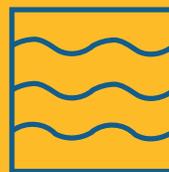
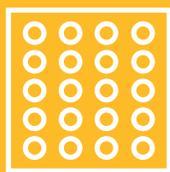
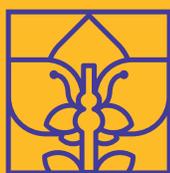


La salud del suelo.

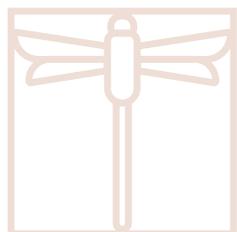
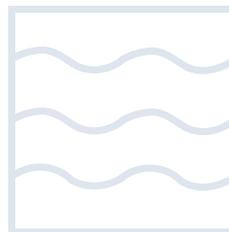
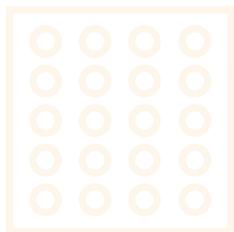
Los hongos micorrícicos como bioindicadores



Proyecto
Fincas Faro

Red de fincas
agroecológicas
de Canarias





Título: Los hongos micorrícicos, bioindicadores de salud del suelo

Autora: María del Carmen Jaizme-Vega

Instituto Canario de Investigaciones Agrarias

Diseño y maquetación: María Hdez. (Verde y Lima · Comunicación y diseño gráfico)

Corrección de textos: Rosa Mary Hernández Hernández

Año de edición: 2023

Proyecto: Fincas Faro. Red de fincas agroecológicas de Canarias. 2022.

Entendiendo que el suelo es un sistema vivo que a la vez es y funciona como un organismo, podemos comprender la necesidad de conocer su salud para mantenerla o mejorarla cuando este es cultivado y se quiere que sea de forma sostenible. La relación entre la microbiota del suelo, la salud del suelo y la salud de las plantas, de los animales que nos incluyen, es pocas veces considerada. A un nivel local necesitamos saber cómo las prácticas agrícolas influyen sobre la capacidad productiva del suelo y cómo estas prácticas disminuyen o aumentan la salud de estos.

Introducción

Desde las últimas décadas del pasado siglo, la producción agrícola mundial ha experimentado una gran evolución con un aumento en los rendimientos gracias a la aplicación de fertilizantes minerales y productos químicos. Este sistema, asimilable a una agroindustria basada en continuos y elevados rendimientos en la producción, ha requerido de dosis masivas de diversos tipos de insumos. El coste ambiental derivado en degradación se resume, entre otros, en acumulaciones de nitratos, nitritos, pesticidas y otras sustancias perjudiciales en los suelos y acuíferos, así como en la salud humana a través del manejo de suelos y el consumo de alimentos sometidos a altas dosis de agroquímicos. Si a este manejo se le suma la excesiva e intensa labranza, el uso de monocultivos y la prevalencia de suelos desnudos para la siembra, se entiende la pérdida de funciones del suelo como ente vivo y su degradación.

La preocupación en el incremento de la degradación de suelos crece con las proyecciones que se han hecho para el año 2050, la combinación de esta y el cambio climático reducirá los rendimientos globales de los cultivos en un 10% como promedio y en hasta un 50% en algunas regiones del planeta. La degradación del suelo es un causante principal del cambio climático, y se anticipa que el cambio climático será un factor principal de pérdida de la diversidad biológica (junto con la agricul-

tura de cultivos y el desarrollo de infraestructura). Seguir en este camino, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, en el mundo, de promedio, **solo disponemos de 60 años** más para que nuestros cultivos sigan desarrollándose.

Según la FAO, el 95% de los alimentos mundiales se producen directa o indirectamente en los suelos; sin embargo, al mismo tiempo, **el 33% de los suelos del planeta están de moderados a altamente degradados** debido a la erosión, el agotamiento de nutrientes, la acidificación, la salinización, la compactación y el sellado o la contaminación química.



Tomado de FAO, Jeanette Van Acker

Si nos detenemos en el escenario local del archipiélago canario el panorama luce desalentador: aproximadamente un 50% de los suelos de Canarias están afectados por diferentes procesos de degradación física, química o microbiológica, muchos de ellos de manera irreversible. Un 43% de la superficie del archipiélago está desequilibrada con relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica o eólica y las tasas de formación de suelo que son bajísima.

Además, alrededor de un 50-60% de suelo bajo regadío está afectado por procesos de salinización y sodificación. Como se desprende de estas cifras, el archipiélago es un territorio frágil con limitados recursos hídricos, poco suelo disponible (un 82% del suelo del archipiélago es tierra seca, con elevado riesgo de desertificación) y una elevada población. Es necesario tomar acciones que mitiguen o cambien las desalentadoras proyecciones mencionadas.



¿Por qué es importante producir en términos de salud del suelo?

