

**LA MATERIA ORGÁNICA
Y SU EFECTO COMO
ENMIENDA Y MEJORADOR
DE LA PRODUCTIVIDAD
DE LOS CULTIVOS**

CARLOS SIERRA B.¹
Ingeniero Agrónomo, M.S.

CARLOS ROJAS W.²
Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D.

¹CRI Intihuasi, La Serena. Teléfono 51-223290, Fax 51-227060. E-mail: csierra@intihuasi.inia.cl

²CRI La Platina, Santiago. Teléfono 2-5417223, Fax 2-5417667. E-mail: crojas@platina.inia.cl

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	9
2. ORIGEN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS	10
3. CALIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA	10
4. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA Y SU EFECTO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS	11
5. MATERIA ORGÁNICA Y FERTILIDAD FÍSICA DEL SUELO	13
6. APORTES DE NUTRIENTES DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO	14
7. APORTES DE NUTRIENTES DE LA MATERIA ORGÁNICA APLICADA COMO ENMIENDA	14
8. FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA	15
9. EFECTOS DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO Y EN LA PLANTA	18
10. EFECTO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS	19
11. EL COMPOSTAJE DE MATERIA ORGÁNICA	21
12. LITERATURA CONSULTADA	24

LA MATERIA ORGÁNICA Y SU EFECTO COMO ENMIENDA Y MEJORADOR DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS

Carlos Sierra B.
Ingeniero Agrónomo, M.S.
Carlos Rojas W.
Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D.

1. INTRODUCCIÓN

La materia orgánica de los suelos juega un rol trascendental en la mantención de la fertilidad integral del suelo, la que debe considerar la fertilidad química, física y biológica del suelo.

El desgaste del carbono de los suelos se ha producido principalmente por efecto de la erosión, oxidación del carbono por efecto del laboreo del suelo, quema de rastrojos y ausencia de incorporación de enmiendas orgánicas y/o uso de abonos verdes.

En los últimos 30 años la fertilización inorgánica se ha privilegiado, induciéndose un desgaste de la materia orgánica nativa del suelo. Esto ha provocado un deterioro de la condición física afectando principalmente la porosidad, retención de humedad velocidad de infiltración estructura y aireación del suelo. Todo esto afecta significativamente el crecimiento de raíces, lo que a su vez deteriora el crecimiento aéreo y la calidad de los frutos cosechados.

La ausencia de programas definidos de mantención de la materia orgánica de los suelos obedece al hecho de que la mayoría de los especialistas en fertilidad de suelos han considerado la fertilidad solamente fundada en principios químicos. Es decir, que la productividad agrícola sería posible de mantenerla a partir de una exclusiva fertilización inorgánica. Este planteamiento ha ignorado la importancia de las condiciones físicas y biológicas del suelo que tienen una enorme trascendencia sobre la disponibilidad del agua, patógenos del suelo y biodisponibilidad de los nutrientes.

El presente trabajo tiene como objetivo relevar el conocimiento de la materia orgánica del suelo y su efecto como mejorador de la productividad de los cultivos.

2. ORIGEN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS

La materia orgánica de los suelos corresponde a compuestos orgánicos carbonados de diferentes características químicas que se presentan estrechamente interrelacionados con la fracción inorgánica del suelo, principalmente arcilla. El contenido de carbono orgánico de los diferentes suelos está determinado principalmente por el clima y por el tipo y cantidad de arcilla. El clima determina el grado de acumulación de carbono orgánico en el suelo (materia orgánica) a través de dos factores principales: cantidad de precipitación y temperatura. Por otra parte, el tipo y cantidad de arcilla también afecta al grado de acumulación de carbono en el suelo y este efecto interactúa con el suelo, modificando su grado de evolución. La combinación adecuada de humedad y temperatura promueve la formación de abundante fitomasa. Esta vegetación recicla, integrándose al suelo e incrementando a través del largo tiempo el contenido de materia orgánica. Sin embargo, esta acumulación alcanza un equilibrio que está determinado por el balance de los factores señalados de humedad y temperatura, y de la propia interacción producida por la vegetación con el suelo. Normalmente el contenido de carbono del suelo está estrechamente relacionado con el contenido de nitrógeno. A mayor contenido de materia orgánica existe una mayor cantidad de nitrógeno total, lo que no significa que esté disponible. Debe considerarse que el potencial de mineralización es muy afectado por la temperatura del suelo, y por la calidad de la materia orgánica.

En la zona del Norte Chico, por ejemplo, en los Valles Transversales de Copiapó, Huasco, Elqui, Limarí y Choapa, se presentan contenidos moderados a bajos de materia orgánica, producto de las bajas precipitaciones, que permiten una escasa formación de fitomasa y además por la temperatura moderadamente alta que favorece la descomposición más que la acumulación de los residuos vegetales. Sin embargo, al analizar información de materia orgánica de los suelos de los valles señalados se aprecia un aumento de norte a sur producto del incremento de las precipitaciones desde 22 mm en Copiapó hasta 200 mm, promedio en Los Vilos. Además, la temperatura media de los suelos tiende a decrecer hacia el sur de la IV Región.

Al analizar información de la zona central del país, el contenido de carbono se incrementa moderadamente con respecto al Norte Chico y al avanzar hacia el sur, continúa aumentando para alcanzar su máximo en Llanquihue y Chiloé. En la Región de Aysén esta tendencia decrece especialmente hacia el interior de la Región (Coyhaique) y disminuye más aún hacia Magallanes, esto último producto de la menor precipitación y como consecuencia menor acumulación de residuos orgánicos vegetales. La mayor acumulación de materia orgánica se registra en la zona sur de la X Región producto de la alta precipitación anual (2.500 a 3.000 mm) del tipo arcilla (alofán) y de las temperaturas moderadas. En esta área es frecuente encontrar 14 a 20% de materia orgánica en los primeros 15 cm del suelo.

3. CALIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA

Una de las características más complejas de evaluar de la materia orgánica es su calidad. Generalmente los métodos empleados para su análisis permiten determinar su contenido total, pero no así su capacidad de mineralización. Sin embargo, existe consenso en la literatura de que existen diferentes estados o fracciones de materia orgánica en los suelos. Se puede afirmar que existen tres fracciones: humificada, estabilizada y activa.

3.1. Materia orgánica humificada

Esta forma de materia orgánica corresponde a polímeros orgánicos de cadenas largas que se encuentran altamente estabilizadas con la fracción arcillosa, formando compuestos organometálicos muy estables y poco accesible al ataque de la microflora bacteriana del suelo. Diversos investigadores señalan que ésta fracción representaría alrededor del 50% de la materia orgánica total. Como se señaló, esta fracción es difícilmente atacable por la microflora bacteriana, por lo tanto, su aporte de nutrientes es muy bajo.

3.2. Materia orgánica estabilizada

Esta fracción se caracteriza por estar formada por sustancias orgánicas de cadenas de tamaño intermedio moderadamente estabilizadas, susceptibles de ser atacadas por la biomasa microbiana del suelo. Esta fracción representaría alrededor del 40% del carbono total del suelo. Por lo tanto, esta fracción aportaría cantidades importantes de elementos nutritivos.

3.3. Materia orgánica activa

Corresponde a la fracción más lábil de la materia orgánica, fácilmente mineralizable por la microflora bacteriana. La integran residuos de raíces, tallos, hojas, excreciones orgánicas radiculares, deyecciones del ganado (estiércol y orina), etc. Este material está formado por compuestos orgánicos de bajo peso molecular que tienen una gran velocidad de reciclaje.

4. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA Y SU EFECTO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS

El laboreo permanente de los suelos, año a año, y en el largo plazo, ha producido una oxidación continuada de la materia orgánica, lo que ha significado una pérdida permanente del carbono orgánico. Además, en los suelos con pendiente moderada, por efecto de la aplicación de caudales excesivos, se ha estado generando un proceso erosivo, que igualmente ha conducido a una pérdida de materia orgánica. En las áreas de secano, este proceso se ha agudizado por efecto del laboreo de los suelos con fuertes pendientes, las que han sido expuestas a una grave erosión por efecto de las intensas lluvias invernales que precipitan en algunos años lluviosos.

La pérdida continuada de carbono orgánico o materia orgánica, produce una serie de efectos negativos que afectan la productividad del suelo. Desde el punto de vista de la fertilidad química, disminuye la capacidad de intercambio catiónico y el pH tiende a incrementarse, debido a que la materia orgánica normalmente tiende a acidificar el suelo. Desde el punto de vista biológico, la actividad microbiana (hongos, bacterias, etc.) decrece debido a la disminución del carbono en el suelo, principal combustible de los microorganismos. Este fenómeno afecta el ciclo interno del nitrógeno, afectando su eficiencia en el mediano y largo plazo. Además, experimentalmente se ha demostrado que la presencia y actividad de los nematodos se ve disminuida en la medida que existe una mayor actividad biológica en el suelo, producto de un mayor contenido de materia orgánica. Igualmente se ha demostrado, que la presencia y actividad de las lombrices es altamente dependiente del contenido de residuos orgánicos. Una mayor actividad biológica en

el suelo promueve una rápida descomposición de los residuos vegetales y animales, mejorando el equilibrio de una biomasa microbiana diversificada. Todos estos procesos regulan en mejor forma el ciclo de algunos nutrientes como el nitrógeno, azufre y en menor medida el fósforo.

Otro aspecto de gran importancia de la materia orgánica es el mejoramiento de la fertilidad física del suelo. Mejora la retención de humedad altamente disponible para las raíces de las plantas, promueve una mejor estructuración de las partículas minerales, generando la formación de compuestos órgano-metálicos más estables. Además, favorece la formación de una porosidad de tamaño mediano, lo que determina una mejor aireación del suelo, factor, este último, muy importante en algunas especies como el palto. Por otra parte, suelos con altos contenidos de materia orgánica presentan una menor impedancia mecánica para el crecimiento radicular de las plantas. Su efecto en suelos arenosos es muy positivo, pues permite mejorar las condiciones físicas de retención de humedad del suelo, mejora la retención de nutrientes evitando su lavado a capas profundas y estimula la fertilidad biológica. En los suelos arcillosos o "pesados" mejora la estructuración y, por lo tanto, su aireación, favoreciendo además la retención de humedad altamente aprovechable.

Para incrementar la materia orgánica del suelo, existen varias estrategias, entre las cuales destacan:

- Evitar el proceso erosivo del suelo por efecto del mal manejo del riego.
- Aplicar estiércol anualmente o cada dos años.
- Incorporar abonos verdes.
- Incorporar los residuos vegetales de las cosechas y no quemarlos, como pajas de leguminosas y cereales, sarmiento de vides, etc.

