spp., *Phytium* spp., *Saprolegnia* spp., *Monosporium* spp. y *Chaetomium* spp. (Tello *et al.*, 2011).

Se identifican un total de 34 especies de hongos cultivables pertenecientes a 14 familias: *Arthopyreniaceae*, *Chaetomiaceae*, *Clavicipitaceae*, *Davidiellaceae*, *Hypocreaceae*, *Lasiochaetaceae*, *Leptosphaeria*, *Mortierellaceae*, *Mucoraceae*, *Myxotrichaceae*, *Nectriaceae*, *Pleosporaceae*, *Stachybotryaceae* y *Trichocomaceae*.

Uno de los intereses a la hora de identificar las especies de hongos cultivables ha sido la búsqueda de especies pertenecientes al género *Trichoderma*, debido a que es de los géneros más utilizados para el control de enfermedades fúngicas, por su ubicuidad y su facilidad para ser aislado y cultivado (Burgos, 2017). Los resultados obtenidos han sido positivos puesto que se encontraron hasta 5 especies de este género, presentes en todos los cultivos. Otra de las pretensiones del trabajo era la de identificar *Rhizoctonia* sp. binucleada no patógena, por su reconocida capacidad como agente de control de hongos fitopatógenos del suelo, pero no se encontró en los suelos estudiados.

El mayor número de hongos identificados pertenecen al grupo de saprófitos habituales del suelo (figura 25). De los 13 géneros identificados algunos de los más comunes son: *Aspergillus*, *Mortiriella* y *Penicillium*. En menor número, se identificaron 10 especies patógenas pertenecientes a los *Alternaria* (*A. arborescens*), *Fusarium* (*F. equiseti*, *F. oxysporum*, *F. solani* y *F. brachygibbosum*), *Leptosphaeria* sp., *Rhizopus* (*R. oryzae*), *Trichocladium*, y *Pythium* (*P. heterothallicum*).

Finalmente se contabilizaron hasta 8 especies con interés para control biológico, 5 de ellas pertenecientes al género *Trichoderma* (*T. gamsii*, *T. longibrachiatum*, *T. saturnisporum*, *T.*

harzianum y *T. atroviride*). Además *Bauveria bassiana*, conocido entomoparásito y de *Cylindrocarpon olidum* del cual se estudia su actividad antibiótica (Yolageldi y Turhan, 2005).

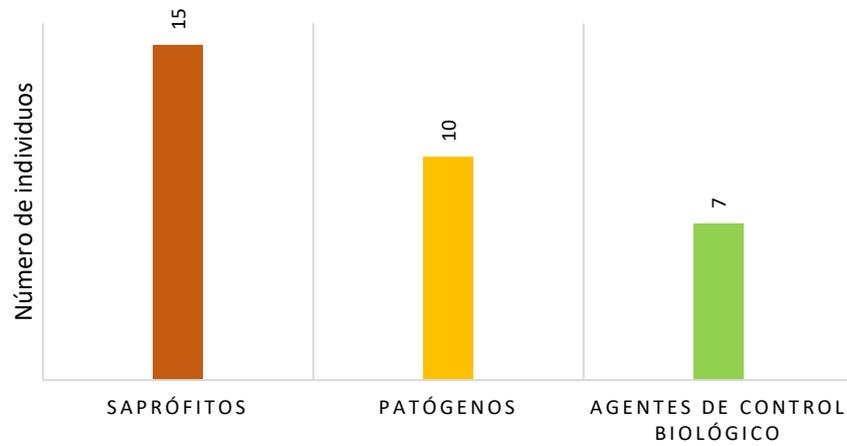


Figura 25. Número de especies de microorganismos cultivables identificadas según su función.

Tabla 12. Especies identificadas en los suelos de cultivo hortícola, grupo al que pertenecen y número de especies potencialmente patógenas y beneficiosas para los cultivos (<http://www.mycobank.org/>).

Cultivo	Especie	Especies patógenas	Especies beneficiosas	Especies saprófitas	Grupo
HORTÍCOLA	<i>Albifimbria verrucaria</i>			X	Ascomycota
	<i>Alternaria arborescens</i>	X			
	<i>Aspergillus europaeus</i>			X	
	<i>Aspergillus ustus</i> (x2)	(patógeno humano)		X	
	<i>Botryotrichum piluliferum</i>		X		
	<i>Chaetomium</i> sp.			X	
	<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	(patógeno humano)		X	
	<i>Fusarium equiseti</i>	X			
	<i>Fusarium oxysporum</i> ;	X			
	<i>Fusarium solani</i>	X			
	<i>Leptosphaeria</i> sp.	X			
	<i>Mortierella alpina</i>			X	
	<i>Mortierella</i> sp.			X	
	<i>Myxotrichaceae</i> sp			X	
	<i>Penicillium</i> sp.			X	
	<i>Rhizopus oryzae</i>	X			
	<i>Stachybotry chartarum</i>			X	
	<i>Triangularia phialophoroides</i>			X	
<i>Trichocladium</i> sp.			X		
<i>Trichoderma atroviride</i>			X		

Tabla 13. Especies identificadas en los suelos de cultivo de almendro, grupo al que pertenecen y número de especies potencialmente patógenas y beneficiosas para los cultivos (<http://www.mycobank.org/>)

Cultivo	Especie	Especies patógenas	Especies beneficiosas	Especies saprófitas	Grupo
LEÑOSO	<i>Arthopyrenia</i> sp.;			X	Ascomycota
	<i>Aspergillus</i> sp.(x2)			X	
	<i>Aspergillus niger</i>			X	
	<i>Cladorrhinum samala</i>			X	
	<i>Cylindrocarpon olidum</i>		X		
	<i>Fusarium brachygibbosum</i>	X			
	<i>Fusarium equiseti</i>	X			
	<i>Fusarium oxysporum</i> (x2)	X			
	<i>Fusarium solani</i>	X			
	<i>Leptosphaeria</i> sp.	X			
	<i>Mortierella</i> sp.			X	
	<i>Trichoderma gamsii</i>		X		
	<i>Trichoderma harzianum</i> (x3)		X		
	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>		X		
<i>Trichoderma saturnisporum</i> (x2)		X			

Tabla 14 Especies identificadas en los suelos de cultivo extensivo de cereal, grupo al que pertenecen y número de especies potencialmente patógenas y beneficiosas para los cultivos (<http://www.mycobank.org/>)

Cultivo	Especie	Especies patógenas	Especies beneficiosas	Especies saprófitas	Grupo
EXTENSIVO	<i>Alternaria</i> sp.	X			Ascomycota
	<i>Beauveria bassiana</i>		X		
	<i>Chaetomium globosum</i>			X	
	<i>Chaetomium</i> sp.			X	
	<i>Fusarium oxysporum</i> (x2)	X			
	<i>Hypocreales</i> sp.			X	
	<i>Hyphopichia burtonii</i>			X	
	<i>Mortierella</i> sp. (x2)			X	
	<i>Pythium heterothallicum</i> ³	X			
	<i>Talaromyces</i> sp.			X	
	<i>Talaromyces wortmannii</i>			X	
<i>Trichoderma harzianum</i>			X		

³ La especie *Pythium heterothallicum* es un oomiceto perteneciente al reino Protista.

4.2.3. Correlación entre variables

En este apartado se han determinado las relaciones existentes para los diferentes parámetros físicos del suelo y los valores de calidad biológica obtenidos (tabla 15).

Tabla 15. Análisis de las correlaciones de Pearson entre los parámetros químicos: materia orgánica (%), fósforo (mg/kg), nitrógeno (mg/kg); y los índices de calidad biológica: 10³UFC/g suelo, número de esporas/100g suelo, número de propágulos micorrícicos/100 cm³ suelo.

		Materia orgánica	Fósforo	Nitrógeno	Potasio	UFC/g	Esporas	Propágulos
Materia orgánica	(r)	1	0,70(**)	0,68(**)	0,67(**)	0,20	0,41	0,43
	P valor	,000	0,001	0,002	0,002	00,420	0,092	0,074
Fósforo	(r)	0,695(**)	1	0,84(**)	0,67(**)	0,26	0,16	-0,1
	P valor	0,001	0,000	0,000	0,002	0,308	0,524	0,695
Nitrógeno	(r)	0,68(**)	0,84(**)	1	0,54(*)	0,07	0,14	-0,08
	P valor	0,002	0,000	0,000	0,022	0,798	0,562	0,746
Potasio	(r)	0,67(**)	0,67(**)	0,534(*)	1	-0,06	0,17	-0,05
	P valor	0,002	0,002	0,022	0,000	0,812	0,498	0,847
U.F.C.	(r)	0,20	0,26	0,07	-0,06	1	0,15	0,24
	P valor	0,420	00,308	0,798	0,812	0,000	0,566	0,330
Esporas	(r)	0,41	0,16	0,15	0,17	0,14	1	0,55(*)
	P valor	0,092	0,524	0,562	00,498	,566	0,000	0,017
Propágulos	(r)	0,43	-0,10	-0,08	-0,05	0,24	0,55(*)	1
	P valor	0,074	0,695	0,746	0,847	0,330	0,017	0,000

Nota: (**) La correlación es significativa al nivel 0,01; (*) La correlación es significativa al nivel 0,05.

El rango de los coeficientes de correlación (r), comprendido entre -1 a +1, mide la fuerza de la relación lineal entre las variables, siguiendo una correlación lineal, negativa o positiva. En negrita se muestran los p-valor<5, es decir, aquellos que presentan diferencias significativas. Los coeficientes de correlación (r) en negrita han sido señalados por su relevancia en el estudio.

En la tabla 15 se establecen relaciones lineales positivas para los para índices de fertilidad química: materia orgánica, fósforo, nitrógeno y potasio, con niveles de correlación altos (p -valor=0,001).

Además, se evidencia una fuerte relación positiva ($r=0,6$ próxima a 1), estadísticamente significativa ($p<0.05$) entre el número de propágulos y número de esporas en los suelos, es decir, el crecimiento del número de propágulos es directamente proporcional al número de esporas. Ambos bioindicadores a su vez, se encuentran levemente correlacionados de forma positiva con el porcentaje de materia orgánica en suelo. Esto es debido a que los valores para (r) entre la m.o. y el número de esporas y de propágulos se encuentran próximos a 0,5 ($r=0,4$, en ambos casos), y los niveles de

significación próximos al 0.00 ($p=0,09$ y $p=0,07$, respectivamente). En menor medida también existe una relación positiva entre la densidad fúngica y el contenido de materia orgánica del suelo. Esta relación se entiende porque la materia orgánica tiene una influencia positiva sobre diferentes parámetros del suelo, y entre ellos los biológicos: favorece la simbiosis de micorrizas, aumenta la biodiversidad de organismos, la cantidad de nutrientes y energía, y regula la actividad de los organismos (Labrador, 1996).

Por otro lado, aunque sin una significancia estadística ($p>0,05$), se establece una relación inversa entre el número de propágulos con los valores de fósforo disponibles en el suelo ($r= -0,1$), y en menor medida, con las concentraciones de nitrógeno ($r=-0,08$) y potasio ($r=-0,05$). Como se ha comentado en anteriores apartados, el fósforo es el mayor limitante para la infección del suelo con micorrizas arbusculares. Se encuentra ampliamente aceptado que los mayores valores de colonización radical y esporulación se dan en suelos con media/baja fertilidad (Jaizme-Vega, 2010; Smith y Read, 2002).

Finalmente se puede concluir que la diferencia entre parcelas y la variabilidad de resultados obtenidos a partir de los índices microbiológicos, hace que las relaciones establecidas para los manejos y cultivos sean tomadas con precaución. Estos índices son el resultado de una compleja interacción de factores como la fertilidad físico-química del suelo, tipo de cultivo, labranza, insumos y enmiendas. No obstante, los resultados sí demuestran que la combinación de estos factores bajo manejo ecológico muestra mayores concentraciones de esporas, propágulos micorrícicos y hongos cultivables, que a su vez se encuentran relacionados débilmente con la materia orgánica del suelo.

