

Interacción de la Microbiología del Suelo con la Agricultura Orgánica



**ORGANIC
FARMING**
RESEARCH
FOUNDATION

SUELO SALUDABLE

Para proteger las plantas contra enfermedades y mantener el suelo saludable y productivo, la agricultura orgánica recurre a una diversidad de comunidades de microorganismos. Estos microorganismos, como: bacterias, hongos unicelulares, microalgas y protozoos forman parte del ecosistema del suelo y, junto con las plantas y los animales, dependen de éste para sobrevivir. Todos estos microorganismos forman la microfauna y la microflora del suelo y constituyen la base de la cadena alimenticia (Figura 1); ésta cadena juega un papel muy importante en el ciclo de los nutrientes que mantienen la vida de plantas y animales. Como agentes de cambios biológicos, químicos y físicos, estos microorganismos transforman las propiedades del suelo.

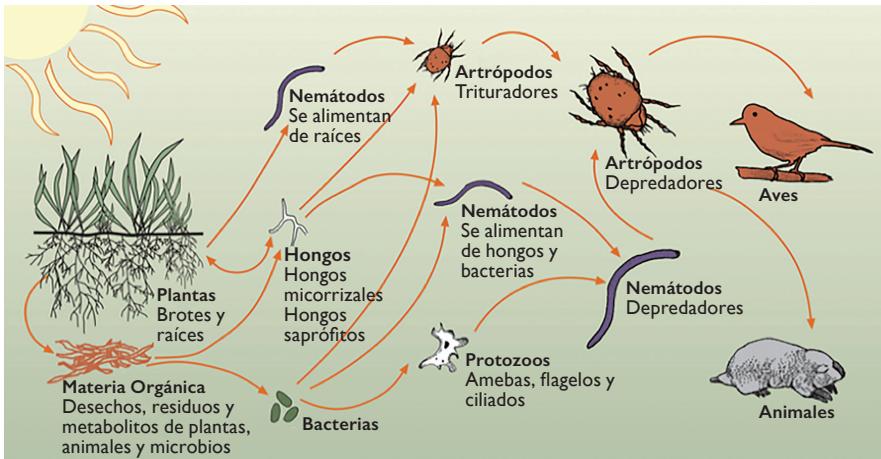


Figura 1: La cadena alimenticia del suelo (Fuente: Ingham, 2000)

La calidad del suelo se puede medir en diferentes formas. Un suelo saludable tiene grandes y diversas poblaciones de microorganismos, cuenta con abundante materia orgánica y resiste las alteraciones causadas por la labranza, la sequía y las inundaciones (Doran y Zeiss, 2000). La monocultura, en combinación con el aumento en el uso intensivo de insumos químicos, disminuye la calidad y la biodiversidad del ecosistema del suelo, imposibilitando su resiliencia, sostenibilidad y productividad a largo plazo (Postma-Blaauw et al., 2012). Estos métodos de cultivo exponen al suelo a los daños causados por los cambios adversos del clima y a la infestación fácil de plagas y enfermedades, condiciones que reducen su productividad.

Un suelo de mejor calidad produce mejores cosechas lo que, a largo plazo, resulta en mayores ganancias para los agricultores. Para elevar la calidad del suelo, los agricultores deben utilizar técnicas de mejoramiento que mantengan o aumenten la cantidad de materia orgánica en él. Estas técnicas incluyen el uso de cultivos de cobertura y la incorporación de abono vegetal o composta. La rotación de cultivos y los cultivos intercalados también son técnicas clave para la diversificación del sistema ecológico del suelo, a lo largo del tiempo.

Unos veinte años atrás, la mayoría de indicadores de la calidad del suelo estaban enfocados solamente en sus características químicas y físicas; ahora, tenemos un mejor entendimiento de la ecología del suelo, por lo que sabemos que su salud está constituida por la vida que existe en él. Mientras que las características químicas y físicas del suelo cambian lentamente de un año a otro, la biología que existe en él tiene propiedades dinámicas que

ejercen efectos directos en su química y estructura. Para medir la actividad microbiológica del suelo y calcular los servicios que los microorganismos proveen al ecosistema, se toman en cuenta las poblaciones de especies selectas, la biomasa microbiana, el ritmo respiratorio y la actividad enzimática que ocurre dentro del suelo.

