

RELEVANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

2

Cecilia Céspedes

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Paz Millas

Ingeniero Agrónomo, Dr. Cs.

Investigadoras INIA Quilamapu

La materia orgánica del suelo (MOS) está formada por compuestos que provienen de restos de organismos, ya sea plantas y animales, y sus productos de desecho. La naturaleza química de la MOS está constituida por una serie de compuestos de complejidad variable en un continuo estado de transformación, desde los residuos de cultivos y animales recientemente incorporados hasta la compleja estructura del humus alcanzada después de períodos muy extensos de transformación.

La MOS corresponde a materiales carbonados en distintos grados de descomposición. Su permanencia en el suelo es muy variable, desde semanas a siglos. En la medida que la descomposición avanza se van obteniendo fracciones cada vez más resistentes y con características distintas al material original. Es posible separarla de acuerdo a su tamaño y velocidad de descomposición; las fracciones más abundantes en el suelo se descomponen más lentamente, por ello se requieren muchos años para observar diferencias en esta fracción. Por otra parte, los materiales más jóvenes o menos transformados, sean residuos de cultivos o sus productos de transformación, son biológicamente más activos, responsables de la rápida caída del contenido de MOS al cultivar suelos vírgenes ya que son fácilmente afectados por el manejo agronómico.

Según sus características biológicas, la MOS se divide en dos fracciones: una lábil, conformada por material en transición entre los residuos vegetales frescos y la materia orgánica húmica, y una estable, formada por materia orgánica más transformada, constituida principalmente por sustancias húmicas. La fracción estable tiene una relación carbono/nitrógeno (C/N) más estrecha y una densidad específica más alta que la fracción lábil, por lo que también se le denomina fracción pesada de la MO.

La complejidad de la estructura química de la fracción estable, junto con la fuerte asociación con los minerales del suelo, hacen que ésta sea altamente resistente a la descomposición microbiana, teniendo períodos de permanencia en el suelo de cientos de años, por lo que es la fracción que tiene más importancia en determinaciones de secuestro de (C). La fracción estable de la MO tiene una influencia importante en las características físicas y químicas de los suelos, tales como capacidad de retención de humedad, adsorción, densidad aparente, etc.; sin embargo, tiene poca o ninguna influencia en indicadores biológicos tales como actividad y biomasa microbiana.

A diferencia de la fracción estable, la fracción lábil tiene períodos cortos de permanencia en el suelo, que van desde 1 a 10 años. Los cambios inducidos por el manejo agronómico son mucho más notorios en la fracción lábil que en la fracción estable. Variaciones importantes en el sistema suelo, como la conversión desde vegetación nativa a suelos agrícolas, produce cambios en ambas fracciones. Sin embargo, las disminuciones son mucho más marcadas y ocurren primero en la fracción lábil. Por otra parte, la incorporación de materia orgánica al suelo, ya sea como enmiendas orgánicas o residuos, producen cambios muy pequeños en la MO total, pero son rápidamente detectados al medir la fracción lábil, por lo cual puede usarse como indicador del efecto de algunas prácticas sobre la calidad del suelo, como la rotación de cultivos, el sistema de labranza u otras.

La fracción lábil de la MOS representa sólo una pequeña porción de la masa total del suelo; sin embargo, constituye la principal fuente de alimento y energía para la biomasa microbiana del suelo. Dentro de esta fracción se han identificado varias subfracciones: la materia orgánica particulada (MOP), la biomasa microbiana, el Carbono soluble, el Carbono potencialmente mineralizable y el Carbono extractable.

La MOS suele ser separada en sustancias húmicas y no húmicas. Las no húmicas incluyen aquellas cuyas características físicas y químicas pueden ser reconocibles por sus carbohidratos, proteínas, péptidos, aminoácidos, grasas, ceras y ácidos orgánicos de peso molecular bajo. Muchos de esos compuestos son atacados relativamente rápido por microorganismos y tienen, por lo general, un corto periodo de vida en los suelos, y es la fracción lábil de la materia orgánica. Por el contrario, las sustancias húmicas no tienen características físicas y químicas específicas, son de color oscuro, ácidas, predominantemente aromáticas, hidrofílicas y químicamente complejas. Estos materiales se dividen comúnmente en tres fracciones principales: ácidos húmicos (AH), que son solubles en un álcali diluido; los ácidos fúlvicos (AF) que corresponden a la fracción húmica que queda en solución cuando el extracto alcalino es acidificado, y las huminas (H), fracción que no puede ser extraída por una dilución básica o ácida. Estructuralmente las tres fracciones son similares, pero difieren en el peso molecular. La estructura química y propiedades de la fracción húmica es similar a las de los ácidos húmicos, pero la insolubilidad de las huminas se debe a que están firmemente adsorbidas o unidas al suelo inorgánico.