5. Conclusiones

1. Se ha encontrado un bajo potencial micorrícico en los suelos estudiados de la Hoya de Huesca, posiblemente asociado al diferente manejo agronómico de las parcelas de cultivo.
2. Se manifiesta una influencia positiva del no laboreo, sobre las poblaciones de hongos formadores de micorrizas arbusculares.
3. Los indicadores biológicos analizados, micorrizas arbusculares y microorganismos fúngicos cultivables, muestran mayores valores en las parcelas de manejo ecológico frente a las de manejo convencional.
4. Se ha observado una mayor aparición de hongos según el tipo de cultivo. Los mayores valores se registran en cultivos leñosos, posteriormente en hortícola y por último en cultivos extensivos de cereal.
5. Se han identificado 13 géneros de hongos saprófitos, 7 géneros de microorganismos potencialmente patógenos y 3 géneros de interés como posibles agentes de control biológico, entre ellos *Trichoderma* spp. con cinco especies diferentes: *T. atroviride*, *T. gamsii*, *T. harzianum*, *T. longibrachiatum* y *T. saturnisporum*.
6. Agrupar parcelas destinadas a diferentes cultivos en función del manejo hace que se dejen de analizar muchos factores importantes (rotaciones, niveles de cobertura de suelo). Se considera necesario aumentar el número de parcelas muestreadas para obtener mejores conclusiones.
7. Este trabajo se ha planteado como un punto de partida para el estudio de la calidad biológica del suelo de los agroecosistemas, en concreto de la Hoya de Huesca, intentando establecer unos rangos de valores iniciales que permitan comparaciones futuras.

6. Bibliografía

- Acín Fanlo, J. L., Acín, M. Á., y Lampre, F. (2011). *Hoya de Huesca : Naturaleza*. [Fecha de última consulta 15 de julio de 2018] Disponible en <http://turismo.hoyadehuesca.es>
- Agrios, G. N. (2001). *Fitopatología* (2ª ed.). México: LIMUSA.
- Arshad, M. A., y Coen, G. M. (1992). *Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria*. American Journal of Alternative Agriculture, 7(1–2), 25–31.
- Ayuntamiento de Huesca. (2017). *Estudio diagnóstico de la situación de la agricultura ecológica en el término municipal Huesca* (pp. 1–29). pp. 1–29. Disponible en: <http://www.lahoyaverde.es/edhuesca.pdf>
- Badía, D., Cuchí, J. A., Ibarra, P., Longares, L. A., Macías, F., Martí, C., ... Silva, J. (2009). *Itinerarios edáficos por el Alto Aragón*. En Cuadernos Altoaragoneses de Trabajo. Huesca: Instituto de Estudios Altoaragoneses.
- Barea, J. M. (2009). *Mycorrhizas and agricultural fertility*. In J. Bonilla (Ed.), Current Topics in Agriculture (pp. 257–274). USA: Studium Press.
- Barnett, H. L., y Hunter, B. B. (1972). *Illustrated genera of imperfect fungi* (Nº ed. 4). American Phytopathological Society.
- Burges, A. (1960). *Introducción a la microbiología del suelo*. Zaragoza: Editorial Acribia.
- Burgos, A. E. (2017). *Evaluación de la dinámica de Trichoderma spp. en el cultivo de arroz (Oryza sativa), en el cantón de Colimes, provincia del Guayas*. Universidad Agraria del Ecuador.
- Cenci, R. M., y Jones, R. J. A. (2009). *Holistic approach to biodiversity and bioindication in soil*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Cluzeau, D., Guernion, M., Chaussod, R., Martin-Laurent, F., Villenave, C., Cortet, J., ... Pérès, G. (2012). *Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types*. European Journal of Soil Biology, 49, 63–72.
- Cofré, N., Urcelay, C., Wall, L. G., Domínguez, L., y Becerra, A. (2018). *El potencial de colonización micorrízico-arbuscular varía entre prácticas agrícolas y sitios en diferentes áreas geográficas de la Región Pampeana*. Ecología Austral, 28(3), 581–592.
- Comité Aragonés de Agricultura Ecológica. (n.d.). *¿Qué es la Agricultura Ecológica? Situación actual*. [Fecha de última consulta 22 de junio de 2018]. Disponible en <http://caearagon.com/>
- Coyne, M., y Rasskin, M. (2000). *Microbiología del suelo : un enfoque exploratorio*. Madrid: S.A. EDICIONES PARANINFO.
- Elgorban, A. M., Bahkali, A. H., y Al-Sum, B. A. (2013). *Biological Control of Root Rots and Stems Canker of Tomato Plants Caused by Rhizoctonia solani in Saudi Arabia*. Journal of Pure and Applied Microbiology, Vol. 7, pp. 819–826.

- European Environment Agency. (2019). *Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe*. Luxembourg.
- FAO. (2011). *Ahorrar para crecer: Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola en pequeña escala*. En FAO. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i2215s.pdf>
- FAO. (2015). *Carta mundial de los suelos*.
- Fisher, R. A., y Yates, F. (1963). *Statistical tables for biological, agricultural, and medical research*. (6th ed). Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... Zaks, D. P. M. (2011). *Solutions for a cultivated planet*. *Nature*, 478, 337–342.
- Garbisu, C., Becerril, J. M., Epelde, L., y Alkorta, I. (2007). *Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador*. *Ecosistemas*, 16(2), 44–49.
- García-González, I., Quemada, M., Gabriel, J. L., y Hontoria, C. (2016). *Arbuscular mycorrhizal fungal activity responses to winter cover crops in a sunflower and maize cropping system*. *Applied Soil Ecology*, 102, 10–18.
- García Sansón, E. (2017). *La importancia de la actividad biológica del suelo en la regulación de las poblaciones de "Ceratitis capitata."* Universidad de Extremadura.
- Gerdemann, J. W., y Nicolson, T. H. (1963). *Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting*. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), 235–244.
- Gobierno de Aragón. (2019). *Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Aragón*.
- Gosling, P., Ozaki, A., Jones, J., Turner, M., Rayns, F., y Bending, G. D. (2010). *Organic management of tilled agricultural soils results in a rapid increase in colonisation potential and spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 139, pp. 273–279.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., y Lorito, M. (2004). *Trichoderma species - Opportunistic, avirulent plant symbionts*. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43–56.
- IAEST. (2009). *Censo Agrario 2009 en Aragón*. Madrid: Instituto Aragónes de Estadística.
- Jaizme-Vega, M. C. (2010). *Las micorrizas, microorganismos esenciales en la agricultura ecológica*. *Biodiversidad Agraria*, 0, 28–29.
- Jaizme-Vega, M. C. (2011). *Microorganismos funcionales del suelo. Su papel en el manejo ecológico de los secanos*. En Mundi-Prensa (Ed.), *Agricultura Ecológica en Secano. Soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos* (p. 20 pp). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, SEAE.
- Jaizme-Vega, M. C., y Rodríguez-Romero, A. S. (2008). *Integración de microorganismos benéficos (Hongos micorrícicos y bacterias rizosféricas) en agrosistemas de las Islas Canarias*. *Agroecología*, pp. 33–39.

- Jaizme-Vega, M. C., y Rodríguez Romero, A. S. (2006). *Uso potencial de hongos micorrícicos en sanidad vegetal*. Vida Rural (España), pp. 28–30.
- Jansa, J., Mozafar, A., Anken, T., Ruh, R., Sanders, I., y Frossard, E. (2002). *Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil*. Mycorrhiza, 12(5), 225–234.
- Jansa, J., Wiemken, A., y Frossard, E. (2006). *The effects of agricultural practices on arbuscular mycorrhizal fungi*. Geological Society, London, Special Publications, Vol. 266, pp. 89–115.
- Johansson, J. F., Paul, L. R., y Finlay, R. D. (2004). *Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture*. FEMS Microbiology Ecology, 48(1), 1–13.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., Schuman, G. E., ... USDA, F. S. (1997). *Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation*.
- Koske, R. E., y Gemma, J. N. (1989). *A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas*. Mycological Research, 92(4), 486–488.
- Labrador, J. (1996). *La materia orgánica en los agrosistemas*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Lee, J., Eom, A., y Archives, T. P. S. U. C. (2009). *Effect of Organic Farming on Spore Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Glomalin in Soil*. Mycobiology, 37(4), 272–276
- López García, Á., Barea, J. M., y Azcón-Aguilar, C. (2014). *Incidencia de la degradación del hábitat, la estacionalidad climática y el hábito de crecimiento de la planta hospedadora sobre la diversidad de las comunidades de hongos micorrícicos arbusculares*.
- Martínez, M. A., Lacasa, A., y Tello, J. (2009). *Ecología de la microbiota fúngica de los suelos de los invernaderos de pimiento y su interés agronómico* (p. 374). p. 374. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Centro de Publicaciones.
- Ministerio de Agricultura, P. y A. (MAPA). (2018). *Estadística de agricultura ecológica*. [Fecha de última consulta 8 de julio de 2019]. Disponible en <http://publicacionesoficiales.boe.es/>
- Montanarella, L., Pennock, D., McKenzie, N., Alavi Panah, S. K., Alegre, J., Alshankiti, A., ... Lin Zhang, G. (2016). *Estado Mundial del Recurso Suelo*. Roma, Italia: FAO.
- Negrete-Yankelevich, S., Maldonado-Mendoza, I. E., Lázaro-Castellanos, J. O., Sangabriel-Conde, W., y Martínez-Álvarez, J. C. (2013). *Arbuscular mycorrhizal root colonization and soil P availability are positively related to agrobiodiversity in Mexican maize polycultures*. Biology and Fertility of Soils, 49(2), 201–212.
- Nicholls, C., y Altieri, M. (2007). *Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación*. Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente, 16(1), 2.
- Odoemene, A. (2017). *Climate change and land grabbing*. Research Handbook on Climate Change and Agricultural Law, 423–449.

- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mäder, P., Boller, T., y Wiemken, A. (2003). *Impact of Land Use Intensity on the Species Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agroecosystems of Central Europe*.
- Peña, J., y Lozano, M. (2004). *Las unidades del relieve aragonés*. Geografía Física de Aragón. Aspectos Generales y Temáticas., 1–14.
- Perdiguer, A., Barriuso, J., Rodríguez, E., y Palazón, C. (2006). *Evaluación de la calidad biológica de un suelo por medio del estudio de las endomicorrizas*.
- Phillips, J. M., y Hayman, D. S. (1970). *Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection*. Transactions of the British Mycological Society, 55(1), 158–305.
- Porter, W. M. (1979). *The “most probable number” method for enumerating infective propagules of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in soil*. Australian Journal of Soil Research (Australia), Vol. 17, pp. 515–519.
- Redecker, D., Kodner, R., y Graham, L. E. (2000). *Glomalean Fungi from the Ordovician*. Science, 289(5486), 1920–1921.
- Roldán Fajardo, B. E. (1985). *Micorrizas VA en cultivos arbóreos: almendro, naranjo y olivo*. Universidad de Granada.
- Säle, V., Aguilera, P., Laczko, E., Mäder, P., Berner, A., Zihlmann, U., ... Oehl, F. (2015). *Impact of conservation tillage and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi*. Soil Biology and Biochemistry, 84, 38–52.
- Sánchez De P., M., Prager M., M., Naranjo, R. E., y Sanclemente, O. E. (2012). *El suelo, su metabolismo, ciclaje de nutrientes y prácticas agroecológicas*. Agroecología, 7(1), 19–34.
- Schalamuk, S., Chidichimo, H., y Cabello, M. (2007). *Variaciones en la composición de especies de Glomeromycota (Fungi) en un cultivo de trigo bajo distintos sistemas de labranza*. Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica, 42(1–2), 45–53.
- Schüßler, A., Schwarzott, D., y Walker, C. (2001). *A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution*. Mycological Research, 105, 1413–1421.
- Smith, S. E., y Read, D. J. (2002). *Mycorrhizal symbiosis* (2nd ed). London: Academic Press.
- Tello, J. C., Palmero, D., Cara, M., Moreno, A., y Santos, M. (2011). *El suelo como “ente vivo” y su relación con las enfermedades de las plantas*. En Mundi-Prensa (Ed.), *Agricultura Ecológica en Secano. Soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos* (p. 44 pp). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, SEAE.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. New York: UN General Assembly.
- Verzeaux, J., Roger, D., Lacoux, J., Nivelles, E., Adam, C., Habbib, H., ... Tetu, T. (2016). *In Winter Wheat, No-Till Increases Mycorrhizal Colonization thus Reducing the Need for Nitrogen Fertilization*.

WWF. (2018). *Living planet 2018*. Gland, Suiza: WWF.