La aplicación de estiércol maduro es muy beneficiosa pero no debe considerarse sólo como un fertilizante debido a que no aporta grandes cantidades de nutrientes, se debe considerar una enmienda que mejora principalmente las condiciones físicas del suelo. Este efecto es particularmente importante en huertos frutales y viñedos. Estas enmiendas deben aplicarse entre mayo y junio. El estiércol de cabra no es recomendable usarlo en árboles recién plantados, especialmente en paltos, debido al alto contenido salino que presentan. Sin embargo, en huertos o viñedos adultos se recomienda su uso, previo lavado. En relación a los abonos verdes, las habas, vicias, avena y otras especies se pueden usar, lográndose grandes efectos positivos en las condiciones físicas. El mejor efecto de estos abonos verdes se logra incorporándose al suelo en estado verde. El cultivo de la papa se ve muy favorecido por el mejoramiento de la fertilidad física del suelo al agregar residuos orgánicos o estiércol de cabra o vacuno.

Finalmente, la incorporación de pajas de cereales produce igualmente beneficios positivos al suelo. Sin embargo, ésta se debe incorporar 2 ó 3 meses antes del cultivo siguiente y en el caso que el contenido de nitrógeno mineral del suelo sea bajo, se debe agregar 10 kg/ha de nitrógeno por tonelada de paja incorporada al suelo. Existen muchas otras fuentes de materia orgánica posibles de utilizar en los campos como: sarmientos de vides repicados, orujo de uva, restos de poda de árboles frutales, lodos orgánicos de aguas servidas tratadas, etc. Todos estos materiales bien manejados pueden ser de gran utilidad para mejorar las condiciones de fertilidad física del suelo y permitir a los agricultores revitalizar la vida productiva de sus suelos (Cuadro 1).

CUADRO 1. Características de algunos materiales orgánicos

Material	pH	CE dS/m	m.o. %	C %	N total %	C/N
Tierra de hoja (Quillota)	7,5	7,8	46,3	26,8	0,7	38,2
Guano de pavo	8,8	22,4	82,5	47,8	4,1	11,7
Guano de vacuno	8,0	35,5	65,2	37,8	3,1	12,2
Guano de cabra	7,5	17,3	68,6	39,8	2,2	18,1
Turba de Copiapó	-	4,6	21,7	12,6	0,64	19,7

5. MATERIA ORGÁNICA Y FERTILIDAD FÍSICA DEL SUELO

La fertilidad física es el concepto menos considerado cuando se habla de fertilidad del suelo. La fertilidad del suelo generalmente se asocia con la actividad química de los nutrientes en el suelo, sin embargo, como se señaló, ésta corresponde a una parte de lo que significa "fertilidad", que se puede definir como aquella cualidad del suelo que permite un óptimo crecimiento de las plantas. La dinámica del agua, temperatura y el aire en el suelo, además de la resistencia mecánica al crecimiento radicular, están regulados principalmente por las propiedades físicas del suelo. Estas propiedades están determinadas básicamente por la textura y estructura. La textura es una característica del suelo escasamente modificable por el manejo, aun cuando la textura de la capa arable puede ser modificada por efecto de la erosión.

La estructura, en cambio, es muy dinámica bajo prácticas agrícolas de laboreo del suelo. Estudios de rotaciones desarrollados por García (1988) en el Uruguay señalan que al cuarto año de laboreo continuado del suelo después de 8 años de pradera, todas las propiedades físicas sufrieron un deterioro significativo. Según el autor, el deterioro de la estructura durante el período de cultivos continuo es debido a un menor aporte de materia orgánica, en relación al sistema bajo vegetación de pasturas. Hillel (1982) señala también que el tráfico de maquinaria con los implementos para laboreo y además el golpeteo de la lluvia, cuando el suelo no está protegido, deteriora su estructura.

Una adecuada fertilidad física permite una buena aireación del suelo y una adecuada retención de humedad por las partículas órgano-metálicas. La materia orgánica permite darle estabilidad a los agregados del suelo, los que a su vez favorecen la aireación, producto de una adecuada porosidad. Un índice de grado de porosidad del suelo lo constituye la densidad aparente. A valores más bajos de densidad aparente existe una mayor porosidad y, por lo tanto, una mayor aireación. Una densidad aparente alta implica una menor porosidad y, por lo tanto, una menor tensión de oxígeno y reserva de humedad en el suelo, estos dos factores afectan el crecimiento radicular de las plantas.

6. APORTES DE NUTRIENTES DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

6.1. Nitrógeno

El principal elemento que aporta la materia orgánica para el crecimiento de las plantas es el nitrógeno. Generalmente más del 95% del nitrógeno total del suelo se encuentra al estado orgánico formando parte de la materia orgánica. El contenido de nitrógeno total en los suelos pueden variar desde 0,01% hasta 0,8% en suelos arenosos y trumaos de la zona Sur, respectivamente. En la zona Central y Norte es frecuente encontrar valores entre 0,05 y 0,15%.

6.2. Fósforo

El contenido de fósforo orgánico de los suelos es muy variable, generalmente puede constituir desde el 20 al 80% del fósforo total presente en la capa arable del suelo, el resto se encuentra asociado a la fracción inorgánica del suelo como: arcillas, óxidos de Fe y Al y precipitado como fosfatos de calcio y magnesio. El fósforo orgánico en el suelo es muy variable pero puede fluctuar normalmente entre 600 y 1.500 mg/kg.

6.3. Potasio

El potasio contenido en la materia orgánica del suelo es cuantitativamente poco importante, dado que este elemento se encuentra principalmente asociado a la fracción inorgánica del suelo, es decir, a la fracción arcillosa. Este análisis es válido para el calcio y magnesio.

6.4. Azufre

El azufre orgánico contenido en la materia orgánica del suelo es una fuente importante para las plantas que transformada en sulfato permite una adecuada nutrición. En suelos bajo riego con aguas ricas en yeso, el aporte de sulfatos es importante de considerar. Por el contrario, en condiciones de secano, la única fuente de azufre en el suelo es la materia orgánica. El boro es un elemento que presenta un mecanismo similar al señalado para el azufre. Es decir, en condiciones de secano, la materia orgánica es la principal fuente de este elemento.

