



Suelos supresivos y su papel en el manejo de enfermedades Suppressive soils and their role in plant disease management

José Alonso Calvo Araya

M.Sc. en Protección Vegetal

Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Costa Rica

alonso.calvo.araya@una.ac.cr

^{ID}<https://orcid.org/0000-0001-7294-6426>

Heredia, Costa Rica

Resumen

Los suelos supresivos son una herramienta eficiente en el manejo de enfermedades de origen edáfico, principalmente en agricultura agroecológica donde este tipo de control natural se desarrolla en mayor plenitud. Generalmente, la supresividad está basada en interacciones microbiológicas entre los patógenos y los antagonistas. Dentro de las ventajas de este tipo de control están, reducción en el uso y aplicación de plaguicidas, en la mayoría de patógenos ejerce un buen control, es amigable con otros métodos de manejo de enfermedades. Las interacciones que median la calidad de ser supresivo son dependientes de factores abióticos presentes tales como: niveles de pH, estructura, materia orgánica, contenido de arcilla, temperatura, humedad, responsables en brindar las condiciones óptimas de suprimir a un determinado fitopatógeno. En la siguiente revisión se aborda el concepto de suelos supresivos, tipos de suelos supresores, prácticas culturales y su efecto supresor, efecto de factores abióticos, supresividad a patógenos. Estudios recientes, muestran que la supresividad natural de un suelo puede ser potencializada a través de la implementación de diversas prácticas agronómicas con un enfoque conservacionista tales como mínima labranza, incorporación de enmiendas orgánicas y rotación de cultivos. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es analizar aspectos fundamentales de este tipo de suelos y como estos influyen directa o directamente en el desarrollo de las enfermedades y sanidad en los cultivos.

Palabras clave: Supresividad, patógenos, antagonistas, factores abióticos, conservacionista, prácticas agronómicas.

Abstract

Suppressive soils are an efficient tool in soilborne disease management, especially in agroecological agriculture where this type of natural control is most fully developed. Generally, the suppressivity is based on microbiological interactions between the pathogen and antagonists. Among the advantages of this type of control are, reduction in the use and application of pesticides, in the most cases it gives a good control of pathogens, friendly with other methods of plant disease management. The interactions that mediate the quality of being suppressive are dependent on abiotic factors such as: pH levels, structure, organic matter, clay content, temperature, humidity, all those responsible for providing the optimal conditions of soil suppression to a certain plant pathogen. This review is addressed in concept of suppressive soils, types of suppressive soils, cultural practices and their suppressive effect, effect of abiotic factors, suppressiveness to pathogens. Recent studies show that the mechanisms of natural soil suppressiveness can be potentiated through the implementation of various agronomic practices with a conservationist approach such as minimum tillage, incorporation of organic

Recibido: 24/06/2021

Revisado: 27/07/2021

Aprobado: 23/08/2021



Los artículos de Environment & Technology se comparten
con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

amendments and crop rotation. Therefore, the objective of this review is to analyze fundamental aspects of soil suppressivity and how these directly or indirectly influence the development of diseases and health in crops.

Key words: Suppressivity, pathogens, antagonistic, abiotic factors, conservation, agronomic practices.

Introducción

El suelo como sistema biótico, es uno de los principales componentes de los agroecosistemas, siendo un recurso esencial para la producción de alimentos, así como el responsable de mantener un balance ecológico. La salud del mismo determina en gran medida la sostenibilidad agrícola y la calidad ambiental (Larkin, 2015).

En los sistemas agrícolas, la capacidad productiva de los suelos se ha visto disminuida producto de una agricultura convencional y basada en paquetes tecnológicos y monocultivos. Por lo cual, se requiere un cambio de prácticas tradicionales basadas en fertilización química y enfocadas a la nutrición vegetal, lo cual ha sido la tendencia en sistemas agrícolas convencionales desde la revolución verde, hacia la adopción de indicadores y análisis que incluya componentes biológicos, físicos y químicos que permitirán tener una mejor comprensión de la salud y función de este componente en la fitosanidad.

El manejo apropiado de fitopatógenos de origen edáfico es un reto muy importante para los sistemas agrícolas pues permite la conservación de la microflora y microfauna benéfica para los sistemas productivos. En la mayoría de los casos se hace un uso de plaguicidas altamente tóxicos, lo cual afecta enormemente al agroecosistema (Carrascosa et al., 2015). Recientemente se han venido realizando esfuerzos a nivel mundial para disminuir el uso de estos productos químicos, como es el control biológico y la resistencia vegetal. En este contexto, la aplicabilidad de los hallazgos acerca de los suelos supresivos es una herramienta promisoría para el control de fitopatógenos. La supresividad, ha sido conocida por más de 100 años y la misma puede ser mediada por mecanismos abióticos o bióticos (Chandrashekara et al., 2012).