Hay varios métodos para regenerar la salud del suelo, entre estos tenemos: mejoramiento del suelo para la salud y nutrición de las plantas, descontaminación biológica y el desarrollo de organismos benéficos. Todos estos métodos se complementan entre sí y utilizan los mismos principios de la ecología del suelo.

Tabla 1. Las Mejores Prácticas para la Salud del Suelo

• Mantener y generar materia orgánica por medio de la siembra de cultivos de cobertura y aplicación de abono vegetal (composta).
• Efectuar rotaciones de cultivos, anualmente, para combatir agentes patógenos.
• Intercalar cultivos o sembrar cultivos mixtos, donde sea posible, para proveer un hábitat diverso.
• Usar semillas sin enfermedades ni contaminación.
• Reponer los nutrientes extraídos durante la temporada de cultivo aplicando insumos vegetales, animales y minerales.
• Evitar nutrientes de alta solubilidad, sobre todo los que tienen un alto índice de sal o que contienen elementos contaminantes.
• Cuando se cultiven leguminosas hay que inocular la semilla con bacterias rizobias; éstas tienen una relación simbiótica con las plantas de esta familia.
• Inocular la semilla con tratamientos que estén constituidos por microorganismos benéficos que protegen las plántulas contra enfermedades originadas en suelo.

SALUD Y NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS

Las plantas requieren aire, agua y nutrientes para sobrevivir; sin embargo, la base de su salud es la porción biológica que va más allá de la simple sobrevivencia y productividad. La mayoría de las plantas terrestres se ha adaptado a crecer en suelos cuyas condiciones contienen microorganismos simbióticos, mutualistas y parasíticos. Aunque los estudios sobre enfermedades de las plantas se han enfocado en las interacciones parasíticas o patológicas, el gran beneficio de las relaciones entre plantas y microorganismos ha sido reconocido desde hace tiempo. Una de esas interacciones que ha sido más estudiada es la de la bacteria rizobia y su simbiosis con las plantas leguminosas; esta bacteria tiene la habilidad de almacenar el nitrógeno en las raíces para luego ponerlo a disposición de las plantas. Las plantas que pertenecen a la familia de las leguminosas (frijol, arveja o chícharo, etc.) tienen la capacidad de atrapar el nitrógeno que se encuentra en la atmósfera.

Un suelo con un ecosistema saludable y equilibrado, proporciona el ambiente ideal para la producción de cosechas y no necesita la aplicación de insumos sintéticos o químicos ni empaparlos con plaguicidas. La reposición y generación de materia orgánica en el suelo permite que los ciclos de los nutrientes, como el nitrógeno, se desarrollen de manera sostenible. Las fuentes de materia orgánica para el suelo incluyen cultivos de cobertura, abono vegetal o composta y otros materiales o aditivos de origen vegetal y animal. Los

cultivos de cobertura se cortan y se incorporan al suelo cuando empiezan a florecer. El abono vegetal es la materia orgánica descompuesta repleta de microorganismos que hacen posible el ciclo de los nutrientes y así crear suelos saludables. Los suelos con abundante materia orgánica están protegidos contra la filtración, arrastre (lixiviación) y volatilización del nitrógeno (Kramer et al., 2006). Los microorganismos del suelo también ponen otros nutrientes a disposición de las plantas (biodisponibilidad) a través de la descomposición de la materia orgánica y su reacción bioquímica con la porción mineral del suelo.



La doctora Gladis Zinati investigadora del Instituto Rodale.

El instituto Rodale provee investigación y guías para la elaboración óptima de composta orgánica y extracto de composta. Más información: <http://rodaleinstitute.org/improved-compost-management-for-certified-organic-operations/>

Aparte de las bacterias, existen en el suelo otros microorganismos muy importantes; estos son los hongos, que cumplen funciones simbióticas específicas en el desarrollo de las plantas. Entre estos tenemos los hongos **micorizas arbusculo-vesiculares** (VAM por sus siglas en inglés), que segregan varias enzimas y otras sustancias. Éstos se pegan a las raíces, haciendo así posible que las plantas adquieran fácilmente los nutrientes que por sí solas no pueden obtener directamente del suelo.