6.5. Micronutrientes

La materia orgánica del suelo es una importante fuente de micronutrientes, especialmente de los cationes metálicos como Fe, Mn, Cu y Zn. Éstos normalmente se encuentran quelatados por las sustancias orgánicas lo que favorece una adecuada nutrición de las plantas.

7. APORTES DE NUTRIENTES DE LA MATERIA ORGÁNICA APLICADA AL SUELO COMO ENMIENDA

La materia orgánica es una fuente que aporta principalmente carbono, generalmente su contenido es mayor del 25%, base materia seca, superando en algunos casos el 50%. La concentración de nutrientes minerales como nitrógeno, fósforo y potasio normalmente es muy

variable y en general es baja, variando entre 2 y 3,5% de la materia seca. El aporte de nutrientes minerales depende del tipo de materia orgánica, normalmente el estiércol de animales mayores como bovinos y equinos presentan una concentración más baja de nutrientes minerales comparada con el estiércol de cerdos y aves. La dieta recibida por los animales determina el contenido de nutrientes presentes en las deyecciones (Cuadro 2).

CUADRO 2. Contenido de materia seca y nutrientes primarios de estiércol y purines de bovino, cerdo y ave, porcentaje de nutrientes al estado fresco

Tipo de material	Materia seca	N total	P	K
	%			
Estiércol de vacuno sólido	18 - 25	0,52 - 0,61	0,13 - 0,21	0,35 - 0,6
Purín de vacuno	7 - 8	0,28 - 0,53	0,06 - 0,11	0,21 - 0,49
Estiércol de cerdo sólido	18 - 25	0,46 - 0,70	0,18 - 0,53	0,29 - 0,37
Purín de cerdo	3,3 - 10	0,37 - 0,70	0,09 - 0,20	0,15 - 0,46
Estiércol sólido de ave	25 - 70	1,25 - 2,60	0,39 - 1,76	0,38 - 1,72
Purín de ave	7,5 - 16	0,72 - 1,07	0,17 - 0,49	0,28 - 0,83

Fuente: Kemppainen, E. 1989. Nutrient content and fertilizer value of livestock manure with special reference to cow manure. *Annales Agriculturae Fenniae*. Vol 28:163-284.

8. FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA

Existen muy diversas fuentes que pueden aportar carbono al suelo. Éstas se pueden clasificar como de origen vegetal y animal:

8.1. Materia orgánica de origen animal

Los materiales orgánicos más frecuentemente usados son el estiércol de animales y/o aves de corral. El estiércol se define como las deyecciones sólidas de los animales. En muchos casos éste puede estar mezclado con paja de cereales y orina del ganado. La gallinaza corresponde a una mezcla de estiércol de ave, viruta o aserrín y agua de lavado, además incluye restos de concentrado que se usa en su alimentación. Puede ser de origen de pollo, ponedoras, pavo u otras aves de corral. Los purines son una mezcla de orina, estiércol y agua de lavado, se puede aplicar a través de riego por aspersión, o con estanques directos al potrero. Normalmente son menos concentrados en nutrientes, especialmente en fósforo, su contenido de nitrógeno y especialmente de potasio puede ser alto.

Otras fuentes de materia orgánica animal corresponden a harina de sangre, suero de leche y estiércol de ovino y caprino (Cuadros 3 y 4).

En el Cuadro 5 se presenta el poder de suministro de nitrógeno de diferentes tipos de estiércol de distintos animales, durante la primera temporada de aplicación. El estiércol de cerdo y ave presentan un poder de suministro mayor de nitrógeno que el de equino y ovino.

CUADRO 3. Fuentes de materia orgánica de origen animal y contenido de nitrógeno y carbono

Tipo estiércol	Carbono	Nitrógeno	C/N
	%		
Vacuno	7	0,5	15
Ave	15	1,5	10
Cerdo	8	0,7	12
Oveja	16	0,8	20
Equino	15	0,5	30
Harina de sangre	35	1,5	2

CUADRO 4. Composición promedio de nutrientes de diferentes tipos de estiércol, al estado fresco

Constituyente	Bovino	Equino	Ovino	Porcino	Pollo
	%				
N	0,53	0,55	0,89	0,63	0,89
P ₂ O ₅	0,29	0,27	0,48	0,46	0,48
K ₂ O	0,48	0,57	0,83	0,41	0,83
Ca	0,29	0,27	0,21	0,19	0,38
Mg	0,11	0,11	0,13	0,03	0,13
Cu	0,00079	0,00079	0,00079	0,00016	0,0006
Mn	0,003	0,003	0,003	0,0008	0,003
Zn	0,0016	0,002	0,002	0,0006	0,0021
Cl	0,03	0,08	0,08	0,03	0,08
S	0,036	0,036	0,06	0,03	0,06
B	0,016	0,016	0,016	0,0005	0,016
Materia orgánica	16,74	27,06	30,7	15,5	30,7
Humedad	81,33	68,85	64,82	77,56	64,80
Ceniza	2,06	6,70	4,72	6,02	4,72

Fuente: Farm Chemichals Handbook, 1991. Editor: Charlotte Sine.