Entender el escenario mencionado es tener conciencia que la vida en el planeta tierra va más allá de la visión antrópica y que descansa en una concepción integral donde todo se conecta, lo vivo y no vivo, que no somos individuos o fracciones de un todo y que funcionamos e impactamos a ese todo, sintiéndonos cada vez más vulnerables. Ese estado está alimentando - cada vez más- un cambio de paradigma en lo que se ha concebido como "mejor" para el uso y manejo de suelos agrícolas, la agricultura en su práctica y la producción de alimentos.

En la actualidad, el concepto de **"calidad del suelo"** se relaciona directamente con la productividad, la salud y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Desde el punto de vista agronómico la "calidad del suelo" es expresado como "fertilidad" y define la capacidad de un suelo para soportar sostenidamente plantas sanas y productivas. **La salud de los suelos** es la capacidad de un suelo a proponer un sistema vivo para sostener la productividad biológica, promover la calidad del aire y del agua, así como mantener la salud de las plantas, de los

animales y de los microorganismos. Es frecuente encontrar reseñadas a la calidad del suelo o la salud del suelo como sinónimas. Sin embargo, algunos autores prefieren el término "salud" porque pone énfasis sobre el carácter vivo de este organismo muy complejo y dinámico que es el suelo.

La FAO ha publicado informes muy contundentes sobre los servicios ecosistémicos del suelo, declarando inclusive al año 2015 como el año internacional de los suelos. En ocasión del día mundial del suelo, el 5 de Diciembre, José Graziano Da Silva, Director General de la FAO, nos invitó a tomar acciones de conservar y mejorar la salud del suelo motivado a las múltiples y vitales funciones que cumple este recurso para el planeta y la biosfera:

El suelo ha sido el gran olvidado

"Las múltiples funciones de los suelos pasan a menudo desapercibidas. Los suelos no tienen voz y pocas personas hablan por ellos. Son nuestros aliados silenciosos en la producción de alimentos"... "Los suelos también albergan al menos una cuarta parte de la biodiversidad del mundo. Son clave en el ciclo del carbono. Nos ayudan a mitigar y adaptarnos al cambio climático. Juegan un papel importante en la gestión del agua y en mejorar la resiliencia ante las inundaciones y sequías" ... "Los suelos constituyen el fundamento de la vegetación y la agricultura. Los bosques los necesitan para crecer. Los necesitamos para obtener alimentos, forraje, fibra, combustible y muchas cosas más". "Debemos gestionar los suelos de forma sostenible. Hay muchas maneras de hacerlo. La diversificación de cultivos, practicada por la mayoría de los agricultores

familiares del mundo, es una de ellas: así hay tiempo para que los nutrientes importantes se regeneren."

Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse

"Necesitamos suelos saludables para lograr nuestros objetivos de seguridad alimentaria y nutrición, para combatir el cambio climático y asegurar un desarrollo sostenible en general. Pueden contar con el compromiso y la participación activa de la FAO en este esfuerzo". "Hablamos mucho de la importancia de sistemas alimentarios sostenibles para una vida sana. Bien, empecemos por los suelos". "Ahora tenemos plataformas adecuadas para aumentar la concienciación sobre la importancia de los suelos sanos y para abogar por su gestión sostenible. Usémoslos".

En las funciones del suelo se basa el uso y manejo agrícola para la producción de alimento en forma sostenible: Produce biomasa; tiene poder tampón que protege de la contaminación su ambiente, las aguas subterráneas y la cadena alimentaria; es hábitat biológico y una reserva genética a multitudes de animales, plantas y microorganismos; tiene función de soporte, entre otras funciones que señala la FAO.



Fuente infografía: FAO 2015

Veamos cómo sus propiedades y procesos definen su multifuncionalidad y en consecuencia la salud del suelo:



Fuente infografía: Barea Azcón.

Desde esta perspectiva, la calidad y la salud del suelo son producto de las intrínsecas relaciones de lo físico, químico, biológico y ambiental, que define el ambiente fisicoquímico en el que habitan los micro y macroorganismos como componentes integrales que establecen importantes interacciones. Entre ellos: la roca madre, la materia orgánica y otros integrantes del suelo, crean un flujo permanente de energía, nutrientes, metabolitos mediadores -principio y/o fin de redes metabólicas- y, condiciones propicias para que se lleve este o aquel proceso requerido. Desde este ámbito es como se expresa el biosistema suelo en funciones complejas - muy valoradas en las prácticas agroecológicas aplicadas a los agroecosistemas. Una de ellas, es la fertilidad integral del suelo.

Dichas funciones ecológicas, ambientales y productivas le permiten al suelo operar, y aún superar, los límites del agroecosistema y uso de la tierra, conservando un entorno atmosférico e hídrico, la salud vegetal, animal y humana in situ, y la ecosistémica. Es cuando decimos que nos movemos en los escenarios de la calidad y salud del suelo como biosistema.



¿Qué es un indicador del suelo?

Los indicadores son herramientas útiles que agregan y simplifican información de naturaleza disímil de la calidad y funcionamiento del suelo, en general de su salud, lo cual nos permite planificar, diseñar y evaluar prácticas agroecológicas basadas en criterios establecidos.