2.1. Formación del suelo y la materia orgánica

Los minerales que constituyen las rocas que dan origen al suelo son inestables bajo condiciones normales de la superficie de la tierra, como temperatura, presión, agua, oxígeno y dióxido de carbono. Las sustancias orgánicas que constituyen las plantas vivas también son inestables después de su muerte. La formación de suelos comienza cuando los organismos vivos colonizan las rocas. La actividad biológica y la humificación de la materia orgánica aceleran la meteorización. De esta forma, la humificación y meteorización son reacciones que permiten estabilizar las rocas meteorizadas y la materia orgánica formando el suelo.

En el proceso de formación de la MOS, la flora y fauna que vive en el suelo juega un rol fundamental. Algunas bacterias y hongos son los microorganismos dominantes al inicio. Ellos dependen de materiales orgánicos como fuente de energía, que si es abundante permite que los microorganismos crezcan rápido. Por ello, al inicio hay un periodo de crecimiento rápido mientras consumen los productos fácilmente metabolizables. Luego le sigue un periodo más lento, donde se consumen los productos residuales menos disponibles.

La formación de la MOS no sólo es un proceso de degradación. Los microorganismos que son muy activos en la descomposición de residuos de plantas y animales, usan una porción de la energía liberada en la construcción de sus propios cuerpos, que pasa a ser una parte considerable de la MOS, conteniendo los mismos elementos que los materiales que le dieron origen, pero muy diferentes desde una perspectiva de sus características físicas y químicas. Así, se produce un proceso de descomposición en primer lugar y luego uno de síntesis. Sin embargo, ambos procesos ocurren en forma simultánea y los factores que afectan a uno también afectan al otro, pero no siempre de la misma manera. Por ejemplo, las temperaturas altas pueden provocar máximas tasas de descomposición, pero una mínima síntesis por unidad de material, y las bajas temperaturas pueden producir el efecto inverso. En el suelo, las porciones de materia orgánica que provienen de residuos de plantas y animales y las que tienen un origen microbiológico están mezcladas, lo que contribuye a la complejidad de su naturaleza.

El origen del suelo tiene gran influencia en el contenido de carbono orgánico. Por este motivo, es posible encontrar marcadas diferencias entre los contenidos promedio de MOS en las distintas áreas agroecológicas y series de suelo dentro de cada área (Cuadro 2.1.).

Cuadro 2.1. Contenido promedio de materia orgánica (MO) (%) de las principales series de suelos de las áreas agroclimáticas de la Región de Biobío.

Precordillera		Valle central		Secano interior		Cordillera de la costa		Secano costero	
Serie	MO	Serie	MO	Serie	MO	Serie	MO	Serie	MO
San Fabián	17,4	Arenales	1,2	Cauquenes	3,3	San Esteban	3,1	Tomé	2,2
Santa Bárbara	17,0	Bulnes	4,5	Pocillas	3,3	Nahuelbuta	5,3	Cobquecura	5,8
Arrayán	12,7	Chacayal	8,6	Quella	5,5	Constitución	4,5	Caripilún	4,8
Coreo	1,5	Mirador	5,3					Merilupo	6,7
Collipulli	5,7	Arrayán	12,7						

Fuente: Stolpe, 2006.

2.2. Efectos de la materia orgánica sobre las características del suelo

Una renovada valoración de la MOS, en toda su asombrosa complejidad, comenzó a fines del siglo 20 y continúa hasta estos días. En la actualidad se valora la influencia de la MOS en las propiedades físicas, químicas y biológicas

del suelo, ya que es un componente clave que afecta muchas reacciones que ocurren en el ecosistema suelo, por ello es un factor importante para realizar la mayoría de las otras funciones específicas fundamentales en la promoción del crecimiento vegetal.

La MOS tiene un efecto positivo en la estructura del suelo, ya que es un componente cementante que permite mantener unidas las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla), en conglomerados de mayor tamaño, que al unirse dejan poros entre ellos, los que sirven de sitios donde la materia orgánica queda ocluida y los microorganismos del suelo encuentran su hábitat. Esa red de poros interconectados además permite retener agua en cantidades suficientes y con apropiado potencial de energía, para que esté disponible para la absorción por parte de las raíces, de manera casi continua, junto con proporcionar vías de baja resistencia física al crecimiento de la raíz, al suministro de oxígeno, eliminación de dióxido de carbono, gases tóxicos y al almacenamiento, translocación y descontaminación del agua.