CUADRO 5. Porcentaje de mineralización de nitrógeno orgánico, según diferente tipo de estiércol después de la primera estación de crecimiento aplicado a los cultivos

Tipo de estiércol	Manejo del estiércol	Factor de mineralización (%)
Cerdo	Fresco	0,50
	Líquido aeróbico	0,30
Bovino carne	Sólido sin cama de paja	0,35
	Sólido con cama de paja	0,25
Bovino de leche	Sólido sin cama de paja	0,35
	Sólido con cama de paja	0,25
Oveja	Sólido	0,25
Pollo	Maduro	0,45
	Sólido con cama de viruta	0,30
	Sólido sin cama de viruta	0,35
Caballo	Sólido con cama de paja	0,20

8.2. Materia orgánica de origen vegetal

La materia orgánica de origen vegetal es la fuente primaria de carbono. La más comúnmente empleada son los residuos de cosechas, que pueden ser de diferente calidad dependiendo de su estado de crecimiento y tipo de planta. Las leguminosas proveen más nitrógeno que gramíneas y otras especies. La cantidad de carbono incorporado dependerá del rendimiento del cultivo, un maíz para grano de alto rendimiento puede dejar un nivel de residuos superior a las 15 t/ha de materia seca. La velocidad de descomposición de estos residuos dependerá del contenido de humedad del suelo, tamaño de los restos vegetales al ser incorporados, relación C/N del suelo y del material vegetal incorporado y de la temperatura del suelo, este último factor es determinante de la actividad de la microflora. Entre los residuos de plantas destacan los sarmientos de vides, orujos de uva, tierra de hoja, compost, paja de cereales, heno, etc. En el Cuadro 6 se aprecia el contenido de carbono, nitrógeno y relación C/N de algunos materiales orgánicos de origen vegetal.

8.3. Otros materiales de alto contenido de carbono

8.3.1. Ácidos húmicos

Existen en el mercado múltiples fuentes de ácidos orgánicos, muchos de ellos de origen mineral. Estos compuestos son en su mayoría importados de España, México y EE.UU. Son compuestos al estado líquido que presentan sustratos carbonados ricos en ácidos húmicos y fúlvicos, de concentraciones moderadamente bajas de carbono y de reacción ácida, producto de la presencia de ácidos orgánicos (COO-H^+). Debido a las dosis bajas aplicadas por razones de precio del

producto, su efecto enmienda no es importante. El efecto positivo que observan los agricultores al aplicarlo se debe posiblemente al efecto acidificante del área de la rizósfera, al inyectarlo vía riego por goteo.

8.3.2. Acondicionadores de poliacrilamida

Corresponden a materiales ricos en carbono, pero que forman polímeros sintetizados en cadenas largas de tipo inorgánico. Se usan en jardinería para incrementar la retención de humedad aprovechable del suelo. Son de alto costo.

CUADRO 6. Fuentes de materia orgánica de origen vegetal, contenido de nitrógeno y carbono

Material	Carbono	Nitrógeno	C/N
	%		
Turba	41	0,7	59
Aserrín no tratado	40	0,1	400
Sarmiento de vides	45	0,4	112
Residuos de cosechas	40	0,3	133
Abonos verdes	36	2,5	14
Orujo de uva y escobajo	47	1,7	27
Tierra de hoja	28	0,8	35
Paja de cereales	40	0,5	80
Hojas de árboles	40	1,0	40
Heno mixto	40	2,0	20

9. EFECTOS DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO Y EN LA PLANTA

9.1. Efectos en el suelo

El mejoramiento de las características físicas se debe al efecto sobre la microflora y mesofauna del suelo, es decir, sobre la actividad biológica. La presencia de carbono permite un incremento de la población activa de hongos, bacterias, actinomicetes y algas, las cuales aceleran el flujo del ciclo orgánico en el suelo. Esto permite incrementar la biodiversidad. Otros organismos intermedios como lombrices favorecen la agregación de partículas, promoviendo una mejor estructura. Esto determina una adecuada aireación del suelo y además evita la compactación y, por lo tanto, promueve un bajo impedimento mecánico para el crecimiento de las raíces.

Desde el punto de vista químico, se incrementa la capacidad de intercambio catiónico, se mantiene un pH más bajo, se regula en mejor forma el ciclo de nutrientes, especialmente del nitrógeno, azufre, fósforo y boro. Desde el punto de vista de los micronutrientes, la quelatación de éstos permite su mejor absorción, favoreciendo el proceso de nutrición de la planta por efecto de una nutrición más balanceada.

La retención de humedad es otro factor relevante, como efecto positivo de la aplicación de materia orgánica al suelo. Ésta permite incrementar la humedad aprovechable para las raíces. El color más oscuro que le confiere la materia orgánica permite un fácil calentamiento del suelo, factor importante para cultivos que crecen en épocas frías. Desde el punto de vista fitosanitario, las enfermedades del suelo como *Fusarium*, *Phytium*, *Rhizoctonia*, *Erwinia*, etc. son más agresivas en suelos con bajo contenido de carbono, esto se explica porque existe menor biodiversidad de organismos. Al aumentar la materia orgánica se incrementan los predadores naturales del suelo y en consecuencia el daño en los cultivos es menor. Este mismo efecto es válido para los nematodos, lo que permite controlar sus poblaciones.

Otro efecto biológico favorable es que las excreciones radiculares de las plantas de cultivo son más rápidamente metabolizadas y, por lo tanto, no se acumulan en el suelo.

9.2. Efecto sobre la planta

Los efectos de la materia orgánica sobre la nutrición de la planta en forma directa, han sido estudiados menos exhaustivamente que los efectos que produce sobre el suelo. Estos efectos, como se señaló, son variados y permiten mejorar condiciones biológicas, químicas y físicas del suelo. La principal estructura favorecida es la raíz y el área rizoférica, por efecto de los factores ya señalados.

La formación de compuestos órgano-minerales favorece una nutrición de la planta más equilibrada. Algunos investigadores señalan que las plantas podrían absorber ciertos compuestos orgánicos mayormente elaborados, lo que facilitaría la biosíntesis de estructuras a nivel celular.