La supresión edáfica, hace referencia fundamental a la salud del suelo y condiciones ecológicas específicas de la comunidad microbiana, de tal forma que los microorganismos fitopatógenos causantes de enfermedades radicales se mantengan en niveles poblacionales bajos o que no logren expresar su potencial patogénico (Jayaraman et al., 2021; Janvier et al., 2007; Magdoff, et al., 2001)

El empleo de diferentes prácticas agrícolas que promuevan la salud del suelo va a influir de manera directa en la supresividad de los mismos e indirectamente contribuye a mantener bajos niveles poblacionales de los patógenos y consecuente las enfermedades en los cultivos presentarán una menor incidencia.

En la siguiente revisión se dará a conocer la investigación concerniente a supresividad de los suelos, las implicaciones y efectos de diferentes prácticas agrícolas sobre su salud y su papel en la supresión a fitopatógenos.

Metodología

Para la escritura de esta revisión se realizó una investigación de literatura científica entre enero y junio de 2021. La revisión literaria siguió un enfoque sistémico: primeramente, se utilizaron tres bases de datos: Science Direct, Scopus y Web of Science. En la búsqueda en estas bases de datos se utilizaron todas las combinaciones de dos grupos de palabras claves en el cual en el primer grupo: suelos supresivos y en el segundo grupo las siguientes palabras (enfermedades, manejo, fitopatógenos). Las tres bases de datos fueron escogidas debido a que la Universidad Nacional de Costa Rica cuenta con suscripción a ellas, además de que cuentan con una amplia cobertura de literatura científica relevante en temas agrícolas. La selección y manejo de información recopilada se llevó a cabo mediante la versión de prueba del software EndNote™ 20. Se encontraron y seleccionaron una serie de artículos científicos relevantes en el tema de suelos supresivos y el manejo de enfermedades los cuales fueron el insumo para la elaboración de la presente revisión de literatura.

Desarrollo

I. Concepto de suelos supresivos

Los pioneros en control biológico Cook y Baker (1983), definieron los suelos supresivos como aquellos en los cuales los patógenos no se establecen o persisten, pero en caso de que el patógeno logre establecerse no causará enfermedad. Dentro de los principales mecanismos de supresividad se encuentran condiciones edáficas (químicas y físicas como el pH, materia orgánica, contenido de arcilla), interacciones antagónicas (antibiosis,



competencia, parasitismo) que hacen que los patógenos reduzcan en número o en infectividad (Weil y Brady, 2017; Alabouvette y Steinberg, 2006). Todos estos factores tanto abióticos como bióticos contribuyen en la supresividad directa o indirectamente a través de su efecto sobre la microbiología.

Tipos de suelos supresivos

De acuerdo con Chandrashekara et al., (2012) existen dos tipos de supresividad la supresión general y supresión específica.

La supresión general está directamente relacionada a la cantidad total de actividad microbiana edáfica o rizosfera de la planta en una etapa vital en el ciclo de vida del fitopatógeno. Bajo esta supresividad general, los suelos deben tener altos contenidos de biomasa microbiana y generalmente no es específica a patógenos, por lo que actúa contra un amplio espectro de fitopatógenos e involucra la actividad de muchos organismos residentes. Esta estrategia es dependiente de la calidad y cantidad de materia orgánica que provee los nutrientes necesarios para el favorecimiento de los microorganismos benéficos (Mousa y Raizada, 2016).

El otro tipo de supresión, la específica, opera solo contra algunos tipos de patógenos, la cual ha sido descrita de manera individual en diferentes patógenos tales como *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* Kühn, los cuales son los principales patógenos de suelo afectando una gran variedad de plantas cultivadas y silvestres. En todos los casos ya mencionados, el patógeno causa significativamente menos enfermedad en suelos supresivos en comparación con los no supresivos (conductivos); generalmente el efecto de supresividad se pierde cuando el mismo es tratado con productos biocidas (plaguicidas).