Los microorganismos que se alimentan de la MOS son los descomponedores, que participan en la mineralización de compuestos orgánicos, dejando disponibles nutrientes para las plantas, a través del tiempo y espacio. Por ello, al aplicar materia orgánica se incrementa la biomasa microbiana del suelo.

Experimentos realizados por el INIA indican que con aplicaciones periódicas de compost en el mediano plazo se incrementa la cantidad de microorganismos presentes en el suelo. Dichos microorganismos participan en el suelo en los ciclos de los nutrientes que provienen de rocas (geológicos). Cada nutriente tiene su propio y único ciclo químico, pero todos tienen características en común y requieren de organismos (biológicos) para sus transformaciones, por lo cual se los denomina ciclos bio-geo-químicos. Además de estas funciones, existen microorganismos en el suelo que liberan promotores del crecimiento para las plantas, otros que son antagonistas de enfermedades y plagas, por lo que reducen los problemas sanitarios de los cultivos. Todas estas funciones están muy influenciadas por el aumento en el contenido de materia orgánica de los suelos. Los altos niveles de MOS están asociados con el incremento de la agregación, la menor erosión y escorrentía superficial, la mejor infiltración, el movimiento y la retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de nutrientes, el vigor de

los cultivos y la reducción de la presión de plagas y enfermedades de plantas (supresión), entre otros factores favorables del suelo.

2.3. Prácticas de manejo que influyen sobre el contenido de materia orgánica del suelo

Las prácticas de manejo agronómico ejercen una influencia considerable en el equilibrio entre entradas y salidas de carbono en el suelo. La materia orgánica se acumula en el suelo en la medida en que las ganancias superan las pérdidas. Excepto en lugares donde los suelos desérticos se someten a la producción de cultivos bajo riego, el cambio de uso de suelo de vegetación natural a agricultura se traduce en una marcada disminución en los niveles de MOS. En general, cuando el suelo es cultivado, disminuye tanto el carbono orgánico como el nitrógeno, conduciendo a la disminución de la fertilidad. En relación a la vegetación natural, los sistemas agrícolas casi siempre provocan mayores pérdidas de carbono que ganancias. La baja entrada de carbono, por lo general, no se debe a la reducción de la productividad primaria neta en la agricultura, sino más bien a su extracción y a la eliminación de gran parte de la biomasa de la planta producida sobre el suelo. Además, las prácticas agrícolas, especialmente la labranza intensiva, aceleran la pérdida de carbono del suelo por la respiración microbiana y la erosión, conduciendo a la degradación de los suelos.

Una forma por la cual los agricultores podrían aumentar la cantidad de carbono en el suelo y mitigar algunas emisiones de CO₂ que contribuyen al cambio climático, podría ser volver a los bosques o vegetación herbácea natural, lo que no es posible, dada la necesidad de producir alimentos. Menos aún si se considera que la restauración de los niveles de MOS es un proceso bastante lento. Así, el 20 a 30% de la MOS se pierde en sólo 2 años de cultivo intensivo, mientras la restauración de esta MOS mediante la vegetación natural puede tardar hasta 35 años.

Sin embargo, existen prácticas que contribuyen a la mantención o al incremento de los niveles de MOS. Se pueden mencionar la aplicación de enmiendas orgánicas como compost (Foto 2.1.), vermicompost, estiércol u otros, prácticas racionales de labranza del suelo o de conservación, incorporación de rastrojos,

mantención de la cobertura del suelo, adecuadas rotaciones de cultivos, establecimiento de praderas y abonos verdes para proporcionar un hábitat que favorezca la actividad biológica y reduzca al mínimo las pérdidas de carbono debidas al manejo intensivo del suelo, que incluye el barbecho, las quemas de rastrojos y la labranza.



Foto 2.1. Elaboración de compost con rastrojos de cereales y cama animal.

Los abonos verdes son cultivos que se incluyen en el sistema de rotación con el fin de producir fitomasa que es incorporada al suelo, aportando nutrientes por el efecto de las raíces, cuando el cultivo está en pie; pero también cuando se incorpora la parte vegetativa al final del periodo de crecimiento. Aportan importantes cantidades de nutrientes, especialmente nitrógeno, cuando el abono verde es una leguminosa o una mezcla que incluye leguminosas (Foto 2.2.). Además movilizan nutrientes de estratas profundas hacia la superficie del suelo, cuando las especies que la conforman son de arraigamiento profundo, mejoran la estructura del suelo, evitan la erosión, controlan malezas y evitan la lixiviación de los nutrientes disponibles.