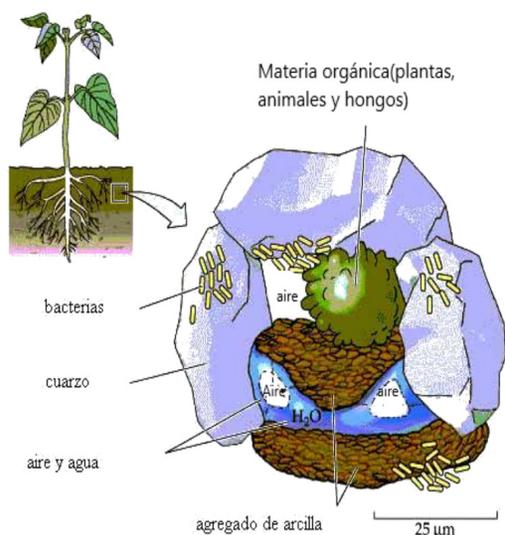
Los indicadores deben:

- Dar información fiable
- Ser fáciles de interpretar
- Ser aceptados por los usuarios como herramientas de apoyo
- Ser seguros
- Ser de bajo costo económico
- Ser suficientemente sensibles a los cambios que ocurren en el suelo
- Dar información evidenciable relacionada con clima y prácticas agrícolas
- Reflejar procesos ecológicos, productivos y de salud
- Ser consistentes en el espacio y tiempo

Tradicionalmente, la fertilidad de los suelos agrícolas se ha venido contemplando desde una perspectiva estrictamente físico-química. Así, los análisis convencionales reflejan determinaciones de elementos químicos considerados como nu-

trientes para la planta y factores relacionados con la estructura y porosidad del suelo: el suelo es el soporte al que reañaden agua y nutrientes para que la planta subsista. Esto es comprensible si se considera: i) la reciente incorporación de la biología del suelo al concepto de fertilidad y ii) la complejidad del sistema suelo en donde decidir qué grupos biológicos, cuantificar su efecto y sistematizar su interpretación no resulta evidente. Para poder incluir el ámbito biológico en los análisis de suelo, es imprescindible definir una serie de **indicadores biológicos o bioindicadores**.

Pero veamos cómo se traduce esto desde la visión del suelo como un sistema vivo multifuncional integrado al agroecosistema, al cual ofrece beneficios ambientales, ecológicos y productivos y con el que conforma lo que se denomina **fertilidad integral del suelo**:



Fuente desconocida.

Los hábitats y nichos de los organismos del suelo lo determinan propiedades y procesos físico-químicos del biosistema edáfico, tales como:

- La mineralogía
- La distribución del tamaño de partículas
- La agregación producto de las asociaciones órgano-minerales y la actividad biológica

Que definen la estabilidad estructural del suelo, es decir, el hábitat en sí mismo y favorecen su actividad funcional.

- La conductividad hidráulica
- La red de espacios porosos (íntimamente ligados a la agregación)

Se mueven el aire y agua, facilitan la oxigenación y el movimiento de nutrientes, principalmente en formas solubles e insolubles, aprovechados, metabolizados y excretados por los organismos del suelo.

Si además consideramos:

- Las actividades enzimáticas
- La humificación
- La mineralización
- La solubilización
- La fragmentación física de residuos orgánicos
- Las fracciones macroorgánicas
- Las sustancias húmicas y no húmicas

El cuadro funcional del suelo suma y multiplica propiedades fundamentales para el desarrollo de las plantas y la fertilidad integral del mismo.

Siendo los protagonistas activos de estos microambientes creados en la matriz del suelo:

- Los organismos del suelo en sus diferentes estados de desarrollo (plantas, macro meso y microfauna)
- Los microorganismos (bacterias, hongos, actinomices). **Algunos, como los hongos, forman micorrizas arbusculares (MA).** También están los que favorecen la solubilización y mineralización de nutrientes de formas orgánicas a inorgánicas o los promotores del crecimiento denominados PGPB.



Fuente: Herrera, A. (2021). El valor de los microorganismos en el suelo. Disagro. Recuperado de: www.disagro.com/el-valor-de-los-microorganismos-en-el-suelo [2023].



¿Qué es un bioindicador de salud del suelo?

Las propiedades y procesos señalados, y otros no mencionados, son parámetros cuyo amplio uso y evaluación se constituyen en la base para comprender la complejidad del sistema edáfico, usándose como indicadores que ofrecen importante y necesaria información sobre la calidad y salud del suelo con una visión de sostenibilidad ambiental, ecológica y productiva.

El bioindicador ideal debería permitir determinar el estado de calidad del suelo con una medida sencilla, amplia, que tenga validez y sea sensible a los cambios. La realidad del suelo hace que la elección de un único bioindicador sea insuficiente y generalmente se habla de un conjunto mínimo de bioindicadores. De cualquier forma, el número y la naturaleza básica de los mismos continúa siendo objeto de debate entre los autores y **no existe un protocolo específico para determinar la calidad del suelo a través de indicadores biológicos que hagan referencia a la fertilidad o valor agronómico del mismo.**

Los bioindicadores son informantes tempranos y avanzados de calidad.