En contraste a la supresividad general, la supresividad específica es aquella que tiene altas concentraciones de una o más especies de microorganismos y resulta en altos niveles de protección contra un número específico de patógenos. Como ejemplo de un caso de supresividad específica se puede mencionar a la enfermedad conocida como pietín del trigo, causado por el hongo *Gaeumannomyces tritici* (J. Walker) Hern.-Restr. & Crous, la cual es una de las más importantes del cultivo de trigo a nivel mundial y su control por medio de la supresividad específica ha sido usada como modelos para el control biológico. Esta enfermedad es controlada por estrategias biológicas y culturales, debido a que no hay

variedades con resistencia completa, ni fungicidas que sean muy efectivos. Se ha reportado que la supresividad a este patógeno se alcanza alrededor de los siete años debido al favorecimiento de *Pseudomonas fluorescens* Migula que produce antibióticos los cuales afectan de forma negativa al patógeno inhibiendo sus procesos (Mousa y Raizada, 2016).

¿Cuánto tiempo requiere un suelo para mostrar supresividad a patógenos?

La supresividad se desarrolla en un periodo determinado de tiempo. Esta duración va a depender de las condiciones ambientales y de prácticas agrícolas dentro de ellas la principal medida en importancia de la adición de materia orgánica. De manera que también se puede definir dos tipos de suelos supresivos aquellos naturales y los inducidos. Los que muestran supresividad natural, están con frecuencia asociados con las características físicas, químicas y biológicas; mientras que los inducidos son completamente dependientes de las prácticas culturales.

II. Prácticas culturales y su efecto en la supresividad de suelos

Enmiendas orgánicas

El uso de enmiendas orgánicas para reducir o suprimir las poblaciones de los fitopatógenos ha sido bien documentado. La adición directa de materia orgánica a través de enmiendas orgánicas tales como compost, estiércol de animales, mulch, entre otras tiene muchos usos prácticos y beneficios para la mejora de la calidad, tanto a nivel biológico como físico-químico. El uso de estas enmiendas ha sido asociado con cambios en la aireación, estructura, drenaje, capacidad de retención de agua, disponibilidad de nutrientes, pH, así como promotor de la biodiversidad edáfica. El uso de compost se ha relacionado con un incremento en la biomasa y actividad microbiana y cambios en la estructura de la comunidad microbiológica. El uso de excretas animales se ha asociado principalmente con un incremento en el contenido en la materia orgánica, mejora de la agregación y respiración, infiltración e incremento de la biomasa y actividad microbiana del suelo (D'Hose et al., 2014; Bonilla et al., 2012; Saison et al., 2006).

Diversos materiales compostados, han sido asociados con reducciones en enfermedades de suelo en un amplio rango de cultivos para muchos patosistemas, tales como mal de talluelo y pudriciones radicales (*Globisporangium ultimum* (Trow) Uzuhashi, Tojo and Kakish., *R. solani*, *Dematophora necatrix* R. Hartig, *Phytophthora* spp.),



marchitamientos vasculares (*Fusarium oxysporum* Schldl., *Verticillium dahliae* Kleb.) (Termorshuizen et al., 2006).

Los factores más importantes en cuanto a efectividad son los materiales del compost, edad, maduración y calidad. Por lo cual, el tipo y las características del compost son de suma importancia en determinar si este será o no supresivo, tal variabilidad aún existe y se basa en un mejor entendimiento de la ecología microbiana de los compost los cuales son necesarios de conocer (Hadar et al., 2012; Aviles, et al., 2011).

En el cultivo de aguacate está muy bien documentado el efecto positivo que tiene el uso de enmiendas orgánicas sobre el crecimiento, sanidad e incremento en el rendimiento productivo y en el control por medio del efecto supresivo contra el oomycete *Phytophthora cinnamomi* Rands (Bhattacharyya et al., 2007; Biederbeck, 1998).

Diferentes tipos de estiércol animal también han mostrado ser capaces de suprimir a patógenos. Bononami et al., (2007) reportaron que desechos orgánicos los cuales incluyen excretas sin compostear y subproductos de industrias pecuarias tales como huesos de carne y de pescado resultaron en supresiones de más de 50% e incrementaron los rendimientos productivos en alrededor de 12%.

La cantidad y calidad de la materia orgánica afecta las propiedades físico-químicas y los principales factores bióticos asociados a la microbiología edáfica que incluyen biomasa microbiana, diversidad, estructura de la comunidad y actividades bioquímicas. Los principales mecanismos de orden biológico por medio de los cuales la microbiología está relacionada a la supresión de la enfermedad son: incremento en la masa microbiana total, supresión relacionada a organismos específicos o grupos de organismos o una combinación de ambos; lo cual crea un microambiente competitivo y en muchos casos letal para el desarrollo de patógenos (Bonilla et al., 2012; Bonanomi, et al., 2010).