Foto 2.2. La mezcla de avena con vicia se puede incluir en la en la rotación de cultivos para ser utilizado como abono verde.

El establecimiento de plantas forrajeras o praderas, sobre la superficie del suelo en la rotación de cultivos, o bien entre hileras de cultivos perennes (cultivos de cobertera o cubierta vegetal), es una práctica que permite obtener fitomasa junto con proteger el suelo de la erosión, particularmente en terrenos con pendiente. El establecimiento y mantención de praderas aumenta el contenido de MOS y la disponibilidad de nutrientes, en especial de nitrógeno, cuando se incluyen leguminosas en la pradera. Los cultivos forrajeros mejoran la estructura y porosidad del suelo, su capacidad de infiltración y retención de humedad, disminuyen las poblaciones de malezas, y reducen poblaciones de algunas especies de nemátodos. Para elegir un cultivo forrajero o cubierta vegetal se debe considerar las condiciones de suelo y clima, y sembrar especies adecuadas en cada situación.

La labranza es una práctica que permite incorporar los residuos del cultivo anterior, preparar camas de semillas, incorporar fertilizantes y manejar la presión de las malezas. La labranza convencional consiste en invertir y mullir los 20 a 30 cm superiores del suelo mediante araduras y rastrajes. Este tipo de labranza incrementa la aireación, estimulando la actividad de los microorganismos del suelo, los que oxidan la materia orgánica al utilizarla como fuente de energía y expone el suelo al efecto erosivo del agua y viento. Así, dos grandes procesos destructivos que disminuyen la capacidad productiva del suelo se asocian a

la labranza con inversión del suelo: la erosión y la oxidación de la materia orgánica.

La labranza conservacionista se caracteriza por dejar rastrojos del cultivo anterior sobre la superficie del suelo, mejorando el balance hídrico y nutricional de los cultivos en rotación. Permite reducir los tiempos de recambio de la materia orgánica y representa una alternativa apropiada para el secuestro de carbono en algunos tipos de suelos.

Los residuos vegetales, o rastrojos, son un importante recurso que debe ser aprovechado ya que aportan una cantidad considerable de materia orgánica, lo que mejora la calidad del suelo y su productividad, incrementando la sostenibilidad del proceso productivo. Los residuos picados se descomponen más rápido. Gran parte del carbono es liberado como CO₂ a la atmósfera, por la respiración de los microorganismos, y una fracción es retenida como materia orgánica en el suelo. La cantidad retenida depende del tipo, cantidad y calidad de los residuos y de cómo son manipulados. La calidad de los residuos depende de las especies de plantas (paja de cereales es baja en nitrógeno, leguminosas o praderas son ricas en nitrógeno) y del estado de desarrollo cuando se cortan. Los residuos de cultivos pueden ser cortados, desmenuzados o dejados en pie en el campo, o bien pueden ser triturados y mezclados con el suelo mediante un rastraje. De esta forma son descompuestos por los microorganismos del suelo, mejorando la disponibilidad de nutrientes, la actividad biológica, la estructura y todas las características que esto conlleva. Además, la velocidad de descomposición de los rastrojos depende del tipo y tamaño de las poblaciones de microorganismos del suelo, lo que a su vez depende del pH, temperatura, contenido de humedad, disponibilidad de nutrientes, N disponible, textura, estructura y biomasa microbiana del suelo.

A pesar de que la quema de los rastrojos pareciera ser la forma más fácil de deshacerse de los residuos, no es una alternativa recomendada, ya que se pierden cantidades importantes de nutrientes. Casi la totalidad del carbono, azufre y nitrógeno orgánico se pierde en la combustión, y parte del fósforo y potasio queda en las cenizas que son arrastradas por el viento o agua. Las quemaduras alteran la dinámica de la MOS, reducen la permeabilidad del suelo y afectan las poblaciones de microorganismos que habitan los primeros centímetros del suelo. Todos los

esfuerzos por mejorar la calidad del suelo, su estructura, actividad biológica y disponibilidad de nutrientes se ven negativamente alteradas por esta práctica, que es fácil de ejecutar en el corto plazo, pero altamente destructiva en el mediano y largo plazo.

Cuando la cantidad de rastrojos es muy alta, se pueden enfrentar problemas para su incorporación en la preparación de suelos, siembra y establecimiento del cultivo siguiente, como es el caso de algunos cereales. En estos casos se recomienda extraer una parte de los residuos antes de mezclar con el suelo, y utilizarlos en la elaboración de compost, en la alimentación animal, o en el establecimiento de acolchados sobre el suelo (mulches) para el control de malezas.