Hay que considerar a los bioindicadores siempre dentro de un sistema muy complejo (el suelo) y no se puede caer en la tentación de tomar los bioindicadores como un dato absoluto y objetivo. Siempre debemos referirlos al momento (tiempo) en que se determinó su valor, tipo de suelo, agroecosistema, etc., en definitiva, a una cantidad de circunstancias existentes a su alrededor que hace que estas herramientas no sean tan objetivas como se desearía bajo algunos tipos de pensamientos o criterios de evaluación.

Los bioindicadores cumplen con las cualidades de los indicadores señaladas. Sin embargo, **suele necesitarse elegir y evaluar varios bioindicadores para tener una descripción más confiable y completa de la salud del suelo.**

Los indicadores biológicos al ser más sensibles, dinámicos y de reciente conocimiento e investigación no tienen rangos de valores establecidos como los indicadores físicos y químicos. Suele usarse suelos nativos o de referencia óptima para evaluar y comparar a los bioindicadores, siendo ideal tener línea base determinada de evaluación.

Aunque algunos bioindicadores del conocimiento local son utilizados por los agricultores para evaluar sus suelos, especialmente a través de las plantas, macro y mesofauna, y cada vez hay más interés en la determinación de propiedades biológicas en los análisis técnicos de estudios de suelo y de agrosistemas, a veces no son los prioritarios a ser seleccionados por los usuarios, porque existe desconocimiento -principalmente-, o falta de práctica, o necesidad de tener equipos

especiales para su determinación en laboratorio. Algunos bioindicadores, principalmente los bioquímicos, pueden ser costosos y laboriosos en su determinación.

En algunas situaciones del suelo, como contaminación por metales pesados o hidrocarburos, ciertos bioindicadores pierden sensibilidad a los cambios del suelo o no se correlacionan bien con otros indicadores físicos, químicos o biológicos.

A veces no es fácil separar la información dada por algunos bioindicadores en condiciones de campo donde intervienen simultáneamente varios factores como la estación climática del año, prácticas agrícolas, etc. En ese sentido, es importantísimo un buen diseño de medición en campo que incluya un suelo control (sin intervención), un control (condición óptima, si es posible), condiciones de replicación (las propiedades biológicas del suelo suelen tener mayor variabilidad en campo). Dependiendo del objetivo y alcance del estudio es recomendable relacionarlos con algunos indicadores físicos y químicos de los suelos bajo monitoreo.

Los bioindicadores requieren medirse periódica o estacionalmente para establecer patrones de cambio en el tiempo. Especialmente los que tienen que ver con procesos metabólicos microbianos.



¿Qué son las micorrizas?

Por su importancia ecológica, metabólica, funcional y agroecológica los microorganismos del suelo se han considerado que pueden ser importantes y necesarios bioindicadores a evaluar. Los diferentes grupos microbianos llevan a cabo funciones esenciales para el mantenimiento de la fertilidad. Ahora bien, la biología de cada uno de ellos define su posición funcional en el ecosistema suelo. Entre las más interesantes están las interacciones de los microorganismos de las plantas con el suelo, ya que contribuyen a mantener la agricultura sostenible. Los microorganismos benéficos habitantes de la zona cercana a la raíz, entre los que se incluyen fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, incrementadores del crecimiento, agentes de biocontrol, transportadores de nutrientes y estabilizadores del suelo, son fundamentales para mantener las producciones. Su versatilidad les permite tener mayor capacidad para adaptarse a diferentes ambientes que las propias plantas. Se acomodan tanto en el exterior como en el interior de los agregados, y se asocian a las raíces de las plantas creando una zona en torno al sistema radical de gran actividad conocida como **"rizosfera"**.

A pesar de la gran diversidad de tipos de microorganismos que cohabitan en la zona rizosférica (bacterias, hongos, algas, protozoos, nematodos, virus, etc...) la mayoría de los estudios están dirigidos a las bacterias y a los hongos. Estos microorganismos se relacionan de manera bien saprofitica o

simbiótica con las plantas ocasionándoles en muchos casos beneficios, y en otros, enfermedades. Dentro del suelo, la rizosfera es una zona con características propias, como resultado de la excreción permanente de compuestos carbonados (azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos, etc...), por parte de las raíces. Este fenómeno natural, denominado **"rizodeposición"** es el responsable de una intensa actividad microbiana en el área cercana a la raíz. **Por su repercusión en la vida edáfica y vegetal, tanto los hongos formadores de micorrizas (Hongos MA) como las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB), se han propuesto como bioindicadores del estado de la fertilidad integral de los suelos.**

La mayoría de las plantas que cubren la tierra, tienen la corteza de sus raíces colonizadas por un hongo del suelo que establece con ellas una simbiosis mutualística conocida como "micorriza". En este tipo de asociación, ambas partes (hongo y planta) son altamente interdependientes y se benefician mutuamente. El hospedador, la planta, recibe nutrientes minerales del suelo captados a través del micelio de su huésped, el hongo. Por su parte, este último obtiene compuestos carbonados producto de la fotosíntesis de la planta.