Rotación de cultivos

La rotación de cultivos provee múltiples beneficios para la salud y equilibrio microbiológico del suelo, pero su factor más importante es en el manejo de las enfermedades (Kassam et al., 2009). Sin embargo, pueden existir diferencias entre tipos de rotación de cultivos en su habilidad para reducir el desarrollo y expresión de una enfermedad en las plantas. En general, la rotación de cultivos puede reducir los patógenos por cualquiera de los siguientes mecanismos: a) interrupción del ciclo de planta-patógeno en la producción de

inóculo; b) alteración de las características físico-químicas y biológicas haciendo el ambiente menos conductivo para el desarrollo o supervivencia del patógeno; c) inhibición directa de los patógenos, a través de la producción de compuestos inhibitorios o tóxicos en las raíces o residuos vegetales o por medio del estímulo de la actividad de antagonistas que suprimen directamente el inóculo del patógeno (Larkin, 2015).

En el Sur de Australia, se observó que las poblaciones de *Rhizoctonia* D.C se vieron disminuidas producto de la rotación de cultivos de ocho años, lo cual se asocia a un aumento de la supresividad en estos suelos.

La supresión a diferentes enfermedades se ve incrementada con la diversidad de cultivos, debido principalmente al aumento y enriquecimiento de un grupo específico de microorganismos con potencial supresor. Lo anterior, sugiere la importancia de la composición microbiana para lograr una adecuada supresividad en sistemas agrícolas (Jayaraman et al., 2021).

Mínima labranza

Las prácticas tradicionales de preparación del terreno como es el caso de una labranza excesiva incrementan la erosión edáfica, rompen los procesos biológicos, causan pérdidas de agua, reducción de la agregación; produciendo compactación y pérdida de materia orgánica. La implementación de una mínima labranza o cero labranza mejora las características físicas, así como la capacidad de retención de agua, infiltración, porosidad, estabilidad de agregados, resistencia a la penetración y la densidad. Los principales cambios químicos que se han observado son incremento del pH, cambios en la capacidad de intercambio catiónico, incremento en la disponibilidad de nutrientes y un incremento en la diversidad biológica del mismo (Njira y Nabwami, 2013; Page et al., 2013; Stubbs et al., 2004).

Debido a los efectos positivos mencionados anteriormente se promueve una salud del suelo y la supresividad debido principalmente en los incrementos de la masa microbiana y diversidad de microorganismos.

III. Efecto de factores abióticos en la supresividad de suelos

Disponibilidad de micronutrientes

Cuando una planta es atacada por un microorganismo fitopatógeno, sus defensas naturales son activadas, lo cual causa un incremento en la producción de compuestos



fenólicos y flavonoides inhibitorios a este, tanto en el sitio de infección como en otras partes de la planta. La producción y transporte de estos compuestos es mediada en gran medida por el estado nutricional de la planta.

Entre los micronutrientes que tienen un papel fundamental en mantener la estructura integral y controlar la permeabilidad y estabilidad de las membranas celulares están el Zinc (Zn) y Boro (B). Estos dos micronutrientes también tienen efectos protectores contra el daño de compuestos tóxicos y radicales libres. Bajo deficiencias de estos microelementos, en la **tabla 1** se puede apreciar que en algunos cultivos aumenta la susceptibilidad a determinados patógenos.

Tabla 1.

Deficiencia de micronutrientes y aumento de la susceptibilidad a fitopatógenos.

Micronutriente	Cultivo	Agente causal
Boro (B)	Tomate	<i>Verticillium</i> sp.
	Frijol	<i>Fusarium</i> spp.
Zinc (Zn)	Trigo	<i>G. graminis</i>
Manganeso (Mn)	Trigo	<i>G. graminis</i>
Calcio (Ca)	Solanáceas	<i>Pectobacterium</i>
Cobre (Cu)	Trigo	<i>G. graminis</i>
		<i>Erysiphe</i> spp.

Fuente: Elaboración propia

Textura y estructura del suelo

La estructura y textura tienen efectos en el desarrollo de enfermedades en los cultivos debido a su capacidad de retención de agua, intercambio catiónico y facilidad para el crecimiento radical. Poca aireación y encharcamientos generalmente son el resultado de una mala o inadecuada estructura y han sido asociado con pudriciones radicales causadas por *Pythium* spp. en diversos cultivos. Así mismo, diversas especies de *Fusarium* (Link ex Grey) son promovidas positivamente por la compactación y terrenos húmedos. Chang (1994)

demonstró que el grado de compactación incrementó exponencialmente la incidencia y severidad de *Fusarium* spp., en el cultivo de guisantes.