Se denomina compost al abono orgánico resultante de la fermentación aeróbica (en presencia de oxígeno) de una mezcla de materias primas orgánicas, bajo condiciones específicas de humedad y temperatura, cuyo producto es libre de efectos fitotóxicos, aporta nutrientes, microorganismos benéficos y materia orgánica estabilizada. Dado el proceso de elaboración que contempla altas temperaturas, este producto está libre de patógenos y semillas de malezas, y puede ser aplicado al suelo mejorando sus características físicas, químicas y biológicas. Cuando se aplica al suelo un compost terminado, que cumple con los requisitos de la Norma Chilena 2880 “Compost clasificación y requisitos”, lo que se está aplicando es materia orgánica estabilizada, en su fracción lábil, lo que mejora la estructura y porosidad del suelo, con todos los beneficios que eso conlleva. Tiene un efecto tampón del pH del suelo, libera nutrientes, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, genera un incremento de las poblaciones de microorganismos del suelo que liberan promotores de crecimiento, y estimulan la supresión de enfermedades y plagas.

La aplicación de materia orgánica al suelo proporciona un efecto integrador, que promueve la salud y la calidad del suelo, con un enfoque preventivo de la gestión agrícola que tiene como objetivo mejorar las propiedades del suelo a fin de que el agro-ecosistema tenga una autorregulación, sea autosuficiente, resistente a la degradación y resiliente¹, evitando problemas de deficiencia de nutrientes y

¹Resiliencia: capacidad de un ecosistema de absorber perturbaciones sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha cesado.

problemas sanitarios. Lo contrario ocurre con el modelo de la revolución verde que busca solucionar, mediante agroquímicos, los problemas que se presentan.

2.4. La materia orgánica y la supresión de enfermedades

Existen suelos en que la incidencia o la severidad de ciertas enfermedades es más baja que en suelos del entorno, y se les conoce como “suelos supresivos”. Por el contrario, a los suelos no supresivos se les denomina “conductivos”. La existencia de suelos supresivos fue descrita hace más de 100 años, para diferentes condiciones edáficas y variados patógenos, entre los que se incluye: *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* que causa mal del pie en trigo, *Fusarium oxysporum* que causa fusariosis, el nemátodo *Heterodera* spp., y las bacterias *Streptomyces scabies*, *Plasmodiophora brassicae*, *Phytophthora cinnamomi*, *Pythium ultimum* y *Rhizoctonia solani*, entre otras.

La supresión de enfermedades tiene una base microbiana, que puede ser destruida por esterilización con autoclave o fumigación del suelo supresivo, pero puede ser recuperada al adicionar unos pocos gramos de suelo supresivo sin tratamiento biocida. Los suelos supresivos naturales son el mejor ejemplo de que los microorganismos nativos protegen a las plantas contra los patógenos de suelo. Se han realizado muchos estudios para identificar las características químicas y microbiológicas que consistentemente expliquen la supresión, pero la mayoría de ellas lamentablemente no han sido exitosas. Aunque la supresión es difícil de predecir, porque está modelada por interacciones complejas entre las propiedades del suelo y la microbiota, algunos descubrimientos indican que estaría asociada a una alta actividad microbiana total, a la composición de la materia orgánica del suelo, al grado de descomposición de la materia orgánica, a la competencia de los microorganismos por fuentes de carbono, y a la disponibilidad de fuentes de carbono capaz de sostener altas poblaciones de microorganismos.

Se han definido dos tipos de supresión: general y específica. La supresión general está relacionada con la comunidad microbiana total y no a una única especie de microorganismo como responsable de la supresión. Esto explica por qué en algunos estudios un antagonista microbiano colectado desde un suelo supresivo falla en inducir supresión en el nuevo sustrato, al nivel observado en el sustrato original.

La competencia por nutrientes entre el patógeno y microorganismos saprófitos se sugiere como el principal mecanismo responsable de la supresión general. Al contrario, se denomina supresión específica cuando sólo un microorganismo o un grupo de ellos son responsables de controlar una enfermedad. Los mecanismos envueltos en este tipo de supresión son principalmente hiperparasitismo y/o antibiosis. Por ejemplo el hiperparásito *Trichoderma* spp. es el taxón más importante aislado desde medios o sustratos supresivos a *Rhizoctonia solani*.

Para que los agentes biológicos que producen la supresión puedan estar presentes en un suelo o sustrato, la introducción o presencia de materia orgánica es fundamental, independientemente de si se habla de supresión general o específica.