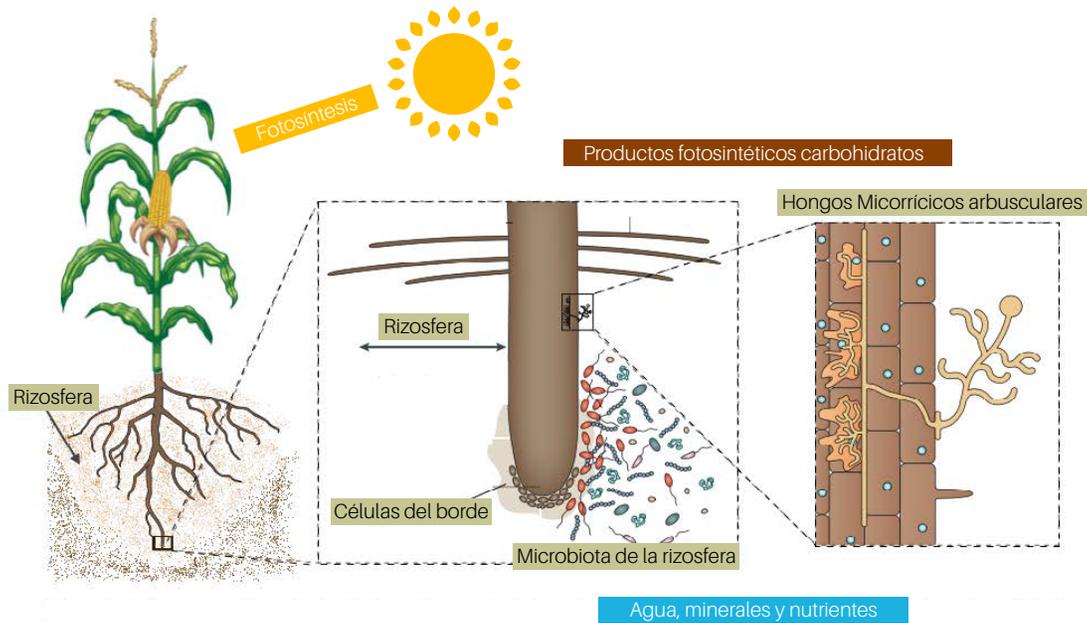
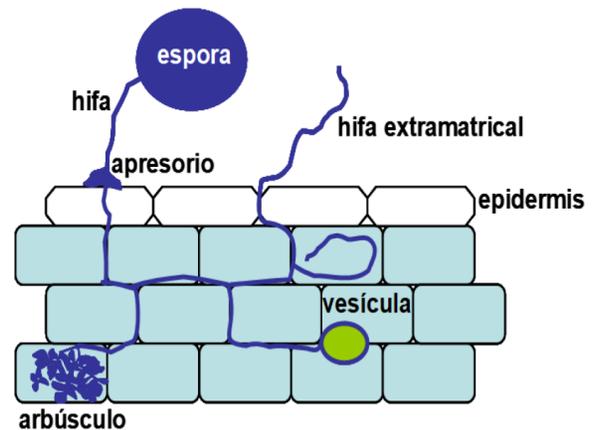


Ilustración modificada de Philippot *et al.* 2013.

¿Cómo ocurre el proceso de formación de una micorriza?

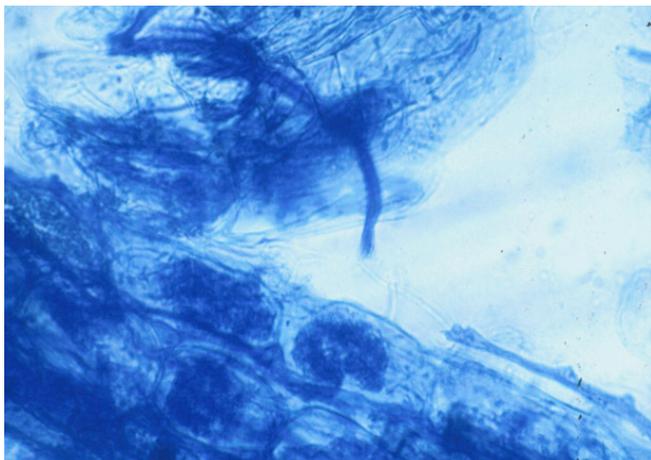
El desarrollo de la simbiosis comienza cuando una hifa del hongo surge de una espora o de un trozo de raíz colonizada reconociendo las señales de una planta hospedadora. A partir del contacto de la hifa con la superficie de la raíz, el hongo se diferencia formando un “apresorio” que entra y se desarrolla en el interior de la raíz. Una vez dentro, coloniza inter- e intracelularmente las células de la corteza radical, dividiéndose en el interior celular de manera dicotómica y formando una estructura arborescente conocida como arbusculo.



Formación de la simbiosis micorrízica (Tomado de Jaizme-Vega & Rodríguez Romero 2013).