Humedad del suelo y temperatura

La severidad de patógenos de raíz está relacionada directamente con la cantidad de humedad en el suelo. Su incremento afecta de forma negativa a los agentes de control biológico y tiene un efecto positivo a los patógenos donde ellos se multiplican y se diseminan de una mejor manera. En terrenos con altos contenidos de humedad también la habilidad de las plantas para defenderse se ve disminuida debido a la poca cantidad de oxígeno y la baja temperatura que se presenta bajo estas condiciones (Abawi y Widmer, 2000).

IV. La salud del suelo en el manejo de enfermedades

Por definición se considera un suelo saludable, aquel que tiene niveles bajos de patógenos y en el cual los cultivos se desarrollan óptimamente. En general, la mayoría de las prácticas agrícolas que mejoren las condiciones físico-químicas y biológicas, también tendrán un efecto positivo en la reducción de patógenos. Abawi y Widmer (2000), encontraron que las enfermedades de origen edáfico son más severas cuando las condiciones del terreno no son las óptimas para el desarrollo óptimo del cultivo como lo son: drenaje inadecuado, pobre estructura, bajo contenido de materia orgánica, baja fertilidad, alta compactación y baja diversidad biológica. Las prácticas culturales como la rotación de cultivos, cultivos de cobertura, labranza de conservación, enmiendas orgánicas; y en general todas aquellas tendientes a incrementar la biomasa microbiana y la actividad, dan como resultado el desarrollo de condiciones favorables para el desarrollo de la supresión de la enfermedad (Page et al., 2013; Bonilla et al., 2012).

Una supresión general de la enfermedad se refiere como una supresión relacionada a un incremento no específico en el tamaño y la actividad de la comunidad microbiana, dando como resultado un incremento en la competencia e interacciones (patógenos-benéficos), por lo cual se ve reducida la habilidad de los fitopatógenos para desarrollarse e infectar a las plantas. Lo anterior, está relacionado en la reducción de las poblaciones de los patógenos. Además, algunas prácticas culturales pueden estimular o favorecer grupos de organismos particulares que resultan en una supresión específica de la enfermedad (Janvier et al., 2007).



IV. Supresividad a fitopatógenos

Supresividad a *Rhizoctonia*

R. solani es un patógeno de mucha importancia agrícola y cosmopolita, causando grandes pérdidas a nivel mundial en un amplio número de cultivos. La disminución en la incidencia y severidad de ataque de *R. solani* ha sido documentada como respuesta a un incremento en el parasitismo por parte de *Trichoderma* spp., Liu y Baker (1980) lograron demostrar que el hongo micoparásito *T. harzianum* Rifai fue la causa principal de la disminución en la actividad patogénica de *R. solani*.

Así mismo, se demostró que en terrenos cultivados con manzano la supresividad a patógenos radicales ha estado asociada con el sistema radical por actinomicetes y varias especies de *Pseudomonas* Migula.

En general la severidad de la enfermedad, ha sido documentada en respuesta a la siembra continúa de una planta hospedante específica (monocultivo prolongado), y en general esto ha sido atribuido a un incremento en la presencia y parasitismo del hongo antagonista *Trichoderma* spp.; Chet y Baker (1980) demostraron que el pH tiene una influencia indirecta sobre el fenómeno de supresividad a *R. solani* a través de su impacto en las poblaciones de *T. harzianum*; afectando el crecimiento y la germinación de conidios de este hongo biocontrolador.

Supresividad a *Fusarium*

El hongo *F. oxysporum* en sus formas especiales afecta a una gran variedad de plantas cultivadas como silvestres causando marchitamientos vasculares. Los suelos que naturalmente suprimen a este patógeno han sido identificados en números sistemas de cultivos y en varias regiones del mundo. Estos terrenos comparten varias características físico- químicas entre sí incluyendo ciertos niveles de pH y contenidos de materia orgánica.

La bacteria *Pseudomonas*, es un habitante común de suelos supresivos donde la supresión al patógeno parece estar relacionada a un antagonismo directo a través de la competencia por hierro, inhibición directa del crecimiento micelial del hongo e inducción de resistencia sistema inducida en la planta hospedante. Por lo tanto, es probable que estos elementos microbianos y otros de la microflora edáfica actúen de manera conjunta para la supresión de enfermedades causadas por *Fusarium* (Jayaraman et al., 2021; Siegel-Hertz et al., 2018).