Los nutrientes llegan a estar a la disposición de las plantas de manera biológica (biodisponibles), después de ser liberadas del mineral o la materia orgánica del suelo; así, las raíces de las plantas y otros organismos del suelo los pueden absorber.

En cuanto a la nutrición de los cultivos, la biodisponibilidad es algo bueno, pues facilita que el suelo alimente las plantas; sin embargo, cuando el suelo está contaminado con metales pesados, ésta puede ser perjudicial porque las plantas absorben esos contaminantes dañando, en consecuencia, a las personas y animales que las consumen.

DESCONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

La descontaminación biológica en los suelos agrícolas es necesaria porque el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos o químicos en la agricultura convencional, la contaminación industrial y la deposición atmosférica lo han contaminado enormemente. Algunos contaminantes pueden permanecer por años en el suelo convirtiéndose en amenaza grave para las plantas y animales. En el proceso de transición hacia la agricultura orgánica, los agricultores se enfrentan al desafío de la descontaminación de los suelos contaminados.

La descontaminación biológica es un proceso intencional que se usa para eliminar los contaminantes ambientales de sitios contaminados (Madsen, 2003). Otros contaminantes que se pueden extraer por medio de la descontaminación biológica son los que quedan como resultado de los procesos industriales y desechos peligrosos. Este proceso incluye el uso de microorganismos, hongos y plantas que tienen la capacidad de descomponer, capturar o eliminar los contaminantes del suelo, tales como fertilizantes y pesticidas agrícolas (Figura 2).

A través de una serie compleja de interacciones metabólicas, frecuentemente con la participación de una diversidad de



Figura 2. Plántula

diferentes organismos, los contaminantes indeseados se pueden descomponer, inmovilizar o extraer. Los agricultores orgánicos pueden escoger la técnica de descontaminación biológica más apropiada a su finca, basados en los contaminantes, el tipo de su suelo, las condiciones climáticas y la comunidad biótica presente.

Un método de descontaminación biológica incluye la participación de organismos que descomponen, hacen que se descompongan o inmovilizan diferentes contaminantes. También hay varios inoculantes microbianos que introducen bacterias benéficas u hongos en las semillas y en el suelo. Las plantas que se siembran como cultivos de cobertura o cultivos de captura también ayudan a descomponer o extraer varios contaminantes del suelo.

Los insumos agrícolas también pueden cambiar la mezcla de organismos; por ejemplo, los que tienen superficies duras que tardan mucho tiempo para descomponerse, como los caparazones de cangrejos; éstos tienen una capa de "quitina" que necesita descomponerse. Los microorganismos que descomponen la quitina, también pueden destruir los nematodos que comen plantas, destruyendo sus caparazones. La cascarilla de ajonjolí también destruye nematodos perjudiciales o patógenos.

A pesar de todo lo anterior, hay circunstancias en las que la descontaminación biológica, puede empeorar una situación de contaminación haciendo que los contaminantes se hagan más biodisponibles. Para evitar esto, es muy importante realizar una prueba de laboratorio antes de aplicar este método en el terreno.

Los contaminantes principales, como el arsénico, el plomo y el cadmio no son biodegradables, por lo que sólo se pueden aislar y/o extraer. En estos casos, los tratamientos que se utilicen deben combinar microorganismos que los transformen para que, una vez transformados, estén biodisponibles a las plantas que puedan acumularlos en grandes cantidades. Cuando estas plantas hayan absorbido esos contaminantes se deben arrancar y desechar, de lo contrario, los contaminantes estarán concentrados en la materia orgánica y, de algún modo, biodisponibles en el terreno.

Aunque la mayoría de contaminantes a base de carbono se descomponen más rápido con una actividad biológica mayor, algunos, como los hidrocarburos clorados realmente se hacen más resistentes, máxime en un suelo con un alto nivel de materia orgánica. Con tantos contaminantes diferentes, las condiciones ambientales y los diferentes enfoques de tratamiento, encontrar una solución exitosa requiere de mucha investigación, experimentos y pruebas para descontaminar un área determinada (Megharaj et al., 2011). La descontaminación biológica se está volviendo más rentable en comparación con los métodos químicos y físicos, cuyos costos, inconveniencias y desventajas están en aumento.