Estos arbusculos cuyas paredes son muy finas, están especializados en el intercambio de nutrientes y señales entre la planta y el hongo. El hongo acumula sustancias de reserva en las vesículas. Una vez colonizada la raíz se desarrolla un micelio externo en la zona alrededor de la misma, avanzando grandes distancias, más allá de los pelos radicales. Este micelio está capacitado para absorber nutrientes más allá de la zona de depresión en P que rodea la raíz, reduciendo la distancia entre la planta y dicho nutriente. Esta habilidad de las hifas es la principal razón que justifica el beneficio de esta simbiosis en suelos deficientes en fósforo.

Una vez establecida la colonización de la raíz, el hongo desarrolla hacia el exterior un micelio extramatricial y tridimensional que explora un determinado volumen de suelo en torno al sistema radical y mediante el cual, el hongo optimiza la adquisición de agua y nutrientes de las raíces y establece conexiones con los restantes microorganismos de la rizosfera.



Las micorrizas arbusculares, son el tipo de simbiosis micorrícica más abundante ya que se encuentra en el 80% de las especies de plantas que cubren la corteza terrestre. La forman muchas especies de interés agronómico (leguminosas, gramíneas, compuestas, rosáceas, labiadas, etc...) pertenecientes a las diferentes zonas agroclimáticas del planeta (áridas, tropicales, templadas, frías, etc.).

Funciones de las Micorrizas

Los **hongos formadores de micorrizas** ocupan una posición privilegiada y estratégica en la rizosfera, interactuando con otros microorganismos en beneficio de la planta. Las principales consecuencias de esta cohabitación están relacionadas con una optimización en el ciclado de nutrientes, en la producción hormonal, en la capacidad defensiva de la planta y finalmente una mejora de la calidad y salud del suelo. Sobre esto último, se sabe que las hifas externas son capaces de producir una glicoproteína no soluble en agua, "la glomalina", que contribuye, como si se tratara de un pegamento natural, a mantener unidos los agregados del suelo. Veamos un resumen de las funciones:

<i>Funciones de las micorrizas</i>	<i>Beneficio</i>	<i>Descripción</i>
Aumento del volumen de suelo explorado	Acceso a un mayor número de recursos	Cambios morfológicos y fisiológicos en las raíces. La raíz micorrizada se extiende más allá de la raíz propiamente dicha hasta donde alcanza el micelio fúngico.
Aprovechamiento de los nutrientes disponibles	Toma de aquellos nutrientes minerales cuya forma iónica es poco móvil o se encuentran a bajas concentraciones en los suelos	Ocurre con el fósforo, pero también con otros nutrientes como amonio, nitrato (en condiciones de sequía), zinc o cobre. Adquisición directa de fósforo a través de la raíz se inactiva y el 100% del fósforo se toma por la ruta fúngica.
Aprovechamiento de recursos hídricos	Toma de agua más eficiente por parte de las hifas e intercambio gaseoso	Activación de aguaporinas (canales proteínicos que facilitan el flujo de agua en la planta). Ramificación radical, número de meristemas apicales) y anatomía de ésta (lignificación).
Mejora la estructura del suelo	La excreción de la proteína glomalina por los hongos MA mejora la estabilidad estructural del suelo al formar agregados estables al agua.	Las hifas externas son capaces de producir una glicoproteína no soluble en agua, "la glomalina", que contribuye, como si se tratara de un pegamento natural, a mantener unidos los agregados del suelo.
Provee resistencia frente a situaciones de estrés causado por factores abióticos	La planta se hace más resistente frente a salinidad del suelo, contaminación por metales pesados, residuos químicos.	Abióticos: Las plantas micorrizadas pueden mostrar mayor captación de metales pesados por la raíz y aumentar el transporte de estos a la parte aérea de la planta (fitoextracción). El uso de Hongos MA contribuye a la inmovilización del metal en las raíces de las plantas o en el suelo (fitoestabilización).
Provee resistencia frente a situaciones de estrés causado por factores bióticos	La planta se hace más resistente a patógenos como nematodos, hongos, bacterias.	Bióticos: Por vía de mejorar el balance nutricional, competición con los organismos del suelo patógenos, cambios anatómicos y morfológicos en raíz, cambios microbianos en la rizosfera, activación mecanismos defensa de la planta



Las micorrizas como bioindicadores

Las micorrizas son buenos bioindicadores porque al formar parte de la planta y aparte ser microorganismos del suelo con sus necesidades, se constituyen como las testigos más "indiscretas" de todo lo que le está pasando a la planta en su íntima conexión con el suelo (condición hídrica del suelo, enfermedades por organismos patógenos, fertilidad integral etc.). Su ubicación física es primordialmente ventajosa en ese sentido.



Plantas trampas . Instalaciones del ICIA.



¿Cómo determinamos el bioindicador de las micorrizas?