Los niveles de pH afectan en gran medida a la comunidad microbiana, dando como resultado un favorecimiento de especies no patogénicas de *Fusarium* spp., lo cual induce resistencia sistémica en el hospedante y por ende se induce una competencia directa con el patógeno por nutrientes y sitio de infección. Esta supresión también está relacionada con alta población microbiana de la bacteria *P. fluorescens*, que induce respuestas de defensa en la planta y la liberación de sideróforos (Mousa y Raizada, 2016)

Investigaciones llevadas a cabo con grupos diversos de microorganismos aislados de suelo, indican que la supresividad estuvo directamente asociada a hongos saprófitos no patogénicos (Larkin, 2015). El mecanismo de acción de aislados representativos de estos aislamientos de hongos mostraron inducir resistencia sistémica inducida en los cultivos.

Supresividad a *Pythium*

El oomycete *Pythium*, es uno de los fitopatógenos más importantes, causante de diversas enfermedades en cultivos tales como damping off, pudriciones radiculares (Weiland, 2011). Las especies de *Pythium* son patógenos oportunistas que dependen de las propiedades del terreno, comunidad microbiana y del historial agronómico desarrollado en el cultivo, causando problemas patológicos cuando la supresividad se ve reducida (Postma et al., 2000). La supresividad a *Pythium* spp. ha sido asociada con γ -Proteobacteria, y otras bacterias benéficas, actinomycetes, y hongos, lo que sugiere diversos mecanismos antagonistas como micoparasitismo, producción de antibióticos o metabolitos secundarios, competencia por espacio o nutrientes y o la inducción de resistencia sistémica en la planta hospedante (Kilany et al., 2015). Diversos autores, mencionan que la supresividad a este patógeno está estrechamente ligada a condiciones bióticas, así como abióticas, incluyendo prácticas de manejo en el cultivo (Löbmann et al., 2016).

G. ultimum (sinonimia: *Pythium ultimum* Trow) es un patógeno importante causante de enfermedades como el damping-off y pudriciones radiculares en muchos cultivos dando como resultados una disminución en el crecimiento de la planta o muerte completa de ésta. Se encontró que la supresividad hacia este patógeno estaba asociada con un alto contenido de arcilla y alta capacidad de intercambio catiónico.

Así mismo, aquellos suelos que presentaron un alto contenido de arena y de materia orgánica mostraron una mayor supresividad a este patógeno. Lo anterior, sugiere que la supresividad a *Pythium* en sistemas agrícolas se presenta con frecuencia bajo condiciones de



altos niveles de fertilidad y de disponibilidad para los cultivos (Tamm et al., 2010). Altas concentraciones de nutrientes en el suelo promueven un crecimiento óptimo de las plantas y de manera indirecta se ve reducida la competencia por nutrientes con los microorganismos a nivel edáfico. Por otro lado, en condiciones limitadas de nutrientes la planta muestra deficiencias nutricionales, lo cual por lo general causa una mayor susceptibilidad a diferentes tipos de patógenos, de ahí la importancia de un balance de nutrientes en la supresividad (Ghorbani et al., 2008).

Existe una relación directa entre la disponibilidad de raíces sanas y vigorosas y un balance adecuado de nutrientes con la supresividad a *G. ultimum*. Prácticas de agricultura resiliente tales como siembra directa, labranza de conservación que permiten mantener de forma continua un sistema radicular en el terreno, de manera que se promuevan condiciones óptimas de suelo para la germinación y desarrollo de los cultivos favorecen la supresividad a patógenos (Löbmann et al., 2016).

Conclusiones

La supresividad en los suelos, se vislumbra como una alternativa agroecológica al manejo de enfermedades causadas por patógenos de suelos, en una agricultura cada vez más demandante de sostenibilidad y producción, y ante exigencias ambientales de reducción del uso de plaguicidas sintéticos. Sin embargo, aún queda mucho por investigar y mucha de esta investigación es necesaria en el campo de la ecología microbiana del suelo; se requieren más estudios para aclarar con mayor detalle lo que sucede en los suelos supresivos naturales y poder imitar estas características en suelos agrícolas. En tal sentido la evidencia científica aportada, puede ser de utilidad para favorecer y estimular la supresividad y para brindarles otra alternativa a los agricultores que permita mejorar los niveles de producción.