BENEFICIOS DE LA MICROBIOLOGÍA EN EL CONTROL DE ENFERMEDADES Y MALEZAS

Bajo condiciones normales, los patógenos del suelo juegan un papel importante en el ecosistema agrícola, pues ayudan a la descomposición del tejido vegetal. El brote severo de enfermedades es síntoma de desequilibrio en un sistema; puede ser exceso o deficiencia de un nutriente, carencia de diversidad genética o resultados del monocultivo como método de producción. Este desequilibrio permite el desarrollo de una población enorme de un solo tipo de organismos parásitos, con graves consecuencias. El control biológico, que emplea organismos del suelo, funciona a través de varios métodos de acción como: exclusión competitiva, hiperparasitismo (dominado por parásitos), producción natural de antibióticos, sistema de resistencia adquirida y sistema de resistencia inducida.

En el método de acción competitiva, un organismo crea un ambiente desagradable que, de manera efectiva, evita que otro organismo se establezca; en otras palabras, lo ahuyenta sin matarlo directamente. Un ejemplo de este método es la creación de una capa delgada en la superficie de la raíz para evitar que los patógenos logren infectar la planta.

La micorriza, que permite que las plantas obtengan biológicamente los nutrientes que necesitan, también puede convertirse en enemiga hostil de una cantidad de microbios patógenos oportunistas que atacan las plantas (Azcón-Aguilar and Barea, 1997). Algunos de estos microorganismos producen antibióticos naturales como la estreptomina que se ha convertido en la fuente comercial de antibióticos. Estos antibióticos destruyen los diferentes patógenos del suelo del mismo modo que los destruyen en las personas y los animales; los microorganismos producen el antibiótico que mata los patógenos que se exponen a él.

Hay algunos organismos específicos que protegen las semillas y las plántulas contra varias enfermedades; por ejemplo, varias especies de bacilos, trichodermas y pseudomonas que protegen las raíces de las plantas contra enfermedades infecciosas (Trabelsi and Mhamdi, 2013). Estos organismos se introducen en el suelo por medio de inoculación. La efectividad de los inoculantes en el suelo varía considerablemente. El control biológico de los inoculantes no se ha llegado a comprender muy bien, como se comprende la fijación de nitrógeno por medio de las bacterias rizobias; las circunstancias en las que los inoculantes funcionan o no, aún están bajo investigación.

La Fundación para la Investigación de la Agricultura Orgánica (OFRF por sus siglas en inglés) ha financiado tres proyectos para investigar la capacidad de los microorganismos benéficos para fortalecer la agricultura orgánica. Carr (2016) investigó los beneficios de usar composta para introducir microorganismos que puedan proteger a las plántulas contra podredumbre del semillero, enfermedad causada por una especie de *pythium* (Carr 2016). Nebert observó la desinfección e inoculación de semillas como una manera de evitar o prevenir las enfermedades originadas en la semilla, particularmente la enfermedad *fusarium* (Nebert et al., 2016; figura 3). Zinati investigó el uso de extracto de composta para impedir la germinación de la semilla de maleza y así reducir su competencia con los cultivos (Zinati, 2015). Estos proyectos destacan el potencial de las nuevas investigaciones para explorar el papel beneficioso que los microorganismos desempeñan en la producción agrícola orgánica.



Figura 3. Infección de *fusarium* en semilla de maíz. (Foto: Lucas Nebert)

CONCLUSIÓN

La salud y la calidad del suelo se pueden restaurar y mejorar trabajando con los sistemas naturales para favorecer el ciclo de los nutrientes y aumentar la biodiversidad del sistema. La descontaminación biológica es capaz de limpiar los suelos contaminados introduciendo organismos que se especializan en la desintegración o absorción de contaminantes determinados. Las plantas se pueden proteger de plagas y enfermedades al alojar microorganismos benéficos y crear hábitats que aumenten su actividad biológica. El suelo se cimienta en la cadena compleja de organismos; su salud depende totalmente de que esa cadena se mantenga vibrante, activa y dinámica.