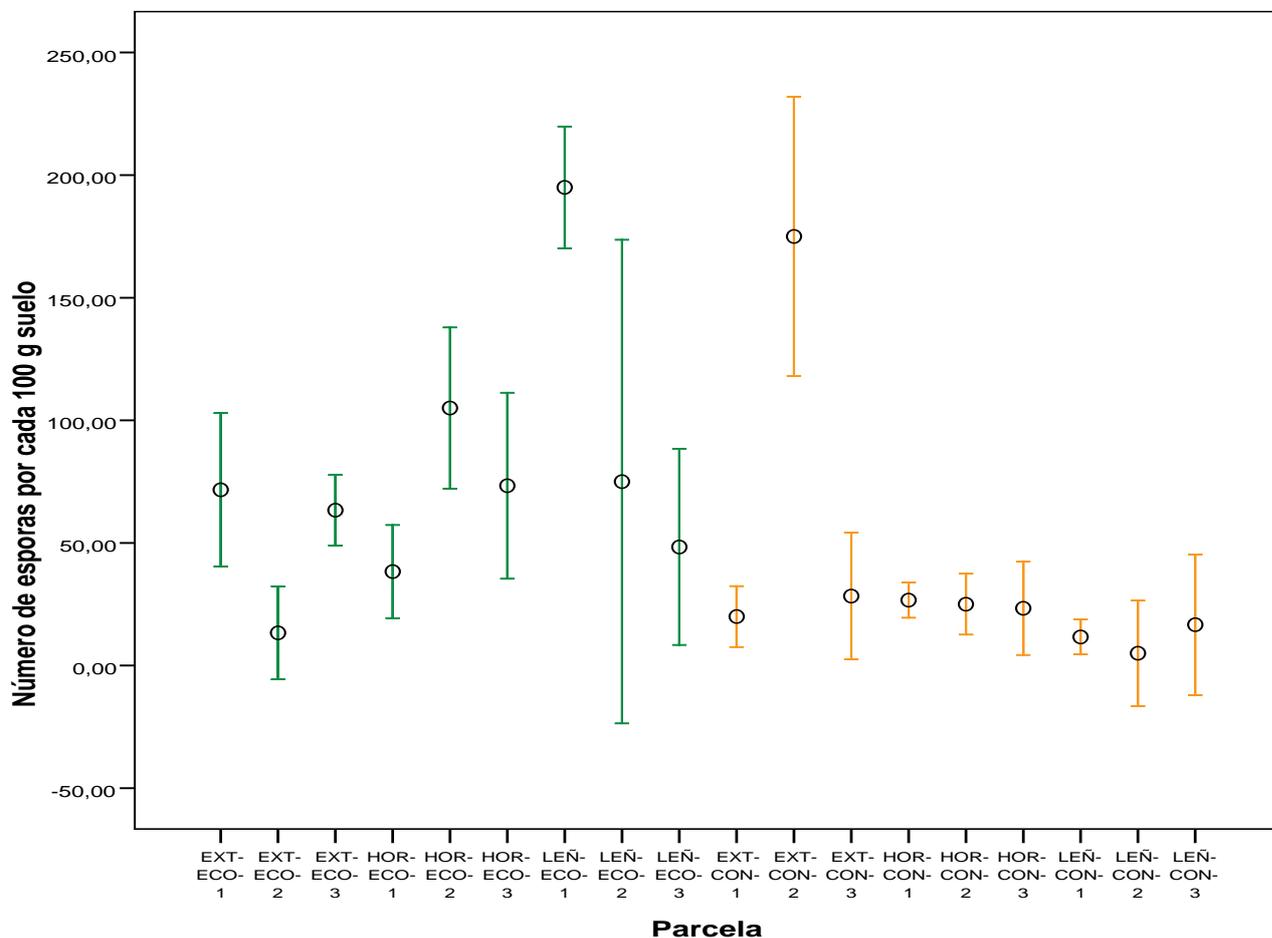
Yolageldi, L., y Turhan, G. (2005). *Effect of biological seed treatment with *Cylindrocarpon olidum* var. *olidum* on control of common bunt (*Tilletia laevis*) of wheat*. PHYTOPARASITICA, 33(4), 327–333.

7. Anejos

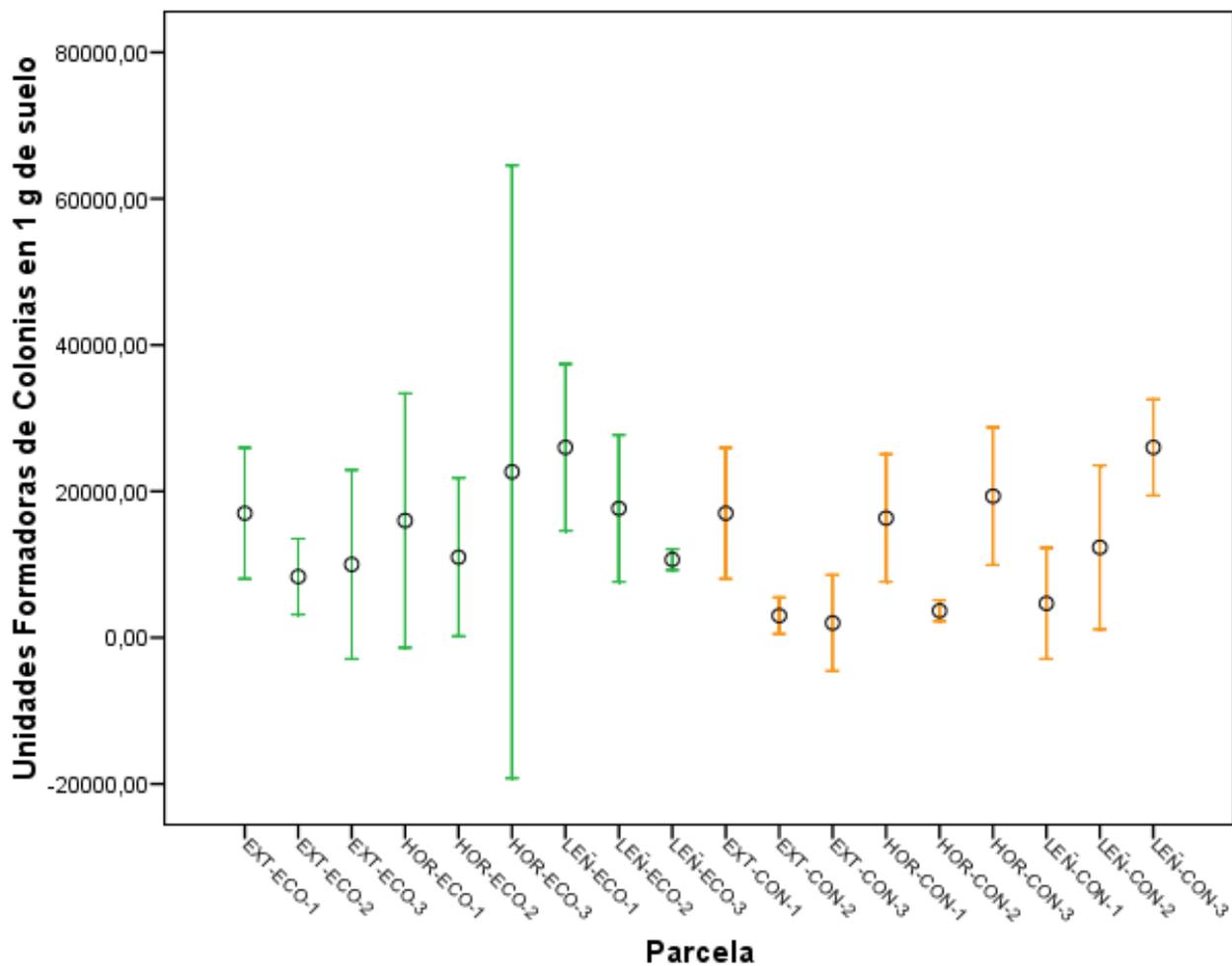
Anejo I. Características de las explotaciones agrícolas objeto de estudio: nombre de la explotación, manejo (ecológico/convencional), tipo de cultivo, rotaciones, insumos, riegos y laboreo.

Nº	EXPLORACIÓN	Manejo	Cultivo	Rotaciones	Insumos	Riegos	Laboreo
1	EXT-ECO-1	Ecológico	Cereal	Cereal/leguminosa	orgánico		sí
2	EXT-ECO-2	Ecológico	Cereal	Cereal/leguminosa	orgánico		sí
3	EXT-ECO-3	Ecológico	Cereal	Cereal/leguminosa	orgánico		sí
4	EXT-CON-1	Convencional	Cereal	Cereal/leguminosa	inorgánico		sí
5	EXT-CON-2	Convencional	Cereal	Cereal/leguminosa	orgánico		No
6	EXT-CON-3	Convencional	Cereal	Cereal/leguminosa	inorgánico		sí
7	HOR-ECO-1	Ecológico	Hortícola	-	orgánico		sí
8	HOR-ECO-2	Ecológico	Hortícola	-	orgánico		sí
9	HOR-ECO-3	Ecológico	Hortícola	-	orgánico		sí
10	HORT-CON-1	Convencional	Hortícola	-	inorgánico		sí
11	HOR-CON-2	Convencional	Hortícola	-	inorgánico		sí
12	HOR-CON-3	Convencional	Hortícola	-	inorgánico		sí
13	LÑ-ECO-1	Ecológico	Leñoso	-	orgánico	-	sí
14	LÑ-ECO-2	Ecológico	Leñoso	-	orgánico	-	sí
15	LÑ-ECO-3	Ecológico	Leñoso	-	orgánico	-	sí
16	LÑ-CON-1	Convencional	Leñoso	-	inorgánico	-	sí
17	LÑ-CON-2	Convencional	Leñoso	-	inorgánico	Si	sí
18	LÑ-CON-3	Convencional	Leñoso	-	inorgánico	-	sí

ANEJO II. Gráfico de barras de error con el número medio de esporas por parcela e intervalo de confianza al 95%. Orden según tipo de manejo: ecológico (izquierda) y convencional (derecha)



ANEJO III. Gráfico de barras de error con el número medio de U.F.C. por parcela e intervalo de confianza para la media al 95%. Orden según tipo de manejo: ecológico (izquierda) y convencional (derecha).



ANEJO IV. Descripción y resultados de los análisis físico-químicos y biológicos de las parcelas objeto de estudio.

Nº explotación	Cultivo	Nº medio esporas/ 100g suelo	Nº prop. mic. /100 cm ³	UFC /100 g suelo	pH	Materia orgánica (%)	N nítrico (mg/kg)	Fósforo Olsen (mg/kg)	Potasio	Textura
EXT-ECO-1	Cereal/leguminosa	72	4,50	1700000	8,10	1,56	12,00	4,20	186,00	Franca
EXT-ECO-2	Cereal/leguminosa	13	0,00	833333	8,30	1,35	10,20	26,00	283,00	Arcillo-limosa
EXT-ECO-3	Cereal/leguminosa	63	19,00	1000000	8,60	1,88	1,50	9,00	105,00	Franco-arcillo-limosa
EXT-CON-4	Cereal/leguminosa	20	0,73	433333	8,30	0,98	10,30	4,10	103,00	Franco-arcillosa
EXT-CON-5	Cereal/leguminosa	175	7,50	300000	8,40	1,11	10,50	15,90	276,00	Franca
EXT-CON-6	Cereal/leguminosa	28	0,73	200000	8,60	2,84	15,10	14,90	496,00	Arcillo-limosa
HOR-ECO-7	Hortícola	38	7,50	1600000	7,95	1,37	28,00	30,00	228,00	Franca
HOR-ECO-8	Hortícola	105	7,50	1100000	8,30	1,33	13,50	17,40	181,00	Franco-arcillo-limosa
HOR-ECO-9	Hortícola	73	4,50	1622222	8,20	2,83	40,00	82,00	513,00	Franco-arcillosa
HOR-CON-10	Hortícola	27	1,90	1633333	8,50	2,21	21,10	61,00	316,00	Franco-arcillosa
HOR-CON-11	Hortícola	25	0,00	366667	8,00	4,64	85,00	104,00	403,00	Franca
HOR-CON-12	Hortícola	23	0,73	1933333	8,40	3,29	34,00	111,00	398,00	Franco-arenosa
LEÑ-ECO-13	Almendro	195	19,00	2600000	7,80	6,80	48,00	105,00	497,00	Franco-arcillosa
LEÑ-ECO-14	Almendro	75	28,83	1766667	8,30	3,63	13,30	12,60	275,00	Franca
LEÑ-ECO-15	Almendro	48	12,33	1066667	8,40	3,49	7,80	7,90	352,00	Franca
LEÑ-CON-16	Almendro	12	1,90	2600000	8,40	0,74	2,90	8,60	162,00	Franco-arenosa
LEÑ-CON-17	Almendro	5	0,00	466667	8,20	1,48	4,20	32,00	428,00	Franco-arcillo-arenosa
LEÑ-CON-18	Almendro	17	0,73	1233333	8,50	1,12	7,20	6,70	113,00	Franca

ANEJO V. Secuencias ITS de los aislados identificadas a través de la comparación con las depositadas en la base de datos del NBC (www.ncbi.nlm.nih.gov).