Literatura citada

- Abawi, G., & Widmer, T. (2000). Impact of soil health practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Appl. Soil Ecol.* 15, 37-47. DOI:[10.1016/S0929-1393\(00\)00070-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00070-6)
- Alabouvette, C, & Steinberg, C. (2006). The soil as a reservoir for antagonists to plant diseases. In: Eilenberg, J; Hokkanen, H.M.T (eds). *An ecological and societal approach*

to biological control. 2, 123-144. DOI: [10.1007/978-1-4020-4401-4_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4401-4_8)

- Aviles, M., Borrero, C., & Trillas, M. (2011). Review on compost as an inducer of disease suppression in plants grown in soilless culture. *Dyn. Soil Dyn. Plant* 5, 1–11. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/285886741_Review_on_compost_as_an_inducer_of_disease_suppression_in_plants_grown_in_soilless_culture
- Bhattacharyya, R., Chandra, S., Singh, R., Kundu, S., Srivasta, A., & Gupta, H. (2007). Long-term farmyard manure application effects on properties of a silty clay loam soil under irrigated wheat-soybean rotation. *Soil Tillage Res.* 94, 386–96. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.08.014>
- Biederbeck, V., Campbell, C., Rasiah, V., Zentner R., & Wen, G. (1998). Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manures. *Soil Biol. Biochem.* 30, 1177–85. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00150-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00150-8)
- Bonanomi, G., Antignani, C., Pane, C., & Scala, F. (2007) Suppression of soil borne fungal diseases with organic amendments. *J Plant Pathol* 89(3), 311–324.
- Bonilla, N, Cazorla, F., Martínez-Alonso, M., Hermoso, J., & González-Fernández, J. (2012). Organic amendments and land management affect bacterial community composition, diversity and biomass in avocado crop soils. *Plant Soil* 357, 215-26. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1155-1>
- Brady, N., & Weil, R. (2017). The nature and properties of soils. Boston, USA.: Pearson
- Carrascosa, M., Sanchez-Moreno, S., & Alonso-Prados, L. (2015). Effects of organic and conventional pesticides on plant biomass, nematode diversity and the structure of the soil food web. *Nematology*, 17, 11-26. DOI:[10.1163/15685411-00002849](https://doi.org/10.1163/15685411-00002849)
- Chet, I. & Baker, R. (1980). Induction of suppressiveness to *Rhizoctonia solani* in soil. *Phytopathology*. 70, 994-998. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-1372>
- Chang, T.J. (1994). Effects of soil compaction, temperature, and moisture on the development of the Fusarium root rot complex of pea in South Western Ontario. *Phytoprotection*, 75, 125-131. DOI: <https://doi.org/10.7202/706059ar>
- Chandrashekara, C., Bhatt, J., Kumar, R. & Chandrashekara, K. (2012). Suppressive Soils in Plant Disease Management. In Eco-friendly Innovative Approaches in Plant Disease Management. Publisher: International Book Distributors and Publisher, New Delhi,



Editors: V.K. Singh, Y. Singh, A. Singh.

- Cook, J. & Baker, K. (1983). *The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens*. American Phytopathological Society, St. Paul.
- D'Hose, T., Cougnon, M., De Vlieghe, A., Vandecasteele, B., & Viaene, N. (2014). The positive relationship between soil quality and crop production: a case study on the effect of farm compost application. *Appl. Soil Ecol.* 75, 189-98. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.11.013>
- Ghorbani, R., Wilcockson, S., Koocheki, A., & Leifert, C. (2008). Soil management for sustainable crop disease control: a review *Environ. Chem. Lett.*, 6, 149-162. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-008-0147-0>
- Hadar, Y., & Papadopoulou, K. (2012). Suppressive composts: microbial ecology links between abiotic environments and healthy plants. *Annu. Rev. Phytopathol.* 50:133-53. DOI: [10.1146/annurev-phyto-081211-172914](https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-081211-172914)
- Janvier, C., Villeneuve, F., Alabouvette, A., Edel-Hermann, V., Mateille, T; Steinberg, C. (2007). Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators. *Soil Biol. Biochem.* 39,1-23. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.001>
- Jayaraman, S., Naorem, A., Lal, R., Dalal, R., Sinha, N., Patra, A., & Chaudhari, S. (2021). Disease-Suppressive Soils-Beyond Food Production: a Critical Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, (21), 1437–1465. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-021-00451-x>
- Kassam, A.H; Friedrich, T; Shaxson, F; Pretty, J. (2009). The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.* 7, 292-320. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0477>
- Kilany, M., Ibrahim, E., Amry, S., Roman, A. & Siddiqi, S. (2015). Microbial suppressiveness of Pythium damping-off diseases. In M.K. Meghvansi, A. Varma (Eds.), *Organic Amendments and Soil Suppressiveness in Plant Disease Management*, Springer, Berlin.
- Larkin, R.P. (2015). Soil Health Paradigms and Implications for Disease Management. *Annu. Rev. Phytopathol.* 53, 199-221. DOI: [10.1146/annurev-phyto-080614-120357](https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120357)
- Liu, S. & Baker, R. (1980). Mechanism of biological control in soil suppressive to *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology* 70, 404-412. 1980. DOI: [10.1094/Phyto-70-404](https://doi.org/10.1094/Phyto-70-404)