10. EFECTO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS

El efecto de enmiendas orgánicas en cultivos y frutales se ha evaluado experimentalmente por diversos autores, y en distintas épocas, reportándose resultados disímiles, aun cuando en general éstos han sido más bien positivos que negativos. El diferente tipo de respuesta, evidentemente, se debe explicar por las condiciones locales específicas de cada experimento, en relación a especie estudiada, nivel de fertilidad química del suelo, contenido de materia orgánica, manejo del riego, potencial productivo alcanzado, tipo de enmienda orgánica usada y otras condiciones. El tipo de producto orgánico más usado normalmente es el estiércol de vacuno, de ave, cerdo, caprino y los compost.

Banghoo *et al.* (1988) determinó un claro efecto de la aplicación de guano de pollo en parronales de uva Sultanina, incrementando la producción en un 40% al segundo año de aplicación, sobre el testigo. Le Blanc (2000), evaluando el efecto de orujo y compost en uva de mesa Sultanina, en la zona de Melipilla, determinó un claro efecto sobre la calidad de la fruta producida, tamaño de racimo, calibre de bayas y firmeza de racimos al aplicar 22 y 24 kg/pl de orujo y compost, respectivamente. La absorción de fósforo y manganeso se incrementó claramente al aplicar las enmiendas orgánicas.

El escaso uso de estos materiales orgánicos se debe a la carencia de este tipo de productos y al gran volumen que se debe aplicar, lo que implica un costo adicional importante. Además, el tipo de agricultura cada vez más especializada que se practica en cada zona, desplazando la actividad ganadera principalmente hacia el sur, no favorece un adecuado suministro de estos productos. Por otra parte, la adecuada oferta de fertilizantes químicos inorgánicos a bajo costo, ha permitido a los agricultores y técnicos, implementar una tecnología basada principalmente en el uso de fertilizantes químicos. Sin embargo, esta tecnología de fertilización de plantas ha concentrado sus esfuerzos solamente en la fase de fertilidad química del suelo, olvidando el adecuado acondicionamiento físico y biológico que requiere alcanzar un suelo para lograr una alta fertilidad.

Este efecto es particularmente importante en frutales. El decaimiento productivo de los parronales del Valle de Aconcagua, es un típico efecto de deterioro físico del suelo, en el cual la materia orgánica debe jugar un rol relevante.

La respuesta de las plantas de cultivo a la aplicación de materia orgánica dependerá de diversos factores como la especie de planta a considerar. Por ejemplo, el palto, la papa y muchas especies de flores y hortalizas prefieren contenidos moderadamente altos de materia orgánica y esto se debe a su requerimiento moderadamente alto de oxígeno a nivel de raíces. En suelos con bajos contenidos de materia orgánica, la aplicación de este tipo de material mejora la disponibilidad y relación entre aire y agua disponible en el suelo, factores ambos muy importantes para alcanzar calidad de frutos y rendimiento. Las gramíneas como trigo, cebada y avena son especies que toleran muy bien las condiciones de menor porosidad media y, por lo tanto, no son tan exigentes en enmiendas orgánicas.

En frutales y vides la pérdida de condiciones físicas del suelo es un factor decisivo que puede afectar severamente la productividad de los árboles, debido a que estas especies deben permanecer continuamente por muchos años ancladas al mismo sitio, liberando excreciones al medio edáfico que deben ser biodegradadas y, además, deben tolerar la continua compactación del suelo por efecto del tráfico de maquinaria.

Otro factor importante de considerar es la textura. Suelos arcillosos, naturalmente pueden y deben contener más materia orgánica debido a su mayor capacidad de adsorción de compuestos órgano-metálicos. La compactación de este tipo de suelos, ya empobrecidos de materia orgánica genera condiciones muy adversas para el crecimiento de raíces, debido a la microporosidad predominante de estos suelos. En el caso de los suelos arenosos, la materia orgánica incrementa la CIC y mejora la retención de agua y nutrientes por el suelo. Facilitando el manejo de plantas que puedan alcanzar altas producciones y de calidad.

Finalmente, se puede señalar que los beneficios de la aplicación de materia orgánica en muchos suelos de la zona central y centro norte pueden ser muy positivos. Sin embargo, para lograr este objetivo se debe analizar cada situación en particular, en relación a tipo de cultivo, textura del suelo, contenido de nutrientes disponibles, contenido de carbono del suelo y otros.

11. EL COMPOSTAJE DE MATERIA ORGÁNICA

Existen varias definiciones de compostaje. Todas ellas con una base conceptual común, pero con matices y aportes diferentes, razón por la cual se citan a continuación las más recientes.

Microorganismos que incluyen bacterias, actinomicetes, hongos y levaduras, literalmente se alimentan del carbono de la materia orgánica. Digieren y excretan un producto terminado, que comprende el nitrógeno en forma estable, un olor controlado, semillas de malezas digeridas. El humus terminado es denominado compost (Jurges y Ralph, 1997; Lübke, Üta y Sigfried, 1995. Citados por Silva, 1999).

Sztern y Pravia (1999), definen el compostaje como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica. La biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición. La consecuencia final de estas actividades vitales es la transformación de los materiales orgánicos originales en otras formas químicas. Los productos finales de esta degradación dependerán de los tipos de metabolismo y de los grupos fisiológicos que hayan intervenido.