RECURSOS ADICIONALES

USDA Natural Resources Conservation Service
http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/biology/?cid=nrcs142p2_053868

Ingham, E. 2000. *Soil Biology Primer*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, USA www.mdpi.com/2071-1050/7/1/988/pdf

Rodale Institute, *Improved Compost Management for Certified Organic Operations*
<http://rodaleinstitute.org/improved-compost-management-for-certified-organic-operations/>

ESCRITO POR

Brian Baker
 Diana Jerkins
 Joanna Ory
 Vicki Lowell
 Larissa Hernandez
 Alejandro Tecum

FUENTES

Azcón-Aguilar, C. and Barea, J. 1997. "Arbuscular Mycorrhizas and Biological Control of Soil-Borne Plant Pathogens—an Overview of the Mechanisms Involved." *Mycorrhiza* 6 (6): 457–64.

Carr, R. 2016. "Deploying Microbes as a Seed Treatment for Protection against Soil-Borne Plant Pathogens." Rodale Institute. More information at OFRF:
<http://ofrf.org/research/grants/outcome-deploying-microbes-seed-treatment-protection-against-soil-borne-plant>

Doran, J.W. and Zeiss, M. 2000. "Soil Health and Sustainability: Managing the Biotic Component of Soil Quality." *Applied Soil Ecology* 15 (1): 3–11.

Ettema, Christien H. 1998. "Soil Nematode Diversity: Species Coexistence and Ecosystem Function." *Journal of Nematology* 30 (2): 159–69.

Kramer, S., Reganold, J., Glover, J., Bohannon, B., and Mooney, H. 2006. "Reduced Nitrate Leaching and Enhanced Denitrifier Activity and Efficiency in Organically Fertilized Soils." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103 (12): 4522–27.

Madsen, E. 2003. *Report on Bioavailability of Chemical Wastes with Respect to the Potential for Soil Bioremediation*. US Environmental Protection Agency, National Center for Environmental Research.

Megharaj, M., Ramakrishnan, B., Venkateswarlu, K., Sethunathan, N., and Naidu, R. 2011. "Bioremediation Approaches for Organic Pollutants: A Critical Perspective." *Environment International* 37 (8): 1362–75.

Nebert, L., Bohannon, B., Ocamb, C., Still, A., Kleeger, S., Bramlett, J., and Heisler, C. 2016. "Managing Indigenous Seed-Inhabiting Microbes for Biological Control against *Fusarium* Pathogens in Corn." University of Oregon. More information at OFRF:
<http://ofrf.org/research/grants/outcome-managing-indigenous-seed-inhabiting-microbes-biological-control-against>

Postma-Blaauw, M., de Goede, R., Bloem, J., Faber, J., and Brussaard, L. 2012. "Agricultural Intensification and de-Intensification Differentially Affect Taxonomic Diversity of Predatory Mites, Earthworms, Enchytraeids, Nematodes and Bacteria." *Applied Soil Ecology* 57: 39–49.

Trabelsi, D. and Mhamdi, R. 2013. "Microbial Inoculants and Their Impact on Soil Microbial Communities: A Review." *BioMed Research International* 2013. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2013/863240>.

Zinati, Gladys. 2015. "Effect of Compost Extracts on Organic Seed Germination and Reduction of Weed Seed Expression." Rodale Institute. More information at OFRF: <http://ofrf.org/sites/ofrf.org/files/staff/OFRF%20FINAL%20REPORT-Zinati%202015-Compost%20Extracts-WEEDS.pdf>.



La Fundación para la Investigación de la Agricultura Orgánica (OFRF) se afana para promover el mejoramiento y la adopción generalizada de sistemas agrícolas orgánicos.

La Fundación impulsa la investigación orgánica, la educación y las políticas federales que atraen a más agricultores y áreas cultivables a la producción orgánica.

ORGANIC FARMING
RESEARCH FOUNDATION
P.O. Box 440
Santa Cruz, CA 95061
831.426.6606
info@ofrf.org
www.ofrf.org

Agradecemos a UNFI por apoyar este proyecto.