La adición de materia orgánica no sólo contribuye a aumentar la actividad microbiana, sino que incrementa las poblaciones de antagonistas tales como *Trichoderma* y *Pseudomonas*. Por otra parte, la materia orgánica provee de sustrato alimenticio para que los microorganismos mejoren la supresión general a través de la competencia, o para que agentes específicos de control biológico puedan inducir resistencia o producir antibiosis contra los patógenos de plantas. Sin embargo, la efectividad de las enmiendas orgánicas para controlar enfermedades es variable y en algunos casos puede aumentar la severidad de la enfermedad.

Tanto agricultores como investigadores han renovado su interés por usar enmiendas orgánicas para mitigar las enfermedades causadas por patógenos del suelo. Los artículos publicados en este tema han tenido un continuo incremento desde los años 1970. Muchos estudios muestran que la incorporación de materia orgánica puede ser muy efectiva en controlar enfermedades causadas por patógenos que viven en el suelo.

Una revisión de 250 artículos que evaluaron el efecto de enmiendas orgánicas sobre la incidencia de las enfermedades y las poblaciones de patógenos, mostraron que las enmiendas orgánicas fueron supresivas en un 45% de los casos, no tuvieron efectos en un 35%, o incrementaron la incidencia de enfermedades en un 20% de los casos. La supresión es variable y depende de varios factores, tales como tipo de enmienda, tasa de aplicación, tipo de patógeno, condiciones climáticas, etc.

La supresión de enfermedades al aplicar compost es, principalmente, atribuida a las poblaciones microbianas que viven asociadas a la fuente de materia orgánica del compost, ya que al igual que en suelos supresivos, la esterilización con temperatura o con rayos gamma hacen que se pierda la capacidad supresora del compost, y se puede restablecer al inocular algunos gramos del compost sin tratamiento de esterilización.

Se ha determinado que el grado de descomposición de la materia orgánica tiene un fuerte efecto en la tasa de supresión de la enfermedad. Compost inmaduros no pueden suprimir el damping-off² causado por *Pythium aphanidermatum*, en cambio un compost con madurez adecuada suprime la enfermedad. Otro ejemplo es el caso de *Rhizoctonia solani* (un patógeno que es altamente competitivo) y Trichoderma (un biocontrolador de *Rhizoctonia solani* bastante efectivo). Cuando la materia orgánica es fresca o no descompuesta, Trichoderma crece como saprófito y no es capaz de realizar el control biológico de la enfermedad. Sin embargo, cuando estos mismos hongos se encuentran en un compost maduro, donde las concentraciones de nutrientes solubles, como la glucosa, son bajas, Trichoderma actúa como un parásito secretando enzimas líticas que son capaces de matar los esclerocios de *Rhizoctonia solani*. Este fenómeno ocurre porque la materia orgánica fresca tiene altos contenidos de carbono soluble, como la glucosa, que inhiben la producción de enzimas de Trichoderma, y en vez de actuar como parásito alimentándose de otros hongos, vive como saprófito alimentándose de la materia orgánica fresca. Por otra parte, cuando la materia orgánica se encuentra muy estabilizada, como es el caso de algunas turbas, no es capaz de soportar la actividad microbiana y, por lo tanto, son conductivas a las enfermedades.

La materia orgánica particulada (MOP) es una subfracción de la materia orgánica lábil que se encuentra a un nivel de descomposición más avanzado que los residuos vegetales, pero menos descompuesta que la materia orgánica humificada. Los microorganismos se concentran en torno a esta fracción, la que es fuertemente afectada por la cantidad de residuos que ingresan al suelo y la tasa de descomposición de éstos. Suelos de bosques nativos y praderas, generalmente tienen más MOP que los suelos arables. Algunos estudios han demostrado que la MOP se correlaciona bien con la capacidad supresiva de los suelos.

²Marchitamiento generado por hongos.

Esto fue verificado en un ensayo realizado en INIA Quilamapu, donde se evaluó la capacidad supresiva a damping-off causada por *Pythium ultimum*, de tres suelos de bosque nativo, los cuales normalmente presentan altos contenidos de MOP dado el constante ingreso de materia orgánica a través de la caída de hojas. Los resultados mostraron que dos de los tres suelos fueron supresivos a damping off en tomate, y además los suelos que suprimieron la enfermedad mostraron valores más altos de actividad microbiana total. Con este ensayo se pudo demostrar que suelos con alta MOP que presentan alta actividad microbiana, tienen un efecto supresivo frente a damping-off causado por *P. ultimum* en plántulas de tomate.