La aproximación para determinar este bioindicador es bastante sencillo y se hace en base a tres evaluaciones en forma indirecta de los sistemas de multiplicación de las micorrizas:

1. Número de esporas que hay en el suelo.
2. Numero de propágulos (pueden ser esporas, trozos de hifas o raíces micorrizadas).
3. Porcentaje de colonización.

El numero de propágulos (esporas, hifas externas y trozos de raíz colonizadas) determina la capacidad de las poblaciones presentes en el suelo para generar infección micorrícica y está basado en la técnica de las diluciones muy empleada en microbiología del número más probable (NMP).



A: Esporas iniciales en el momento de coger el suelo rizosférico (muy cercano a la raíz de la planta).

B: Esporas finales después de hacer el forzado con plantas trampas de alta micotrofia como sorgo, albahaca, alfalfa o plantas autóctonas o del cultivo que está en el campo.

Determinamos el número de esporas iniciales del suelo rizosférico traído en campo que es tamizado en húmedo para aislar las esporas. También determinamos el número de esporas finales del suelo que es forzado con plantas trampas.

Si **A = B** significa que el suelo estaba en su máximo potencial de micorrización cuando se cogió del campo. Si **A > B** significa que las plantas trampas no son las adecuadas y están haciendo una presión de selección negativa sobre las esporas del suelo. Casi siempre **A < B** y eso significa que ese suelo se puede mejorar el estado de las poblaciones de hongos micorrícicos mediante manejos adecuados.

Esta técnica consiste en diluir el suelo en agua y pasar la mezcla por una serie de filtrados a través de un nido de tamices de diferente luz y malla, capaces de retener las esporas y recogerlos posteriormente en un papel de filtro para su recuento en la lupa.

Las plantas trampas también son capaces de colonizarse con hongos micorrícicos y aquí están en un estado óptimo de colonización y se determina **el porcentaje de raíz micorrizada**. Lo ideal es usar plantas del cultivo del suelo que le corresponde, por ejemplo, se pone una planta de platanera si el suelo muestreado es de platanera, o de aguacate si el suelo es de aguacate. El suelo va diluido con un material inerte al 50%.

Se entiende que la raíz toma del suelo lo que necesita, pero también esta exuda una gran cantidad de compuestos energéticos que le dan sentido al hongo MA e incide en la reproducción de los microorganismos de la rizosfera. Las plantas trampas pueden ser sorgo y una leguminosa como el trébol o alfalfa, es el método estándar y sirve para comparar entre situaciones agrícolas, por ejemplo. Pero si se quiere conocer de la biodiversidad de hongos MA que hay en el suelo, es mejor utilizar la planta que crece en el suelo.

Mediante diferentes procesos químicos y térmicos, se retiran de la raíz los materiales celulósicos y se tiñen las estructuras presentes del hongo (hifas, esporas, arbuscúlos y vesículas (Koske y Gemma, 1989). Las raíces teñidas se observan al microscopio óptico y se valora el porcentaje de raíz ocupada por el simbionte (Brundett *et al.*, 1985).

Enfoques de evaluación de los hongos micorrícicos como bioindicadores

Ejemplo práctico

Las micorrizas como bioindicadores de salud de suelo nos permiten evaluar los cambios por uso y manejo del suelo bajo diferentes cultivos, por ejemplo, procesos de transición agroecológica en agrosistemas desde el modo convencional, o monitorear enfermedades que son albergadas en los suelos y la sensibilidad de las plantas a esa enfermedad (tolerancia a patógenos que están en el suelo) o su nivel de producción de los cultivos. Desde hace más de una década en el ICIA hemos venido desarrollando la línea de investigación del estudio de los hongos micorrícicos en diferentes cultivos con sus potencialidades como biofertilizantes y como bioindicadores de cambio en la salud del suelo y en el desarrollo de los cultivos.

En este último ámbito, proponemos, y lo hacemos siempre, una metodología y criterios que implican todo el contexto del agrosistema, por ello la cuantificación de los hongos micorrícicos en el suelo y la micorriza de la planta debe cruzarse con otros indicadores físico-químicos para no perder el escenario que es el suelo como sistema complejo, diverso y heterogéneo afectado por el clima, manejo, historia de manejo agrícola, contenido de materia orgánica, nutrientes, biodiversidad sobre y en el suelo, propiamente. Igualmente dependiendo del caso agrícola bajo monitoreo, se incorporan en la selección y cruce de información otros bioindicadores de suelo. El camino apenas comienza y son muchas las pre-

guntas a responder en términos de la salud del suelo de un agrosistema. En esta vía de exploración tenemos la intuición del rol protagónico de los hongos micorrícicos.

La transición agroecológica

Hasta el momento hemos investigado según este enfoque en suelos de viña, plátano y tomate. En este cuaderno vamos dar algún detalle de los resultados en cultivo de tomate.