***Arthopyrenia* sp. (100 %)**

TCGGCCGCCACACGCGTTTATCACCTTGACTTTG
AGCACCTTTTCGTTTCTCGGCGGGTTCGCCCGCC
ATTGAGGACCCCCACAAACCTTTGTAATAGCAAT
ATTCGTCTGAAAAACAACCAATAATCAAACTTTCA
ACAATGGATCTCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAA
CGCAGCGAAATGCGATAAGTAGTGTGAATTGCAG
AATTCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATT
GCGCCCCTCGGTATTCGTTGGGGCATGCCTGTTG
GAGCGTCATTTAACCCCTCAAGCCTAGCTTGGTAT
TGGGTGCTTGTCCCGCTCTCGCGCGGGGACTCA
CCTCAAAGTCAATTGGCAGCCCGCATCTCGCCGGC
CGTGAGCGCAGCACAGACGCGCTCTTGGAACGA
CGGATCGGCTCTCCAAAAGCTTATTTCAACCACTG
ACCTCGGATCAGGTAGGGATACCCGCTGAACCTA
AGCATAT

***Leptosphaeria* sp. (100%)**

AGTCTATATCACTATAGCTGGCTCCTATTTGAAAC
CCTTGTCTTTTGCATACCCATGTTTCTCGGCGGG
CTTGCCCGCCGGTTGGACAACCTTAAAACCTTTTT
AATTTTCAATCAGCGTCTGAATAAACATAATAATTA
CAACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCTGGCATC
GATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGTAGTGT
GAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTGA
ACGCACATTGCGCCCCCTTGGTATTCATGGGGCA
TGCTGTTCGAGCGTCATTTGTACCCCTCAAGCTAT
GCTTGGTGTGGGTGTTTGTCTCTCTTTTGCAT
TGGACTCGCTTAAAGACATTGGCAGCCAGTGTAT
TGGTCTTGAAGCGCAGCACATTTTGCATTCTTGC
TGATAATCACTAGCGTCCAGTAAGCCTATTTTAAAC
ACTTTTGACCTCGGATCAGGTAGGGATACCCGCT
GAACTTAAGCATA

***Cladorrhinum samala* (100%)**

TGTGAACCTACCACTAACAGTTGCTTCGGCGGGT
GGGCGCCCCTCCCCAGGGAAGGGCGCCCCGCTA
GACCGCCCCGCGGAGGTACCCAAAACCTCTTGT
AACTAAAAGGCTCTCTGAGTACTGTACTTAAATA
AGTCAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCTG
GCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGT
AATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATC
TTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGTATTCTGGC
GGGCATGCCTGTTTCGAGCGTCATTTCAACCATCAA
GCCCCGGCGCTTGTGTTGGGGACCCGCGGCTGC

CGCGGGCCCTTAAAGACAGTGGCGGTCTCGCTG
CAGCACCGAGCGTAGTAGCTATACACCTCGCCCT
GGGAGCTGCGCGTGTGCGACCACGCCGTAAAACCC
CCCACCTCTCACAAGGTTGACCTCGGATCAGGTA
GGAATACCCGCTGAACTTAAGCATATCAATAAGCG
GAG

***Talaromyces* sp.(100%)**

CCTTCGTGAGCCCAACCTCCCACCCGTGTTTTAAA
CATACCCTGTTGCTTCGGCGGGCCACTGGGCTT
CGGTCCGGTCGCCGGGGGCTCTGTGCCCTCG
GGTCCGCGCCCGCCGATGCGCCTCATGAACCCCTG
ATGAATATGGGCTGTCTGAGTTATAAATGAAAATT
GTCAAACTTTCAACAATGGATCTCTTGGTTCCGG
CATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGTA
ATGTGAATTGCAGAATTCGTTGAATCATCGAATCT
TTGAACGCACATTGCGCCCCCTGGCATTCCGGGG
GGCATGCCTGTCCGAGCGTCATTTCTGCCCTCAA
GCACGGCTTGTGTGGGTGTGGTCCCCCTCCCT
GGCGGGGGGACCTGCCCGAAAGGCAGCGGGCGAG
GTGCGCTCCGGTCTCGAGCGTATGGGGCTTTGT
CACTCGCTCGGGAAGGACCTGCGCACGTCTGTCA
CAACTGTATTTTTACCACGGTTGACCTCGGATCA
GGTAGGAGTTACCCGCTGAACCTAAGCATATC

***Fusarium equiseti* (100%)**

GACATACCTATACGTTGCCTCGGCGGATCAGCCC
GCGCCCTGTAAAAGGGACGGCCCGCCCGAGGA
CCCTAAACTCTGTTTTAGTGAACCTCTGAGTAAA
ACAAACAAATAAATCAAACTTTCAACAACGGATCT
CTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCAAAAT
GCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAAT
CATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGT
ATTCTGGCGGGCATGCCTGTTTCGAGCGTCATTTCA
ACCCTCAAGCTCAGCTTGGTGTGGGACTCGCGG
TAACCCGCGTTCCCCAAATCGATTGGCGGTCACG
TCGAGCTTCATAGCGTAGTAATCATACACCTCGT
TACTGGTAATCGTCGCGGCCACGCCGTAAAACCC
CAACTTCTGAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAA
TACCCGCTGAACTTAAGCATATCAATAA

Aspergillus sp. (100%)

CCTCCCACCCGTGAATACCTGACCAACGTTGCTTC
GGCGGTGCGCCCCCGGGGTAGCCGCCGGA
GACCACATTGAACCTCTTGTCTTTAGTGTCTG
AGCTTGATAGCAAACCTATTAACCTTTCAACAATG
GATCTCTTGGTTCCGGCATCGATGAAGAACGCAG
CGAACTGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCA
GTGAATCATCGAGTCTTTGAACGCACATTGCGCCC
CCTGGCATTCCGGGGGGCATGCCTGTCCGAGCGT
CATTGCTGCCCTTCAAGCCCGGCTTGTGTGTTGG
GTCGTCTGCCCCCTGGGGGACGGGCCCGAAAG
GCAGCGGCGCACCCGCGTCCGGTCCGAGCGT
ATGGGGCTTTGTACCCGCTCGATTAGGGCCGGC
CGGGCGCCAGCCGGCGTCTCCAACCTTCTATTTT
ACCAGGTTGACCTCGGATCAGGTAGGGATACCCG
CTGAACCTAAGCAT

Fusarium solani (100%)

TACCTAAAACGTTGCTTCGGCGGGAACAGACGGC
CCTGTAACAACGGGCCGCCCCGCCAGAGACC
CCTAACTCTGTTTTATAATGTTTTCTGAGTAAAC
AAGCAAATAAATTAACCTTTCAACAACGGATCTCT
TGGCTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATG
CGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATC
ATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCCGCCAGTA
TTCTGGCGGGCATGCCTGTTCCGAGCGTCATTACA
ACCCTCAGGCCCCCGGGCCTGGCGTTGGGGATC
GGCGGAAGCCCCCTGTGGGCACACGCCGTCCTT
CAAATACAGTGGCGTCCCGCCGAGCTTCCATT
GCGTAGTAGCTAACACCTCGCAACTGGAGAGCGG
CGCGGCCATGCCGTAACACCCCAACTTCTGAAT
GTTGACCTCGAATCAGGTAGGAATACCCGCTGAA
CTTAAGCAT

Aspergillus niger (100%)

GTGTCTATTATACCCTGTTGCTTCGGCGGGCCCG
CCGCTTGTGCGCCGCCGGGGGGCGCCTTTGCC
CCCCGGGCCCGTGCCCGCCGAGACCCCAACAC
GAACACTGTCTGAAAGCGTGCAGTCTGAGTTGATT
GAATGCAATCAGTTAAAACCTTTCAACAATGGATCT
CTTGGTTCCGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAA
TGCGATAACTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAA
TCATCGAGTCTTTGAACGCACATTGCGCCCCCTG
GTATTCCGGGGGGCATGCCTGTCCGAGCGTCATT
GCTGCCCTCAAGCCCGGCTTGTGTGTTGGGTCGC
CGTCCCCCTCTCCGGGGGACGGGCCCGAAAGG
CAGCGGCGGCACCCGCTCCGATCCTCGAGCGTAT
GGGGCTTTGTACATGCTCTGTAGGATTGGCCGG
CGCCTGCCGACGTTTTCCAACCTTTTTTCCAGGT

TGACCTCGGATCAGGTAGGGATACCCGCTGAACT
TAAGCATATCAAT

Cylindrocarpon olidum

TACCTATGTTGCTTCGGCGGACCACCCCAACCCC
CTCGGGGCGAGGGGCCGCCAGAGGACCCAAAAC
CCAACCTGTTTTTCCGTAACGAAACCTATTCTGAGT
GGAATTATTAATAAATCAAACTTTCAACAACGGA
TCTCTTGGCTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCG
AAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGT
GAACCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCCG
CCAGTACTCTGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCT
ATTTCAACCCTCAAGCCCCGGGCTTGGTGTGG
GGATCGGCACAAGGCGGAGGCTCCCCGGGAGC
CCCCCGCCCGCCGTCCTCCCAATGCAGTGCGG
GTCACGCCGCGCCCCCGTGCCTAGTAGCAACA
CCTCGCACCGGAGCCCCGTCGTGCCACGCCGTA
AACCCCGACTTTTACAAGTTGACCTCGAATCAG
GTAGGACTACCCGCTGAACTTAAGCATA

Mortierella sp. 99%

ACTTTCAAAATCCATATCCACCTTGTGTGCAATGTC
ATCTACTGGAGATCACGGCTGTAAAAATCCGTTG
GTCGCCTTTGGGATTTATATCTACTCAGAACTTTA
GTGATTTTGTCTGAAACATATTATGAATAACTTAAT
TCAAAATACAACCTTTCAACAACGGATCTCTTGGCT
CTCGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATA
CGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGA
ATCTTTGAACGCATATTGCGCTCTCTGGTATTCCG
GAGAGCATGCTTGTGTTGAGTATCAGTAAACACCTC
AACTCCCTTTTCTTTTTGAAATGGGAGCTGGACTT
GAGTGATCCCAACGCTTTTCTCACCGGAAAGTGG
CGGGTACTTGAAATGCAGGTGCAGCTGGACTTTT
CTCTGAGCTATAAGCATATCTATTTAGTCTGCCTAA
AAACAGATTATTACCTTTGCTGCAGCTAACATAAA
GGAGATTAGTTCTTGTGCTGACTGATGCAGGATTC
ACAGAGACAGCTTCGGCTGACTTTGTAACCTCGAT
CTCAAATCAAGTAAGACTACCCGCTGAACTTAAGC
ATA

Pythium heterothallicum (99%)

GTGAACTGTCAACCTGTTCTGTGCTTGTGCTGGGT
CTGCGTTTTTCGGACGCGGACGCGGGCGGAGGCTG
AACGAAGGCTGGTTTCATTTGTGTGAGATCCCCTG
AGATATTTTTTCCAACCCCTTTTTTACAAAATGACT
GATCAATACTGTGAGAACGAAAGTCTTGTCTTTAA
ACTAGATAACAACCTTTCAGCAGTGGATGTCTAGGC
TCGCACATCGATGAAGAACGCTGCCAACTGCGAT
ACGTAATGCGAATTGCAGAATTCAGTGAGTCATCG

AAATTTTGAACGCATATTGCACTTTCCGGTTAGAC
CTGGAAGTATGTCTGTATCAGTGTCCGTACATCAA
ACTTGCCTCTCTTTTTTCTGTGTAGTCAGGATTGG
AGACGTGCAGATGTGAAGTGTCTCGCGCACTTGC
GTCTTCGGACGACAAGCTGTGAGTCCTTTTAAAG
CGACACGATCTTTCTATTGGTTCTGTGAAGCGTAT
TGCTCGAACGCGGTGATTTTCGGATCGCTCGCAG
TCGTGCGCGACTTCCGGTGAGAACATAAAGGAGGA
AACCTCAATTCCCGGTATGTT