- Löbmann, M., Vetukuri, R., de Zinger, L., Alsanus, B., Grenville-Briggs, L. & Walter, A.J. (2016). The occurrence of pathogen suppressive soils in Sweden in relation to soil biota, soil properties, and farming practices. *Applied Soil Ecology*, 107, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.05.011>
- Magdoff, F. (2001). Concepts, components, and strategies of soil health in agroecosystems. *J. Nematol.* 33, 169–72. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19265876/>
- Mousa, W. & Raizada, M. (2016). Natural Disease Control in Cereal Grains. Reference Module in Food Science. Elsevier. DOI:[10.1016/B978-0-08-100596-5.00206-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00206-7)
- Njira, K. & Nabwami, J. (2013). Soil management practices that improve soil health: elucidating their implications on biological indicators. *J. Anim. Plant Sci.* 18:2750-60. Recuperado de <https://www.m.elewa.org/JAPS/2013/18.2/3.pdf>
- Page, K., Dang, Y. & Dalal, R. (2013). Impacts of conservation tillage on soil quality, including soil-borne diseases, with a focus on semi-arid grain cropping systems. *Aust. Plant Pathol.* 42, 363-77. DOI:[10.1007/s13313-013-0198-y](https://doi.org/10.1007/s13313-013-0198-y)
- Postma, J., Willemsen de Klein, M., & van Elsas, J. (2000). Effect of the Indigenous Microflora on the Development of Root and Crown Rot Caused by *Pythium aphanidermatum* in Cucumber Grown on Rockwool. *Phytopathology*.90(2),125-33. DOI: [10.1094/PHYTO.2000.90.2.125](https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.2.125).
- Saison, C; Degrange, V; Oliver, R; Millard, P; Commeaux, C. (2006). Alteration and resilience of the soil microbial community following compost amendment: effects of compost level and compost-borne microbial community. *Environ. Microbiol.* 8(2), 47-57. DOI:[10.1111/j.1462-2920.2005.00892.x](https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2005.00892.x)
- Siegel-Hertz, K., Edel-Hermann, V., Chapelle, E., Terrat, S., Raaijmakers, J. M., & Steinberg, C. (2018). Comparative Microbiome Analysis of a *Fusarium* Wilt Suppressing Soil and a *Fusarium* Wilt Conducive Soil From the Châteaurenard Region. *Frontiers in microbiology*, 9, 568. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00568>
- Stubbs, T., Kennedy, A., & Schillinger, W. (2004). Soil ecosystem changes during the transition to no-till cropping. *J. Crop Improv.* 11:105–135. https://doi.org/10.1300/J411v11n01_06
- Tamm, L., Thürig, B., Bruns, C., Fuchs, J., Köpke, U., Laustela, M., Leifert, C., Mahlberg, N., Nietlispach, B., Schmidt, C., Weber, F., & Fließbach, A. (2010). Soil type,



management history, and soil amendments influence the development of soil-borne (*Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*) and air-borne (*Phytophthora infestans*, *Hyaloperonospora parasitica*) diseases. *European Journal of Plant Pathology*, 127, 465-481. DOI:[10.1007/s10658-010-9612-2](https://doi.org/10.1007/s10658-010-9612-2)

Termorshuizen, A., van Rijn, E., van der Gaag, D., Alabouvette, C., Chen, Y., Lagerlöf, J., Malandrakis, A., Paplomatas, E., Rämert, B., Ryckeboer, J., Steinberg, C., & Zmora-Nahum, S. (2006). Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response. *Soil Biology and Biochemistry*. 38, 2461–2477. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.03.002>

Weiland, J. E. (2011). *Influence of isolation method on recovery of Pythium species from forest nursery soils in Oregon and Washington*. *Plant Dis.* 95:547-553. DOI: [10.1094/PDIS-04-10-0242](https://doi.org/10.1094/PDIS-04-10-0242)