Caso cultivos de tomate

Desde finales del siglo XIX el cultivo del tomate ha sido relevante para la economía de las Islas Canarias debido a su adaptación a las condiciones edafoclimáticas, articulando la economía del archipiélago y convirtiéndose en un elemento característico del paisaje y la cultura. A finales del siglo XX llegó a producir 300.000 Toneladas, pero a partir de allí el cultivo ha venido en declive por la degradación de las tierras debida a la salinización y empobrecimiento de los suelos, y aumento de las plagas y enfermedades. Las producciones han bajado, el crecimiento de biomasa aérea también. Esto ha obligado a iniciativas de usar variedades tradicionales mejor adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de las islas y con buena calidad organoléptica y a la mejora de la calidad y salud del suelo, basados en su fertilidad integral.

Los manejos agroecológicos están basados en el uso y conservación de variedades locales que a lo largo de su evolución han desarrollado mecanismos de adaptación que les permite crecer bajo

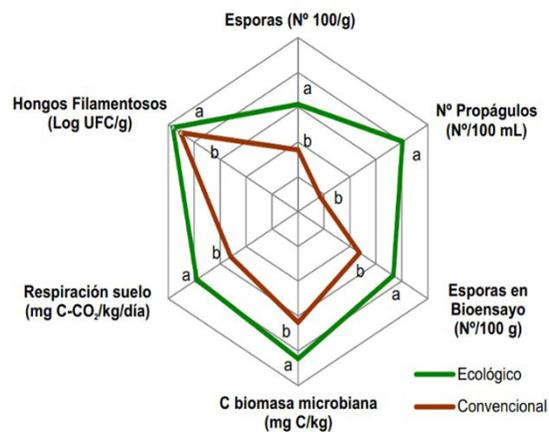
condiciones medioambientales adversas, una de esas asociaciones es con los microorganismos del suelo y por ello mantener el suelo como un sistema vivo saludable es fundamental.

Las plantas de tomate se benefician claramente de la micorrización en presencia de patógenos (hongos, nematodos) de la raíz. Dicha protección resulta en un aumento del peso fresco de la planta (198%) y en el rendimiento (14,3%), en comparación con plantas no micorrizadas e infectadas con el patógeno.

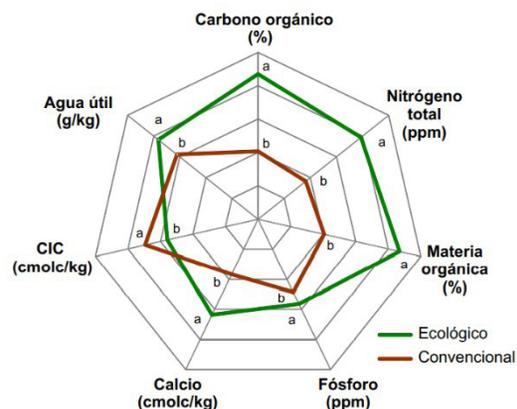
En este caso se evaluó el impacto de diferentes manejos agrícolas (ecológico y convencional) a largo plazo (más de 10 años de manejo continuo), sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de suelos destinados al cultivo de tomate en las Islas Canarias. En un total de 20 parcelas cultivadas con tomate en la zona sur de Tenerife, con ambos manejos (10 respectivamente) se contrastó la salud del suelo convencionales y agroecológicos con bioindicadores e indicadores físico-químicos.

Los suelos con manejo ecológico presentaron un contenido significativamente mayor de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo, calcio y agua útil. Este efecto, probablemente, se debe a un mayor aporte de materia orgánica y/o por la utilización de una materia orgánica de alta calidad (más estable), proveniente de compostajes realizados por los propios agricultores. Los suelos de los manejos agroecológicos presentaron un número significativamente mayor de propágulos y de esporas de hongos micorrícicos.

Indicadores físico-químicos:



Bioindicadores:



Asimismo, la respiración del suelo, el carbono de la biomasa microbiana y el recuento de UFC (unidades formadoras de colonias) de hongos filamentosos fue mayor en condiciones ecológicas.

Los bioindicadores, especialmente los de hongos MA, fueron contundentes en señalar la diferencia entre ambos manejos agrícolas en la salud del suelo. Los mismos se correlacionaron positivamente con otros bioindicadores implicados en el metabolismo microbiano y el ciclado de carbono en el suelo. Junto con los indicadores físico-químicos los hongos micorrícicos muestran que el manejo agroecológico con variedades de tomate en vivero mejora la calidad salud del suelo lo cual es positivo para la producción de los cultivos.



Conclusiones y recomendaciones

- En el amplio y diverso mundo de los indicadores como herramientas de evaluación y monitoreo del uso y manejo del suelo, son los bioindicadores uno de los indicadores más integrales, sensibles, confiables e informativos de los cambios que van sucediendo en el suelo por diferentes actividades agrícolas.
- Las micorrizas al ser el resultado de una de las interacciones biológicas más importantes que se dan en la naturaleza: la simbiosis entre un hongo que vive en el suelo y la planta es uno de los mejores bioindicadores de suelo para ser determinado.
- La determinación de los hongos MA bajo las medidas indirectas de micorrización basadas en los propágulos debe ir acompañada con mediciones de indicadores físico químicos, de manera de tener un cuadro más completo de lo que está sucediendo en el suelo en un proceso de transición agroecológica.