***Cladosporium sphaerospermum* (100%)**

CATAACCCTTTGTTGTCCGACTCTGTTGCCTCCGG
GGCGACCCTGCCTTTTACGGGCGGGGGCCCCG
GGTGACACATCAAACTCTTGCCTAACTTTGCAG
TCTGAGTAAATTTAATTAATAAATTAATAACTTTCAAC
AACGGATCTCTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACG
CAGCGAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAAT
TCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCC
CCCCCTGGTATCCGGGGGGCATGCCTGTTCCGAG
CGTCATTTCACTCAAGCCTCGCTTGGTATTGG
GCGACGCGGTCCGCCGCGCCTCAAATCGACC
GGCTGGGTCTTCTGTCCCTCAGCGTTGTGAAA
CTATTCGCTAAAGGGTCCACGGGAGGCCACGCC
GAAAAACAAACCCATTTCTAAGGTTGACCTCGGAT
CAGGTAGGGATACCCGCTGAACTTA

***Stachybotrys chartarum* (100%)**

ACCTATCGTTGCTTCGGCGGGAACGCCCCGGCGC
CCTGCGCCCGGATCCAGGCGCCCGCCGGAGACC
CCAAACTCTTGTTTTTTTTTTCAGTATTCTCTGAGT
GCAAACGCAAAAATAAATCAAACTTTTAAACAACG
GATCTCTTGGCTCTGGCATCGATGAAGAACGCAG
CGAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCA
GTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCC
GTTAGCATTCTAGCGGGCATGCCTGTCCGAGCGT
CATTTCAACCCTCAGGGTCCCCGTTCCGGCGGGG
AACCTGGTGTGGGGATCGGCCCGCCCGTGCG
GCGCCGTCCCCAAATTCAGTGGCGGTCTCGCTG
CAGCCTCCCCTGCGTAGTAGTTACAACCTCGCATC
GGAGCTCAGCGCGGCCACGCCGTAACCCCGG
ACTTTCTGAACGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAAT
ACCCGCTGAACTTAAGCATATCA

***Botryotrichum piluliferum* (99%)**

CGTTACCTTCAAACCGTTGCTTCGGCGGGCGGGC
CCGGGTCCGCCCGGTGCCCCCTGGCCCCCTAGC
GGGGCGCCCGCCGAGGAAACCCAACCTTTGATA
CATTATGGCCTCTCTGAGTCTTCTGACTGAATAA
GTCAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCTGG

CATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGTA
ATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCT
TTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGTATTCTGGCG
GGCATGCCTGTTGAGCGTCATTCAACCATCAAG
CCCCAGGCTTGTGTTGGGGACCTGCGGCTGCCG
CAGGCCCTGAAAACAGTGGCGGGCTCGCTGTCA
CACCGGGCGTAGTAGATTTTATCTCGCTCAGGGC
GTGCTGCGGGTCCGGCCGTTAAAAGCCTTTTTTA
CCCAAGGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCC
GCTGAACTT

***Mortierella sp.* (99%)**

CCATATCCACCTTGTGTGCAATGTCAGTGCATCTT
CTTTATGGAGATCGGCCAAACATCAACCATATCTT
TTAACTCTTTGTCTGAAAAATATTATGAATAACAA
TTCAAATAACAACCTTCAACAACGGATCTCTTGGCT
CTCGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATA
CGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGA
ATCTTTGAACGCATATTGCGCTCTTTGGTATTCCG
AAGAGCATGCTTGTGTTGAGTATCAGTAAACACCTC
AAAGCTTTTGATTTTTTTTTGAAAGCTTTGGACTTG
AGCAATCCCAACACCAGTCTTTTTTAGATCGGAGG
CGGGTTGCTTGAAATGCAGGTGCAGCTGGACATT
CTCCTGAGCTAAAAGCATATTCAATTTAGTCCCCTC
AAACGGATTATTACTTTTGTGCTGCAGCTAACATAAA
GGGAGTTTGACCGTATTGGCTGACTGATGCAGGA
TTTCACAGGGGTCCGCAACGACGCTTGTAAACTC
GATCTCAAATCAAGTAAGACTACCCGCTGAACTTA
AGCATATC

***Fusarium equiseti* (99%)**

ACATACCTATACGTTGCCTCGGCCGATCAGCCCC
CGCCCCGTAAAAAGGACGGCCCGCCCGAGGAC
CCCTAAACTCTGTTTTTGTAGTGAACCTTCTGAGTAA
ACAAACAAATACAAATAAATCAAACTTTCAACAAC
GGATCTCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCA
GCAAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTC
AGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCC
CGCCAGTATTCTGGCGGGCATGCCTGTTCCGAGCG
TCATTTCAACCCTCAAGCTCAGCTTGGTGTGGGA
CTCGCGGTAAACCGGTTCCCCAAATCGATTGGC
GGTCACGTCGAGCTTCCATAGCGTAGTAATCATAC
ACCTCGTTACTGGTAATCGTCGCGGCCACGCCGT
AAAACCCCAACTTCTGAATGTTGACCTCGGATCAG
GTAGGAATACCCGCTGAACTTAAGCATATC

***Mortierella alpina* (100%)**

TCCATATCCACCTTGTGTGCAATGTCATCTCACTG
GAGGTCAGCGGCTGTAAAAAGCCGTTTGGTCACT
TTTGGGATTTATATCTACTCAGAACCTTAGTGATTT
TGTCTGAAAAATATTATGAATAACTTAATTCAAAAT
ACAACTTCAACAACGGATCTCTTGGCTCTCGCAT
CGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATACGTAATG
TGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTG
AACGCATATTGCGCTCTCTGGTATTCCGGAGAGCA
TGCTTGTGAGTATCAGTAAACACCTCAACTCCC
TTTTCTTTTTGAAATGGGAGCTGGACTTGAGTGA
TCCCAACACTTTTCTTACTGGAAAGTGGCGGGTC
ACTTGAAATGCAGGTGCAGCTGGACTTTTCTCTGA
GCTATAAGCATATCTATTTAGTCTGCCTAAAAACA
GATTATTACCTTTGCTGCAGCTAACATAAAGGAGA
TGAGTTCTGTGCTGACTGATGCAGGATTCACAGA
GACAGCTTCGCGGCTGACTTTGTAACTCGATCTC
AAATCAAGTAAGACTACCCGCTGAACTTAAGCATA
TCAA

***Penicillium* sp. (100%)**

GTTTATTTTACCTTGTGCTTCGGCGGGCCCGCCT
AAACTGGCCGCCGGGGGCTCACGCCCCGGGC
CCGCGCCCGCCGAAGACACCCTCGAACTCTGTCT
GAAGATTGTAGTCTGAGTGAATAATAAATTATTTA
AAACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCCGGCATC
GATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATACGTAATGT
GAATTGCAAATTCAGTGAATCATCGAGTCTTTGAA
CGCACATTGCGCCCCCTGGTATTCCGGGGGGCAT
GCCTGTCCGAGCGTCATTACTGCCCTCAAGCCCG
GCTTGTGTGTTGGCCCCGCTCCTCCGATCCCGGG
GGACGGGCCCGAAAGGCAGCGGGCGCACCCGCT
CCGGTCTCGAGCGTATGGGGCTTTGTCACCCGC
TCTGTAGGCCCGGCCGGCGCTTGCCGATCAACCC
CAATTTTTATAGTTGACCTCGGATCAGGTAGGGA
TACCCGCTGAACTTAAGCATATC

***Fusarium solani* (100%)**

CATACCTAAAACGTTGCTTCGGCGGGAACAGACG
GCCCTGTAACAACGGGCCGCCCGCCAGAGGA
CCCCTAACTCTGTTTTATAATGTTTTCTGAGTAA
ACAAGCAAATAAATAAACTTTCAACAACGGATCT
CTTGGCTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAA
TGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTAA
TCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAG
TATTCTGGCGGGCATGCCTGTTTCGAGCGTCATTAC
AACCTCAGCCCCCGGGCCTGGCGTTGGGGAT
CGGCGGAAGCCCCCTGTGGGCACACGCCGTCCTC
TCAAATACAGTGGCGGTCCCGCCGACGCTTCCAT

TGCGTAGTAGCTAACACCTCGCAACTGGAGAGCG
GCGCGGCCATGCCGTAACACCCAACTTCTGAA
TGTTGACCTCGAATCAGGTAGGAATACCCGCTGAA
CTTAAGCATATCAA

***Chaetomium* sp. (100%)**

ACGTTACCTAAACCGTTGCTTCGGCGGGCGGCC
CGGGGTTTACCCCCGGGCGCCCTGGGCCCA
CCGCGGGCGCCCGCGGAGGTCACCAAACCTCTT
GATAATTTATGGCCTCTCTGAGTCTTCTGACTGA
ATAAGTCAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTT
CTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATA
AGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGA
ATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGTATTCTG
GCGGGCATGCCTGTTTCGAGCGTCATTTCAACCAT
CAAGCCCCGGGCTTGTGTTGGGACCTGCGGCT
GCCGCAGGCCCTGAAAAGCAGTGGCGGGCTCGC
TGTCACACCGAGCGTAGTAGCATACATCTCGCTCT
GGGCGTGTGCGGGTCCGCGCTTAAACCACCT
TTTAACCCAAGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAA
GACCCGCTGAACTTAAGCATATCAA

***Leptosphaeria* sp. (100%)**

TTGCTGCACCCTTGTCTTTTGGCGACCGAATTGTT
TCCTCGGCGGGCTTGCTGCGGTTGGACATTAT
CAAAACCTTTTTGTAGTTGCAATCAGCGTCAGAAA
AATCATAATTATTACAACCTTCAACAACGGATCTCT
TGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATG
CGAAAAGTAGTGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATC
ATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCTTGGTA
TTCCATGGGGCATGCCTGTTTCGAGCGTCATTTTGT
ACCCTCAAGCACTGCTTGGTGTGGCGTTTGTCT
CTGCAGAGGACTCGCTGAAAGCGATTGGCGGCC
AACGTAGTCGTGGCAGAGCGCAGCACAATCTCGC
GTCTCTCCCTCTGCGTGGCGTCCATGAAGCCC
ACAATCTCAACGTTTACCTCGGATCAGGTAGGGA
TACCCGCTGAACTTAAGCATATCAATA

***Trichoderma gamsii* (99%)**

GTAACCTCAACCAATGTGAACCAACCAAACCTGTT
GCCTCGGCGGGGTACGCCCGGGTGCCTCGCA
GCCCGGAACCAGGCGCCCGCGGAGGGACCAA
CCAAACTCTTTTCTGTAGTCCCTCGCGGACGTTA
TTTCTTACAGCTCTGAGCAAAAATTCAAAATGAATC
AAAACCTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCTGGCAT
CGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGTAATG
TGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTG
AACGCACATTGCGCCCGCCAGTATTCTGGCGGGC
ATGCCTGTCCGAGCGTCATTTCAACCCTCGAACCC

CTCCGGGGGGTTCGGCGTTGGGGATCGGGAACCC
CTAAGACGGGATCCCGGCCCGAAATACAGTGCC
GGTCTCGCCGAGCCTCTCTGCGCAGTAGTTTG
CACAACCTCGCACCGGGAGCGCGCGCTCCACG
TCCGTA AACACCCAACTTCTGAAATGTTGACCTC
GGATCAGGTAGGAATACCCGCTGAACTTAAGCATA

Aspergillus sp. (99%)

TCCCACCCGTGACTATTGTACCTTGTTGCTTCGGC
GGGCCCGCCAGCGTTGCTGGCCGCGGGGGGC
GTTTCGCCCGGGCCCGTGCCTCCGGAGACC
CCAACATGAACCTGTTCTGAAAGCTTGCACTCTG
AGTGTGATTCTTTGCAATCAGTAAAACCTTCAACA
ATGGATCTCTGGTTCCGGCATCGATGAAGAACG
CAGCGAAATGCGATAACTAATGTGAATTGCAGAAT
TCAGTGAATCATCGAGTCTTTGAACGCACATTGCC
CCCCCTGGTATCCGGGGGGCATGCCTGTCCGAG
CGTCATTGCTGCCCTCAAGCCCGCTTGTGTGTT
GGGCCCTCGTCCCCCGCTCCCGGGGGACGGGC
CCGAAAGGCAGCGGCGGCACCGCTCCGGTCTC
CGAGCGTATGGGGCTTCGTCTCCGCTCTGTAGG
CCCGGCCGGCGCCCGGACGCAATTTTGTGCA
ACTTGTTTTTCCAGTTGACCTCGGATCAGGTA
GGGATACCCGCTGAACTTAAGCATATCAATAAG