También se ha observado que existen interacciones entre el tipo de enmienda orgánica y el patógeno a controlar. Las aplicaciones de compost son efectivas para el control de prácticamente todos los patógenos, a excepción de *Rhizoctonia solani*. También se obtiene un muy buen control de *Fusarium* spp. en la mayoría de los casos. Los residuos orgánicos son muy efectivos en el control de *Verticillium dahliae*; sin embargo, tienen efectos variables hacia otros patógenos. Los residuos de cosecha en general suprimen patógenos tales como *Verticillium dahliae*, *Thielaviopsis basicola*, *Fusarium* spp. y *Phytophthora* spp., pero prevalentemente aumentan enfermedades causadas por *Pythium* spp. y *Rhizoctonia solani*. En este contexto, varios estudios muestran que los desechos orgánicos y los residuos de cosecha con baja relación C/N son muy efectivos en el control de *Verticillium* spp., *Thielaviopsis basicola* y *Phytophthora* spp.

La incorporación de residuos de cosechas es favorable para la salud del suelo, ya que el material vegetal aumenta la cantidad de materia orgánica lábil, y devuelve parte de los nutrientes extraídos por el cultivo. Además, se mejora la tasa de infiltración, la porosidad total y la estructura del suelo. Sin embargo, la lentitud de descomposición de los residuos en climas mediterráneos, donde hay altas temperaturas y baja humedad posterior a la cosecha, hace que en la siguiente temporada de cultivo aún quede material vegetal no descompuesto, quedando poco homogénea la cama de siembra. También inmoviliza nitrógeno y genera alelopatías, y es una fuente importante de inóculo de patógenos que quedan en los residuos de cosecha. En sistemas de monocultivo producen ataques severos de enfermedades, como el caso de Septoriosis del trigo causada por el hongo *Mycosphaerella graminicola*.

Una forma de reducir el problema antes indicado, es lograr que la descomposición de los residuos o rastrojos sea más rápida. Algunas de las medidas que se pueden aplicar, idealmente en forma conjunta, son:

- Triturar los residuos, ya que partículas más pequeñas tienen una mayor superficie de contacto en la que pueden actuar de mejor manera los microorganismos descomponedores.
- Mezclar los residuos con el suelo. Esta práctica permite que los organismos descomponedores estén en contacto directo con los residuos, y que éstos mantengan contenidos de humedad más altos y por más tiempo que si están en la superficie.
- Regar. La adición de agua permite aumentar los contenidos de humedad, lo que es fundamental para que los microorganismos descomponedores puedan actuar rápidamente.
- Aplicar nitrógeno inorgánico en residuos con una alta relación C/N, para eliminar la deficiencia de nitrógeno que es un factor limitante para la descomposición en estos casos.
- Incorporar microorganismos que aceleren la descomposición de los residuos que quedan sobre el suelo, tales como bacterias y hongos.

La MOS es la fracción del suelo que juega un rol fundamental en la fertilidad integral del suelo, ya que afecta sus características químicas, físicas y biológicas, mejorando la disponibilidad de nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, la estructura del suelo y, con ello, su aireación y capacidad de retención de humedad y drenaje, además de la actividad biológica, con todos los beneficios que conlleva.

Algunos de los efectos de la MOS parecen intangibles y generalmente son ignorados, ya que se perciben en el mediano y largo plazo, por lo que no son valorados por quienes acostumbran a tener respuestas inmediatas al manejo agronómico. Sin embargo, los sistemas sustentables de producción agrícola requieren, necesariamente, mejorar la calidad del suelo, lo que significa incrementar el contenido de materia orgánica, y así permitir obtener buenos resultados de cosecha tanto a las generaciones actuales como a las futuras.

2.5. Literatura consultada

- Acevedo, E., y E. Martínez. 2003.** Sistema de labranza y productividad de los suelos. p. 13-25. En Acevedo, E. (ed.). Proceedings Seminario Sustentabilidad en cultivos anuales. Santiago, Chile, 3 y 4 de diciembre, 2002. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Allison, F.E. 1973.** Soil organic matter and its role in crop production. 637 p. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., U.S.A.
- Avilés, M., C. Borrero, and M.I. Trillas. 2011.** Review on compost as an inducer of disease suppression in plants grown in soilless culture. In A. Sánchez Ferrer (ed.). Dynamic Soil, Dynamic Plant, Compost III. Global Science Books Vol. 5, Special issue 2, p. 1-11.
- Barzegar, A.R., A. Yousefi, and A. Daryashenas. 2002.** The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil* 247:295-301.
- Bonanomi, G., V. Antignani, C. Pane, and F. Scala F. 2007.** Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology* 89:311-324.
- Céspedes, C., I. Díaz, y V. Carrasco. 2012.** Evaluación de dos indicadores de sustentabilidad de suelos en vides para vino y uva de mesa. En 4º Simposio Internacional de Agricultura Orgánica. 11 al 13 de septiembre 2012. Universidad de Talca, Talca, Chile.
- Céspedes, C., C. Ovalle, y J. Hirzel. 2005.** Manejo de la fertilidad del suelo en producción orgánica. En Céspedes, C. (ed.) Agricultura orgánica: Principios y prácticas de producción. Boletín INIA N° 131. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.
- Espinoza, Y. 2010.** Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales. *Bioagro* 22:177-184.
- Galantni, J.A., and L. Suñer. 2008.** Soil organic matter fractions: analysis of Argentine soils. *Agriscientia* XXV(1):41-55.
- Hoitink, H.A.J., and M.J. Boehm. 1999.** Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent phenomenon. *Annual Review of Phytopathology* 37:427-446.
- Hu, S., A.H.C. van Bruggen, R.J. Wakeman, and N.J. Grunwald. 1997.** Microbial suppression of in vitro growth of *Pythium ultimum* and disease incidence in relation to soil C and N availability. *Plant and Soil* 195:43-52.