Según Negro *et al.* (2000), el compostaje es un proceso biológico aeróbico que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas y combinando fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45 °C), transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato. Es decir, el compostaje es:

- Una técnica de estabilización y tratamiento de residuos orgánicos biodegradables. El calor generado durante el proceso (fase termófila), va a destruir las bacterias patógenas, huevos de parásitos y muchas semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.
- Una técnica biológica de reciclaje de materia orgánica que al final de su evolución da humus, factor de estabilidad y fertilidad del suelo.
- El resultado de una actividad biológica compleja, realizado en condiciones particulares, el compostaje no es, por tanto, un único proceso. Es, en realidad, la suma de una serie de procesos metabólicos complejos procedentes de la actividad integrada de un conjunto de microorganismos. Los cambios químicos y especies involucradas en el mismo varían de acuerdo a la composición del material que se quiere compostar.

En el Cuadro 7 se aprecian algunas características químicas de dos muestras de compost elaborados en La Serena y Quillota. En el Cuadro 8 se presentan el contenido de nitrógeno y relación C/N de diferentes materiales apropiados para compostar.

CUADRO 7. Características de compost elaborado con residuos vegetales

Elemento	La Serena	Quillota
Humedad	46,7	-
Nitrógeno total, %	0,99	1,3
Fósforo, %	0,21	-
Potasio, %	1,45	-
Materia Orgánica, %	24,0	52,3
Carbono, %	13,9	30,3
CE, dS/m	19,3	6,1
pH	8,5	7,2
C/N	14,1	23,3

NOTA: % base materia seca.

CUADRO 8. Composición aproximada de nitrógeno y relación C/N de materiales apropiados para compostar (% base seca)

Material	Nitrógeno	C/N
Orina animal	15 - 18	0,8
Sangre seca	10 - 14	3
Carne de pescado	4 - 10	4 - 5
Residuos de plantas verdes	3 - 5	10 - 15
Residuos de elaboración de cerveza	3 - 5	15
Pulpa de café	1 - 2,3	8
Estiércol de cerdo	1,9	ND
Estiércol de vacuno	1 - 1,8	ND
Estiércol de ave	4	ND
Basura	2 - 3	10 - 16
Paja de trigo	0,6	80
Hojas frescas	0,4 - 1,0	40 - 80
Residuos de caña de azúcar	0,3	150
Aserrín fresco	0,1	500
Papel	Negligible	Muy alta

N/D: No determinado.

Fuente: Dalzell H.W. Centro Agrícola India, Riddlestone A.J.; Gray K.R. Thurairajan, Universidad de Birmingham, England. Soil management compost production and use in tropical and subtropical environments. Boletín FAO 56. Roma 1987.

Por último, Brutti (2001) define el compostaje como un proceso biooxidativo controlado en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, que requiere de una humedad adecuada y substratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por una etapa termofílica y una producción temporal de fitotoxinas, dando al final como productos de los procesos de degradación dióxido de carbono, agua y minerales, así como una materia orgánica estabilizada

libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adversos. El mismo autor señala que en este proceso se observa como hecho fundamental dos etapas o fases bien distintas: por un lado la propia fase de compostaje, durante la cual la actividad de los microorganismos que intervienen en el proceso es máxima, como consecuencia de tener a su alcance gran cantidad de compuestos fácilmente biodegradables, procedentes de los materiales de partida. Durante esta fase, la mineralización de la fracción orgánica es el proceso imperante; y por otro lado, en la fase de maduración o estabilización del material, la actividad de los microorganismos está ralentizada, pues dispone de poco material biodegradable. En esta segunda etapa predomina la humificación con reacciones de policondensación y polimerización, dando lugar a la formación de un producto similar al humus, que se conoce con el nombre de compost.

Compost es el producto que resulta del proceso de mezcla-oxidación y maduración de productos, constituidos por una materia orgánica estabilizada semejante al humus, con poco parecido al material original, puesto que se habrá degradado dando partículas más finas y oscuras. Será un producto inocuo y libre de sustancias fitotóxicas, cuya aplicación no provocará daños a las plantas y que permitirá su almacenamiento sin posteriores tratamientos ni alteraciones (Costa *et al.* 1991, citado por Brutti, 2001).

11.1. Sistemas de compostaje

Los sistemas de compostaje tienen como finalidad facilitar el control y la optimización de parámetros operacionales, para obtener un producto final con la suficiente calidad, tanto desde el punto de vista sanitario como de su valor fertilizante. El acortamiento del tiempo del proceso, la disminución de los requisitos de espacio y energía y de la seguridad higiénica de la planta de tratamiento son también factores decisivos para el diseño de estos sistemas de compostaje.

Los sistemas utilizados se pueden clasificar en dos grupos: abiertos y cerrados. En los primeros, el compostaje se realiza al aire libre, en pilas o montones, mientras que los segundos, la fase de fermentación se realiza en reactores (Sztern y Pravia, 1999; Negro *et al.*, 2000; Brutti, 2001).

SISTEMAS ABIERTOS	
Apilamiento estático	<ul style="list-style-type: none"> • Con aire por succión. • Con aire soplado en conjunción con control de temperatura. • Ventilación Alternante (succión y soplado) y control de temperatura.
Apilamiento con volteo.	
Apilamiento con volteo y aireación forzada.	
SISTEMAS CERRADOS	
Reactores verticales	<ul style="list-style-type: none"> • Contínuos • Discontínuos
Reactores horizontales	<ul style="list-style-type: none"> • Estáticos • Con rotación

Fuente: Gasser, 1984, citado por Negro *et al.*, 2000.

Los sistemas abiertos son los más utilizados en USA, mientras que los sistemas en reactor son denominados con frecuencia "Europeos", en razón a su origen. (Negro y col. 2000).