Aspergillus ustus (100%)

AACCTCCCACCCGTGAATACCTGACCAACGTTGCT
TCGGCGGTGCGCCCTCCGGGGTAGCCGCCGG
AGACCACATTGAACCTCTTGTCTTTAGTGTGTCT
GAGCTTGATAGCAAACCTATTAACCTTTCAACAAT
GGATCTCTTGGTTCCGGCATCGATGAAGAACGCA
GCGAACTGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTC
AGTGAATCATCGAGTCTTTGAACGCACATTGCC
CCCTGGCATTCCGGGGGGCATGCCTGTCCGAGC
GTCATTGCTGCCCTTCAAGCCCGCTTGTGTGTTG
GGTGTGCTGCCCTCCGGGGACGGGCCCGAAA
GGCAGCGGCGGCACCGCTCCGGTCTCGAGCG
TATGGGGCTTTGTACCCGCTCGATTAGGGCCGG
CCGGGCGCCAGCCGGCGTCTCCAACCTTTTATTT
TACCAGTTGACCTCGGATCAGGTAGGGATACCC
GCTGAACTTAAGCATATCAATAA

Rhizopus oryzae (100%)

CTGGGGTAAGTGATTGCTTCTACACTGTGAAAATT
TGGCTGAGAGACTCAGACTGGTCATGGGTAGACC
TATCTGGGGTTTGATCGATGCCACTCCTGGTTTCA
GGAGCACCTTCATAATAAACCTAGAAATTCAGTA
TTATAAAGTTTAATAAAAAACAACCTTTTAACAATGG
ATCTCTTGGTTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCA

AAGTGCGATAACTAGTGTGAATTGCATATTCAGTG
AATCATCGAGTCTTTGAACGCAGCTTGCACCTCTAT
GGTTTTTCTATAGAGTACGCTGCTTCAAGTATCAT
CACAAACCCACACATAACATTTGTTTATGTGGTGA
TGGGTGCGCATCGCTGTTTTATTACAGTGAGCACCT
AAAATGTGTGTGATTTTCTGTCTGGCTTGTAGGC
AGGAATATTACGCTGGTCTCAGGATCTTTTTTTTTT
GTTCCGCCAGGAAGTAAAGTACAAGAGTATAATCC
AGTAACTTTCAAATATGATCTGAAGTCAGGTGGG
ATTACCCGCTGAACTTAAGCATAT

Albifimbria verrucaria (100%)

TGACCTTACCATATTGTTGCTTCGGCGGGACCGC
CCCGGCGCCTTCGGGCCCGGAACCAGGCGCCCG
CCGGAGGCCCAAACCTTTATGTCTTTAGTGGTTT
TCTCCTCTGAGTGACACATAAACAATAAATAAAAA
CTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCTGGCATCGAT
GAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGTAATGTGAAT
TGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGC
ACATTGCGCCCGCCAGTATTCTGGCGGGCATGCC
TGTTGAGCGTCATTTCAACCCTCAGGCCCCAGT
GCCTGGTGTGGGGATCGGCCAGCCTTCTCGCA
AGGCCCGCGCCCGCAAATCTAGTGGCGGTCTC
GCTGTAGTCTCCTCTGCGTAGTAGACAACCTC
GCAGTTGGAACGCGGCGGTGGCCATGCCGTTAAA
CACCCCACTTCTGAAAGTTGACCTCGGATCAGGTA
GGAATACCCGCTGAACTTAAGCATATCA

Aspergillus ustus (100%)

ACCTCCCACCCGTGAATACCTGACCAACGTTGCTT
CGGCGGTGCGCCCCCGGGGGTAGCCGCCGGA
GACCACACCGAACCTCCTGTCTTTAGTGTGTCTG
AGCTTGATAGCAAACCTATTAACCTTTCAACAATG
GATCTCTTGGTTCCGGCATCGATGAAGAACGCAG
CGAACTGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTC
GTGAATCATCGAGTCTTTGAACGCACATTGCCGCC
CCTGGCATTCCGGGGGGCATGCCTGTCCGAGCGT
CATTGCTGCCCTTCAAGCCCGGCTTGTGTGTTGG
GTGCTGCTCCCCCGGGGGACGGGCCCGAAAAG
GCAGCGGCGGCACCGCGTCCGGTCTCGAGCGT
ATGGGGCTTTGTACCCGCTCGATTAGGGCCGGC
CGGGCGCCAGCCGGCGTCTCCAACCTTCTATTTT
ACCAGTTGACCTCGGATCAGGTAGGGATACCCG
CTGAACTTAAGCATATC

***Myxotrichaceae* sp. (99%)**

GATCTCCCACCCTGTGTTATCACTACCGCGTTGCT
TTGGCGGGCCGCGAGGCTCGACCTCCCCTGGC
CCCGGCCGGTGCCTGCCGCCAGAGAACCCCGG
ATCCTGACTGTGAGTGTCTGAGTACTATACAA
TAGTAAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCTG
GCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGT
AATGCGAATTGCAGAATTCAGTGAGTCATCGAATC
TTTGAACGCACATTGCGCCCTGTGGTATTCCGCGAG
GGCATGCCTGTTGAGCGTCATTTCAACCCTCAAG
CCTCGCTTGGTGTGGGCCCTGCCGCTGCGGCC
GGCCCCAAAGTCAGTGCGGCGACCGTCTGGTCT
AAGCGTAGTAATGCTCTCGCTCTAGGCCCGGCG
GCCGTACGCCAGAACCCCAACTTCTATGGTTGAC
CTCGGATCAGGTAGGGATACCCGCTGAACTTAAG
CATATCAAT

***Fusarium oxysporum* (100%)**

TACCACTTGTGCTCGGCGGATCAGCCCGCTCC
CGGTAAAACGGGACGGCCCGCCAGAGGCCCT
AAACTCTGTTTCTATATGTAACCTCTGAGTAAAACC
ATAAATAAATCAAAACTTTCAACAACGGATCTCTTG
GTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCAAAATGCG
ATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCAT
CGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGTATT
CTGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCATTTCAAC
CCTCAAGCACAGCTTGGTGTGGGACTCGCGTTA
ATTGCGTTCTCAAATTGATTGGCGGTACAGTGC
AGCTTCCATAGCGTAGTAGTAAAACCTCGTACT
GGTAATCGTCGCGGCCACGCCGTTAAACCCCAAC
TTCTGAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACC
CGCTGAACTTAAGCATAT

***Chaetomium globosum* (100%)**

AACGTTACCTAAACCGTTGCTTCGGCGGGCGGCC
CCGGGGTTTACCCCGCGGGCGCCCTGGGCCCG
ACCGCGGGCGCCCGCGGAGGTCACCAAACCTCT
GATAATTTATGGCCTCTCTGAGTCTTCTGTAAGT
ATAAGTCAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTT
CTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATA
AGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGA
ATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGTATTCTG
GCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCATTTCAACCAT
CAAGCCCCCGCTTGTGTTGGGGACCTGCGGCTG
CCGCAGGCCCTGAAAAGCAGTGCGGGGCTCGCT
GTCACACCGAGCGTAGTAGCATACTCTCGCTCT
GGGCGTGCTGCGGGTCCGGCCGTTAAACCACT
TTTAACCAAGGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAA
GACCCGCTGAACTTAAGCATATCAAT

***Beauveria bassiana* (100%)**

ATGTGAACCTACCTATCGTTGCTTCGGCGGACTCG
CCCCAGCCGGACGCGGACTGGACCAGCGGCCGC
CGGGGACCATCAAACCTTTGTATTATCAGCATCTT
CTGAATACGCCGCAAGGCAAAACAAATAAATTA
ACTTTCAACAACGGATCTCTTGGCTCTGGCATCGA
TGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGTAATGTGAA
TTGCGAATCCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACG
CACATTGCGCCCGCCAGCATTCTGGCGGGCATGC
CTGTTGAGCGTCATTTCAACCCTCGACCTCCCTT
TGGGAAGTCGGCGTTGGGGACCGGCAGCACAC
CGCCGGCCCTGAAATGGAGTGCGGCCCGTCCG
CGGCGACCTCTGCGTAGTAAACCAACTCGCACCG
GAACCCCGACGTGGCCACGCCGTAACACCCCAA
CTTCTGAACGTTGACCTCGAATCAGGTAGGACTAC
CCGCTGAACTTAAGCATATCAATA

***Fusarium oxysporum* (100%)**

GACATACCACTTGTGCTCGGCGGATCAGCCCG
CTCCCGGTAAAACGGGACGGCCCGCCAGAGGAC
CCCTAAACTCTGTTTCTATATGTAACCTCTGAGTAA
AACCATAAATAAATCAAAACTTTCAACAACGGATCT
CTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCAAAAT
GCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAAT
CATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGT
ATTCTGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCATTTCA
ACCCTCAAGCACAGCTTGGTGTGGGACTCGCGT
TAATTGCGTTCTCAAATTGATTGGCGGTACAGT
CGAGCTTCCATAGCGTAGTAGTAAAACCTCGTGA
CTGGTAATCGTCGCGGCCACGCCGTTAAACCCCA
ACTTCTGAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATA
CCCCTGAACTTAAGCATATCAATAAGC

***Trichoderma harzianum* (100%)**

ACCAAACCTGTTGCTCGGCGGGATCTCTGCCCGG
GGTGCCTCGCAGCCCGGACCAAGGCGCCCGCC
GGAGGACCAACCTAAAACCTTTTTGTATACCCCG
TCGCGGGTTTTTATAATCTGAGCCTTCTCGGCGC
CTCTCGTAGGCGTTTCAAAAATGAATCAAAACTTT
CAACAACGGATCTCTTGGTTCTGGCATCGATGAAG
AACGCAGCGAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCA
GAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACAT
TGCGCCCGCCAGTATTCTGGCGGGCATGCCTGTC
CGAGCGTCATTTCAACCCTCGAACCCCTCCGGGG
GGTCGGCGTTGGGGATCGGCCCTCCCTTAGCGG
GGGCCGTCTCCGAAATACAGTGCGGGTCTCGCCG
CAGCCTCTCTGCGCAGTAGTTTGCACACTCGCAT
CGGGAGCGCGGCGGCTCCACAGCCGTTAAACAC

CCAACCTTCTGAAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGG
AATACCCGCTGAACTTAAGCATATC

***Mortierella* sp. (100%)**

AAATCCATATCCACCTTGTGTGCAATGTCATCTCA
CTGGAAGGTCACGGCTGTAAAAATCCGGCGGCCA
ACCTTTGGGATTTATATCTACTCAGAACTTTAGTGA
TTTTGTCTGAAACATATTATGAATAACTTAATCAA
AATACAACTTTCAACAACGGATCTCTTGGCTCTCG
CATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATACGTA
ATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCT
TTGAACGCATATTGCGCTCTCTGGTATTCCGGAGA
GCATGCTTGTGAGTATCAGTAAACACCTCAACT
CCCTTTTCTTTTTGAAATTGGAGCTGGACTTGAGT
GATCCCAACGCTTTCTTCCAAGAAAGTGCGGGTT
GCTTGAAATGCAGGTGCAGCTGAACCTTTCTCTGA
GCTATAAGCATATCTATTTAGTCTGCCTAAAAACA
GATTATTACCTTGTCTGACGCTAACATAAAGGAGA
CTAGTTCTTGTCTGACTGATGCAGGATTCACAGA
GACAGCTTCGGCTGACTTTGTAACTCGATCTCAA
ATCAAGTAAGACTACCCGCTGAACTTAAGCA

***Fusarium brachygibbosum* (100%)**

TACCTTTATGTTGCCTCGGCGGATCAGCCCGCGC
CCCGTAAAACGGGACGGCCCGCCGCGCAGGAACCA
CAAACTCTGATTTAGTGAACCTTCTGAGTCTAAA
AAACAAATAAATCAAACTTTCAACAACGGATCTCT
TGTTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCAAAATG
CGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATC
ATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGTA
TTCTGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCATTTCAA
CCCTCAAGCCCCGGGTTTGGTGTGGGGATCGG
GCTGTACTCCAGCCCGCCCGAAATCTAGTGGC
GGTCTCGCTGCAGCCTCCATTGCGTAGTAGCTAA
CACCTCGAACTGGAACGCAGCGCGGCCAAGCC
GTTAAACCCCAACTTCTGAATGTTGACCTCGGAT
CAGGTAGGAATACCCGCTGAACTTAAGCATATCAA