- INN. 2004.** Norma Chilena Oficial NCh 2880. Of 2004. Compost - Clasificación y requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago, Chile.
- Kumada, K. 1987.** Chemistry of soil organic matter. 255 p. Japan Scientific Societies Press Elsevier, Tokyo, Japan.
- Madariaga, R.P. 2003.** Rol del rastrojo en los ciclos de vida de importantes patógenos fungosos de los cultivos tradicionales chilenos. Caso de la Septoriosis en trigo. Simposio Manejo Sustentable de Suelos Chilenos. Boletín N° 19. p. 165–174. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Chillán, Chile.
- Magdoff, F., and R.R. Weil. 2005.** Soil organic matter in sustainable agriculture. 473 p. CRC Press, Boca Raton. Florida, USA.
- Mazzola, M. 2002.** Mechanisms of natural soil suppressiveness to soilborne diseases. *Antonie van Leeuwenhoek* 81:557-564.
- Millas, P. 2013.** Supresividad a *Pythium* sp. de tres suelos de bosque nativo en plantas de tomate. 64º Congreso. 181 p. Sociedad Agronómica de Chile y XXII Congreso Chileno de Fitopatología. 24-26 de septiembre 2013, Viña del Mar, Chile.
- Pérez-Piqueres, A., V. Edel-Hermann, C. Alabouvette, and C. Steinberg. 2006.** Response of soil microbial communities to compost amendments. *Soil Biology and Biochemistry* 38:460-470.
- Sierra, C., C. Céspedes, y A. France. 2008.** Informe Final Proyecto FIA “Incremento selectivo de microorganismos benéficos en compost para mitigar problemas de nematodos fitoparásitos de la vid y aumentar la fijación no simbiótica de nitrógeno. La Serena, Octubre, 2008. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), La Serena, Chile.
- Stolpe, N.B. 2006.** Descripciones de los principales suelos de la VIII Región de Chile. 83 p. Universidad de Concepción, Chillán, Chile.
- Stone, A.G., S.J. Traina, and H.A.J. Hoitink. 2001.** Particulate organic matter composition and *Pythium* damping-off of cucumber. *Soil Science Society of America Journal* 65:761-770.
- Syers, J.K., and E.T. Craswell. 1995.** Soil organic matter management for sustainable agriculture: A workshop. p. 7–14. In Lefroy, R. et al. (eds.) *Role of Soil Organic Matter in Sustainable Agricultural Systems*. ACIAR Proceedings No. 56. Canberra. 24–26 August 1994. Australian Center for International Agricultural Research, Ubon, Thailand.

- Termorshuizen, A.J., E. van Rijn, D.J. van der Gaag, C. Alabouvette, Y. Chen, J. Lagerlöf, A.A. Malandrakis, E.J. Paplomatas, B. Rämert, J. Ryckeboer, C. Steinberg, and S. Zmora-Nahum. 2006.** Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response. *Soil Biology and Biochemistry* 38:2461-2477.
- Vaughan, D., and R.E. Malcolm 1985.** Soil organic matter and biological activity. 469 p. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Boston, Massachusetts, USA.
- Vidal, P. y H. Troncoso. 2003.** Incidencia de la quema y retención de rastrojos en cultivos anuales sembrados bajo cero labranza. p. 68-92. Simposio Manejo Sustentable de Suelos Chilenos. Boletín N° 19. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Chillán, Chile.
- Weller, D.M., J.M. Raaijmakers, B.B. McSpadden Gardener, and L.S. Thomashow. 2002.** Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 40:309-348.