11.2. Factores importantes a considerar en la elaboración de un buen compost

- Relación C/N de los residuos adecuada, entre 25 y 30.
- Tamaño de los residuos, preferir material entre 10 y 20 mm.
- Humedad, 20 a 35% en base a peso.
- pH recomendable entre 6,5 - 7,5.

11.3. Índices físico-químicos que debe presentar un material ya compostado de buena calidad

- Relación C/N 13-15.
- Reacción cercana a la neutralidad.
- Contenido de nutrientes minerales balanceado.
- Color marrón oscuro.
- No debe presentar mal olor.

12. BIBLIOGRAFÍA

Allison, F.E., Sherman, M.S. and Pinck, L.A. 1949. Soil Sci. 68:463-478.

Allison, F.E. 1965. U.S. Dept. Agric., Tech. Bull. 1332:1-58.

Allison, F.E. 1968. Soil Sci. 106:136-143.

Allison, F.E. 1973. Soil Organic Matter and its role in crops production.

Banghoo, M.S.; K.S. Day; V.R. Sudanagunta y V.E. Petrucci. 1988. Hort Sc. 23 (6):1010-1012.

Barnett, A.P., Rogers, J.S. and Cobb Jr. C. 1960. Ga. Agric. Res. 1(4).

Bartholomew, W.V. 1965. *In:* W.V. Bartholomew and F.E. Clark (Editors), Soil Nitrogen. Agronomy, 10: 285-306.

Bartholomew, W.V. 1966. *In:* The Use of Isotopes in soil Organic Matter Studies. Pergamon, New York, N.Y. p. 171-183.

Black, C.A. 1968. Soil-Plant Relationships. Wiley, New York, N.Y., 792 p.

Brutti, L. 2001. Sistemas de compostaje: Factores críticos del proceso de compostaje. *En:* Seminario-Taller Internacional Manejo de Residuos Sólidos Orgánicos para una Agricultura Limpia. 9 y 10 de octubre de 2001. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas.

- Dubach, P. and Mehta, N.C. 1963.** Soil Fert., 26: 293-300.
- García, F. 1988.** Determinaciones físicas en el suelo, aplicables en estudios de rotaciones. Apuntes de Física de Suelos. Facultad de Agronomía de la República de Uruguay.
- Gottlieb, S. and Hendricks, S.B. 1946.** Soil Sci. Soc. Am. Proc., 10:117-125.
- Hardy, F. 1944.** Trop. Agric. 21:203-209.
- Hillel, D. 1982.** Introduction to soil physics. Academic Press, 364 p.
- Howard, A. 1940.** An Agricultural Testament. Oxford Univ. Press, London. 253 p.
- Junta de Extremadura, Consejería de Agricultura y Comercio. 1992.** Mundi Prensa Castello. 37-28.001. Madrid.
- Kononova, M.M. 1961.** Soil Organic Matter - Its Nature, Its role in soil Formation and in soil Fertility Pergamon, New York. N.Y. 450 p.
- Langenkamp, R.D. 1965.** The Orange Disc. Gulf Oil Co., Pittsburg, Pa, 16:1.
- Le Blanc, L.F. 2000.** Evaluación de los efectos del compost y orujo de uva en el desarrollo de parronales var. Thompson Seedless en la zona de Melipilla. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile.
- Neal, O.R. 1953.** Advances in Agronomy, 5:383-406.
- Negro, M.; Villa, F.; Aibar.; Alarcón.; Ciria, P.; Cristóbal, M.; De Benito, A.; García Martín, A.; Gracia, G.; Labrador, C.; Lacasta, C.; Lezaún, J.; Meco, R.; Pardo, G.; Solano, C.; Torner, C.; y Zaragoza, C. 2000.** Producción y gestión del compost. Dirección General de Tecnología Agraria. Centro de Técnicas Agrarias. Departamento de Agricultura del Gobierno de Aragón. España. Informaciones Técnicas. Núm. 88. 31 p.
- Olsen, R.J.; Hensler, R.F. and Attoe, O.J. 1970.** Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34:222-225.
- Peralta, M.P. 1974.** Apuntes sobre Conservación de Recursos Naturales. Facultad de Agronomía P.U.C.
- Pinck, L.A., Allison, F.E. and Sherman, M.S. 1950.** Soil Sci, 69: 391-401.
- Porta, C.J.; López-Acevedo, R.M.; Roquero, D.L.C. 1994.** Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa Castello. 37-28.000. Madrid.
- Salter, R.M. and Schollenberg, C.J. 1939.** Ohio Agric. Exper. Stn. Bull, 605:1-69.

- Schreiner, O. and Dawson, P.R. 1927.** Trans. Int. Congr. Soil Sci, 1st, Comm, 3:255-263.
- Silva, M. 1999.** Tesis: Bases conceptuales de la agricultura orgánica y su aplicabilidad a la agricultura chilena. Pontificia Universidad Católica de Chile. 67 p.
- Stallings, J.H. 1953.** J. Soil Water Conserv., 8:178-184.
- Sztern, D. y Pravia, M. 1999.** Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud. 67 p.
- Sierra, B.C. 1988.** Evolución de la fertilidad de los suelos de la zona Sur. Informe Técnico Estación Experimental Remehue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Osorno.
- Tan and Tantiwiranond. 1983.** Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 1121-1124.
- Waksman, S.A. and Stevens, K.R. 1930a.** Ind. Eng. Chem., Anal. Ed., 2:167.
- Waksman, S.A. and Stevens, K.R. 1930b.** Soil Sci, 30:97-116.
- Waksman, S.A. 1938.** Humus. Williams and Wilkins Baltimore, Md., 2nd ed., 526 p.
- Whitehead, D.C. and Tinsley, J. 1963.** J. Sci. Food Agric, 14: 849-857.