***Trichoderma harzianum* (100%)**

GAACGTTACCAAACCTGTTGCCTCGGCGGGATCTC
TGCCCCGGGTGCGTCGAGCCCCGGACCAAGGC
GCCCCCGGAGGACCAACCAAACCTTTTTTGTAT
ACCCCTCGCGGGTTTTTATAATCTGAGCCTTCT
CGGCGCCTCTCGTAGGCGTTTCGAAAATGAATCA
AACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCTGGCATC
GATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGTAATGT
GAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTGA
ACGCACATTGCGCCCGCCAGTATTCTGGCGGGCA
TGCTGTCCGAGCGTCATTTCAACCCTCGAACCC

CTCCGGGGGGTTCGGCGTTGGGGATCGGCCCTGC
CTCTTGGCGGCGGCCGTCTCCGAAATACAGTGGC
GGTCTCGCCGAGCCTCTCTGCGCAGTAGTTTG
CACACTCGCATCGGGAGCGCGGGCGCTCCACAG
CCGTTAAACACCCAACCTTCTGAAATGTTGACCTCG
GATCAGGTAGGAATACCCGCTGAACTTAAGCATAT
C

***Fusarium oxysporum* (100%)**

GACCCCTAAACTCTGTTTCTATATGTAACCTTCTGAG
TAAACCATAAATAAATCAAACTTTCAACAACGGA
TCTCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCAA
AATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTG
AATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCC
AGTATTCTGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCAT
TTCAACCCTCAAGCACAGCTTGGTGTGGGACTC
GCGTTAATTGCGGTTCCCTCAAATTGATTGGCGGTC
ACGTCGAGCTTCCATAGCGTAGTAGTAAACCCTC
GTTACTGGTAATCGTCGCGGCCACGCCGTTAAAC
CCCAACTTCTGAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGG
AATACCCGCTGAACTTAAGCATATC

***Aspergillus europaeus* (100%)**

TCTATCGTACCTTGTGCTTCGGCGGGCCCGCCA
TTCGTGGCCGCGGGGGGCATTTTCGCCCCCGGG
CCCGCGCCCGCCGGAGACACCAACACGAACACT
GTCTGAAGTTGCAGTCTGAGTCGATTTATTTAAT
CGTTAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCCG
GCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAATTA
ATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAGTCT
TTGAACGCACATTGCGCCCCCTGGTATTCCGGGG
GGCATGCCTGTCCGAGCGTCATTGCTGCCCTCAA
GCACGGCTTGTGTGTTGGTTCGCCGTCCCTTCC
CGGGGGACGGGCCCGAAAGGCAGCGCGGCAC
CGCGTCCGGTCTCAGAGCTATGGGGCTTTGTCA
CCCCTCTGTAGCCCCGGCCGGCGCTGCCGAC
CACCAACCTTTTTTAAACCAGTTGACCTCGGATC
AGGTAGGGATACCCGCTGAACTTAAGCATATCAA

***Trichoderma harzianum* (99%)**

GACCAACCAAACCTTTTTTGTATACCCCTCGCG
GGTTTTTTATAATCTGAGCCTTCTCGGCGCCTCTC
GTAGGCGTTTTGAAAATGAATCAAACTTTCAACA
ACGGATCTCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACG
CAGCGAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAAT
TCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCG
CCCGCCAGTATTCTGGCGGGCATGCCTGTCCGAG
CGTCATTTCAACCCTCGAACCCCTCCGGGGGGTC
GGCGTTGGGGATCGGCCCTGCCTTGGCGGCG

GCCGTCTCCGAAATACAGTGGCGGTCTCGCCGCA
GCCTCTCCTGCGCAGTAGTTTGCACACTCGCATC
GGGAGCGCGGCGCGCCACAGCCGTTAAACACC
CAACTTCTGAAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGA
ATACCCGCTGAACTAAAGCATATC

Trichoderma Longibrachiatum (100%)

GAACGTTACCAATCTGTTGCCTCGGCGGGATTCTC
TTGCCCCGGGCGCGTGCAGCCCCGGATCCAC
GGCGCCCGCGGAGGACCAACTCCAAACTCTTTT
TTCTCTCCGTGCGGGCTCCCGTGCAGGCTCTGTT
TTATTTTTGCTCTGAGCCTTTCTCGGCGACCCTAG
CGGGCGTCTCGAAAATGAATCAAACTTTCAACAA
CGGATCTCTTGTTCTGGCATCGATGAAGAAGCG
AGCGAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATT
CAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGC
CCGCCAGTATTCTGGCGGGCATGCCTGTCCGAGC
GTCATTTCAACCCTCGAACCCTCCGGGGGGTGC
GCGTTGGGGATCGGCCCTCACCGGGCCGCCCC
CGAAATACAGTGGCGGTCTCGCCGACGCTCTCC
TGCGCAGTAGTTTGCACACTCGACCGGGAGCGC
GGCGCGGCCACAGCCGTA AACACCCCAA ACTTC
TGAAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCC
GCTGAACTTAAGC

Alternaria arborescens (100%)

ATTATCACCCCTGTCTTTTGCCTACTTCTTGTTTC
CTTGGTGGGTTGCCCCACCACTAGGACAAACATA
AACCTTTTGTAAATGCAATCAGCGTCAGTAACAAAT
TAATAATTACAACCTTTCAACAACGGATCTCTTGTT
CTGGCATCGATGAAGAAGCGCAGCGAAATGCGATA
AGTAGTGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGA
ATCTTTGAACGCACATTGCGCCCTTTGGTATTCCA
AAGGGCATGCCTGTTGAGCGTCATTTGTACCCTC
AAGCTTTGCTTGGTGTGGGCGTCTTGCTCTAGC
TTTGCTGGAGACTCGCCTTAAAGTAATTGGCAGCC
GGCCTACTGTTTTGAGAGCGCAGCACAAGTCGCA
CTCTCTATCAGCAAAGGTCTAGCATCCATTAAGCC
TTTTTTTTCAACTTTTACCTCGGATCAGGTAGGGA
TACCCGCTGAACTTAA

Trichoderma saturnisporum (100%)

CGTTACCAATCTGTTGCCTCGGCGGGATCTCTTG
CCCCGGGCGGTGCGAGCCCCGGATCCCATGGCG
CCCGCCGGAGGACCAACTCAA ACTCTTTTTTCTCT
CCGTGCGGGCTTCCGTGCGGGCTCTGTTTTATTT
TGCTCTGAGCCTTTCTCGGCGACCCTAGCGGGCG
TCTCGAAAATGAATCAAACTTTCAACAACGGATC
TCTTGTTCTGGCATCGATGAAGAAGCGCAGCGAA

ATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGA
ATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCCGCA
GTATTCTGGCGGGCATGCCTGTCCGAGCGTCATT
TCAACCCTCGAACCCCTCCGGGGGGTTCGGCGTTG
GGGATCGGCCCTCACCGGGCCGCCCCGAAAT
CCAGTGGCGGTCTCGCCGACGCTCTCCTGCGCA
GTAGTTTGCACACTCGACCGGGAGCGCGGGCGC
GGCCACAGCCGTA AACACCCCAA ACTCTGAAAT
GTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCCGCTGAA
C

Dichotomopilus variostiolatus (100%)

TGAACGTTACCTACATCGTTGCTTCGGCGGGTGG
CGGGCTTCGGCCCTGCCCTCGGCCCTCTCGGG
GGCCCCCGGAGGTACACCAA ACTCTTGAATTTA
CATGGCCTCTCTGAGTCTTCTGTACTGAATAAGTC
AAAACCTTTCAACAACGGATCTCTTGTTCTGGCAT
CGATGAAGAAGCGCAGCGAAATGCGATAAGTAATG
TGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTG
AACGCACATTGCGCCCGCCAGTATTCTGGCGGGC
ATGCCTGTCCGAGCGTCATTTCAACCATCAAGCCC
CCGGCTTGTGTTGGGGACCTGCGGCACACCCGCA
GGCCCTGAAAACAGTGGCGGGCTCGCTGTCCAC
ACCGAGCGTAGTAGCATATCTTTGTCTCGCTCAGG
GCGTGCGGCGGGTTCCGGCCGTGAAACCCACCTT
CTCGAAGGTACCAAAGGTTGACCTCGGATC

Trichoderma harzianum (100%)

AACGTTACCAA ACTGTTGCCTCGGCGGGATCTCT
GCCCGGGTGCCTGCGAGCCCCGGACCAAGGGC
CCCCCGGAGGACCAACCAA ACTCTTTTTGTATA
CCCCCTCGCGGGTTTTTTATAATCTGAGCCTTCTC
GGCGCCTCTCGTAGGCGTTTCGAAAATGAATCAAA
ACTTTCAACAACGGATCTCTTGTTCTGGCATCGA
TGAAGAAGCGCAGCGAAATGCGATAAGTAATGTAA
TTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACG
CACATTGCGCCCGCCAGTATTCTGGCGGGCATGC
CTGTCCGAGCGTCATTTCAACCCTCGAACCCTCC
GGGGGGTTCGGCGTTGGGGATCGGCCCTGCCTCT
TGGCGGGCGCGTCTCCGAAATACAGTGGCGGGT
TCGCCGACGCTCTCCTGCGCAGTAGTTTGCACA
CTCGCATCGGGAGCGCGGGCGCTCCACAGCCGT
TAAACACCAA ACTTCTGAAATGTTGACCTCGGATC
AGGTAGGAATACCCGCTGAACTTAA

Trichocladium sp. (100%)

ACCTTCAACGTTGCTTCGGCGGGTTGGCCCCGGT
CTCCGGGGTCCCCGGCCCTAACGGGCGCCCCGCC
GGAGGTACCTAACTCTTGA ACTTTTTATGGCCTCTC

TGAGTCTTTGACTTAATAAGTCAAACTTTCAACA
ACGGATCTCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACG
CAGCGAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAAT
TCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCG
CCCGCCAGTATTCTGGCGGGCATGCCTGTTTCGAG
CGTCATTTCAACCATCAAGCCCCGGCTTGTGTTG
GGGACCTGCGGCTGCCGCAGGCCCTGAAAACCA
GTGGCGGGCTCGCTAGTCACTCCGAGCGTAGTAA
TACATCTCGCTCAGGGCGTGTGCGGGTCCGGC
CGTTAAAAAGCCTTATTTACCCAAGGTTGACCTCG
GATCAGGTAGGAAGACCCGCTGAACTTAAGCA

***Clonostachys rosea* (100%)**

CATACCTACTGTTGCTTCGGCGGGATTGCCCCGG
GCGCCTCGTGTGCCCGGATCAGGCGCCCGCCT
AGGAACTTAATTCTTGTATTTTGAATCTTCT
GAGTAGTTTTTACAAATAAATAAACTTTCAACAA
CGGATCTCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGC
AGCGAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATT
CAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGC
CCGCCAGTATTCTGGCGGGCATGCCTGTCTGAGC
GTCATTTCAACCCTCATGCCCTAGGGCGTGGTG
TTGGGGATCGGCCAAAGCCCGCAGGGACGGCC
GGCCCTAAATCTAGTGGCGGACCCGTCGTGGCC
TCCTCTGCCAAGTAGTGATATTCCGCATCGGAGA
GCGACGAGCCCTGCCGTTAAACCCCAACTTTC
CAAGGTTGACCTCAGATCAGGTAGGAATACCCG

***Talaromyces sp.* (100%)**

TATACACCTGTTGCTTTGGCGGGCCACCGGGG
CACCTGGTCGCCGGGGACGCACGTCTCCGGG
CCGCGCCCGCGAAGCGCTCTGTGAACCCTGATG
AAGATGGGCTGTCTGAGTACTGTGAAAATTGTCAA
AACTTTCAACAATGGATCTCTTGGTTCCGGCATCG
ATGAAGAACGCAGCGAATGCGATAAGTAATGTGA
ATTGCAGAATTCCGTGAATCATCGAATCTTTGAAC
GCACATTGCGCCCCCTGGCATTCCGGGGGGCATG
CCTGTCCGAGCGTCAATTTCTGCCCTCAAGCACGG
CTTGTGTGTTGGTGTGGTCCCCCGGGGACCTG
CCGAAAGGCAGCGGCGACGTCCGTCTGGTCTC
GAGCGTATGGGGCTCTGTCACTCGCTCGGGAAG
ACCTGCGGGGGTTGGTCAACCATGTTTTACCA
CGGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAGTTACCCGCT
GAACTTAAG

***Hyphopichia burtonii* (100%)**

CACACAATAACCAACTTAATTATGTCAACAACAA
GCAAAAATCAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGG
TTCTCGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGA

TAAGTAATATGAATTGCAGATTTTCGTGAATCATCG
AATCTTTGAACGCACATTGCACCTTGTGGTATTCC
ACAAGGTATGCCTGTTTGAGCGTCATTTCTCCCTC
AACCCCGCGGGTTGGCGTTGAATGGCACGAGCT
CTTAGTCAGTCCATTGAAAAGTATTTTTCTTGTGT
TGTTATTTCTAATTTAGTAGTGACAACCACACTAA
AAACACATTTTCCTCAAATCAGGTAGGACTACCCG
CTGAACTTAAGCATATCA

***Mortierella sp.* (99%)**

CACCTTGTGTGCAATGTCAAGTTCGATCTTCTTTATG
GAGATCGGCCAAACATCAACCATATCTTTAACTC
TTTGTCTGAAAAATATTATGAATAAACAATTCAAAA
TACAACTTTCAACAACGGATCTCTTGGCTCTCGCA
TCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATACGTAAT
GTGAATTGCAGAATTGAGTGAATCATCGAATCTTT
GAACGCATATTGCGCTCTTTGGTATTCCGAAGAGC
ATGCTTGTGTTGAGTATCAGTAAACACCTCAAAGCT
TTTGATTTTTTTTGAAGCTTTGGACTTGAGCAATC
CCAACACCAGTCTTTTTTAGATCGGAGGCGGGTGT
CTTGAATGCAGGTGCAGCTGGACATTCTCCTGA
GCTAAAAGCATATTCATTTAGTCCCCTCAAACGGA
TTATTACTTTTGTGTCAGCTAACATAAAGGGAGTTT
GACCGTATTGGCTGACTGATGCAGGATTTACAG
GGGTCCGCAACGACGCTTGTAAACTCGATCTCA
AATCAAGTAAGACTACCCGCTGAACTTAAGCAT

***Trichoderma saturnisporum*; (100%)**

AACGTTACCAATCTGTTGCCTCGGCGGGATCTCTT
GCCCGGGCGCGTGCAGCCCCGGATCCCATGG
CGCCCGCCGGAGGACCAACTCAAACCTTTTTTTCT
CTCCGTCGCGGCTTCCGTCGCGGCTCTGTTTTATT
TTTGTCTGAGCCTTTCTCGGCGACCCTAGCGGG
CGTCTCGAAAATGAATCAAACCTTTCAACAACGGA
TCTCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCG
AAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTGAGT
GAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCCG
CAGTATTCTGGCGGGCATGCCTGTCCGAGCGTCA
TTTCAACCCTCGAACCCCTCCGGGGGGTTCGGCGT
TGGGGATCGGCCCTACCCGGGCCGCCCGGAA
ATCCAGTGGCGGTCTCGCCGCGAGCCTCTCCTGCG
CAGTAGTTTGCACACTCGCACCCGGGAGCGCGGGC
CGGCCACAGCCGTAACAAACCCCAACTCTGAAA
TGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCCGCTGA
AC

***Fusarium oxysporum* (100%)**

ATACCACTTGTTGCCTCGGCGGATCAGCCCGCTC
CCGGTAAAACGGGACGGCCCGCCAGAGGACCCC
TAAACTCTGTTTCTATATGTAACCTCTGAGTAAAC
CATAAATAAATCAAACTTTCAACAACGGATCTCTT
GGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCAAAATGC
GATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCA
TCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGTAT
TCTGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCATTTCAA
CCCTCAAGCACAGCTTGGTGTGGGACTCGCGTT
AATTCGCGTTCCTCAAATTGATTGGCGGTCACGTC
GAGCTTCCATAGCGTAGTAGTAAACCCCTCGTTAC
TGGTAATCGTCGCGGCCACGCCGTTAAACCCCAA
CTTCTGAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATAC
CCGCTGAACTTAAGCAT

***Fusarium oxysporum* (99%)**

ACCACTTGTTGCCTCGGCGGATCAGCCCGCTCCC
GGTAAAACGGGACGGCCCGCCAGAGACCCCTAAA
CTCTGTTTCTATATGTAACCTCTGAGTAAACCATA
AATAAATCAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGTT
CTGGCATCGATGAAGAACGCAGCAAAATGCGATA
AGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGA
ATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGTATTCTG
GCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCATTTCAACCCCT
CAAGCACAGCTTGGTGTGGGACTCGCGTTAATTC
GCGTTCTCAAATTGATTGGCGGTCACGTGAGC
TTCCATAGCGTAGTAGTAAACCCCTCGTTACTGGT
AATCGTCGCGGCCACGCCGTTAAACCCCAACTTC
TGAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCCG
CTGAACTTAAGCATAT

***Alternaria* sp. (99%)**

TACTTCTGTTTCTGGGTGGGCTCGCCCGCCCT
CAGGACCAACCACAAACCTTTTGCAATAGCAATCA
GCGTCAGTAACAACGTAATTAATTACAACTTTCAAC
AACGGATCTCTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACG
CAGCGAAATGCGATACGTAGTGTGAATTGCAGAAT
TCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCG
CCCTTTGTTATTCAAAGGGCATGCCTGTTGAGC
GTCATTTGTACCCTCAAGCTTTGCTTGGTGTGGG
CGTCTTTTGTCTCCAGTTGCTGGAGACTCGCCTT
AAAGTCATTGGCAGCCGGCCTACTGGTTTCGGAG
CGCAGCACAAGTCGCGCTCTTTGCCAGCCAAGGT
CAGCGTCCAGCAAGCCTTTTTTTCAACCTTTGACC
TCGGATCAGGTAGGGATACCCGCTGAACTTAAGC
ATATCAAT

***Chaetomium* sp. (100%)**

TGAACGTTACCTAAACCGTTGCTTCGGCGGGCGG
CCCCGGGTTTACCCCGGGCGCCCTGGGCC
CCACCGCGGGCGCCCGCGGAGGTCACCAAAC
CTTGATAATTTATGCCTCTCTGAGTCTTCTGTACT
GAATAAGTCAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGG
TTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGA
TAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATC
GAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCAGTATTC
TGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCATTTCAACC
ATCAAGCCCCGGGCTTGTGTTGGGGACTGCGGG
TGCCGCAGGCCCTGAAAAGCAGTGCGGGGCTCG
CTGTACACCGAGCGTAGTAGCATACTCGCTC
TGGGCGTGCTGCGGGTTCGGCCGTTAAACCACC
TTTTAACCCAAGGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAA
GACCCGCTGAACTTAAGCATATCAATAA

***Talaromyces wortmannii* 100%**

TACTGTTACCGGTTGCCTCGGCGGGCCACTGG
GGCCTGGCCCCGGTCGCCGGGGGGCTTCTGCC
CCGGGCCCGCGCCCGCCGAAGCACCCTAGAACC
CTGCCTGAATAGTGAAGTCTGAGTGAGAGATTAAT
CATTAAAACCTTTCAACAACGGATCTCTTGGTTCCG
GCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGT
AATGTGAATTGCAGAATTCCTGAAATCATCGAATC
TTTGAACGCACATTGCGCCCCCTGGCATTCCGGG
GGGCATGCCTGTCCGAGCGTCATTTCTGCCCTCC
AGCACGGCTGGGTGTTGGGCGCTGTCCCCCGG
GGACACGCCCAAAAGCAGTGCGGGCGCCGCGT
CGGGTCTCGAGCGTATGGGGCTTTGTACCCCGC
TCGGGAGGGACTCGGTGCGCGCTGGTCTTCCCTT
TAGGCAGCCCTTCGGGGTGTGCCTCTTCCGGTTG
ACCTCGGATCAGGTAGGGCTACCCGCTGAACT

***Trichoderma atroviride* 100%**

CCATACCAAACCTGTTGCCTCGGCGGGGTACGCC
CCGGGTGCGTCGAGCCCCGGAACCAGGCGCCC
GCCGGAGGGACCAACCAAACCTTTTCTGTAGTC
CCCTCGCGGACGTTATTTCTTACAGCTCTGAGCAA
AAATCAAAATGAATCAAACTTTCAACAACGGATC
TCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAA
ATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGA
ATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCCA
GTATTCTGGCGGGCATGCCTGTCCGAGCGTCATT
TCAACCCTCGAACCCCTCCGGGGGGTTCGGCGTTG
GGGACCTCGGGAGCCCTAAGACGGGATCCCGG
CCCCGAAATACAGTGGCGGTCTCGCCGAGCCTC
TCCTGCGCAGTAGTTTGCACAACCTGCACCCGGA
GCGCGGCGGTCCACGTCCGT

***Fusarium oxysporum* 99%**

ACTTGTTGCCTCGGCGGATCAGCCCCGCTCCCGGT
AAAACGTGACGGCCCGCCAGAGGACCCCTAAACT
CTGTTTCTATATGTAACCTCTGAGTAAAACATAAA
TAAATCAAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGTTCT
GGCATCGATGAAGAACGCAGCAAAATGCGATAAG
TAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAAT
CTTTGAACGCACATTGCGCCCCGCCAGTATTCTGG
CGGGCATGCCTGTTGAGCGTCATTTCAACCCTC
AAGCACAGCTTGGTGTGGGACTCGCGTTAATTC
GCGTTCTCAAATTGATTGGCGGTACGTCGAGC
TTCCATAGCGTAGTAGTAAAACCTCGTTACTGGT
AATCGGCGCGGCCACGCCGTTAAACCCCGACTTC
TGAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCCG
CTGAA

***Trichoderma harzianum* 100%**

AGCCTTCTCGGCGCCTCTCGTAGGCGTTTCGAAA
ATGAATCAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGTT
CTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATA
AGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGA
ATCTTTGAACGCACATTGCGCCCCGCCAGTATTCTG
GCGGGCATGCCTGTCCGAGCGTCATTTCAACCCT
CGAA

***Hypocreales* sp. 99%**

CATACCTAGACGTTGCTTCGGCGGTACCGCCCCG
GCGCCCTCGGGCCCGGAACCAGGCGCCCGCCGG
GGGACCAACCAACCCTTTTCAGTGAATCCCGGGC
GACCCCGGGCGGCATTATCTGAGTACAGCGAAAT
AAAAACGCATCAAACTTTCAACAACGGATCTCT
TGGTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATG
CGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATC
ATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCCGCCAGC
ATTCTGGCGGGCATGCCTGCCCGAGCGTCATTTTC
AACCTCGCACGCCCTCTGGGGGCGGCGGTGT
TGGGGACCGGCCGCCAGCGGCCGCCCCCGAAA
TGCAGTGGCGGTCCCGCCGGCGCCTCCCCCGCG
TAGTAGCACACCTCGCGGACCGGGAGCGACGA
CGGGCCCAACGCCGTAACCCCCCAACTGAAG
GCCTCCGGGCCGAAGAGTTTGACCTCGGATCAGG
TAGGAATACCCGCTGAACTTAAGCATATCAA

***Triangularia phialophoroides* 100%**

CCTGAACAGTTGCTTCGGCAGGCTGGCACCCCGC
CCCCGGGAGCCGCCAAAAAGCCTGCCGGAGG
TACCTAAACTCTTTGTTTACCACAGGCCTCTCTGA
GTATTGCACTTAAATAAGTCAAACTTTCAACAACG
GATCTCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAG
CGAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCA
GTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCC
GCCAGCATTCTGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGT
CATTCAACCATCAAGCCCCGGGCTTGTGTTGG
GGACCTGCGTCTGACCGCAGGCCCTGAAAACCG
TGGCGGGCTCGCTGTCCACACCGAGCGTAGTAAC
TAAACCTCGCTCCGGGAGTGCCGCGGGCGCCTG
CCGTTAAACCCCCACCACACCAAGGTTGACCT
CGGATCAGGTAGGAATACCCGCT