

# Capítulo 1

## La materia orgánica como eje del manejo sustentable de los suelos

**M. Cecilia Céspedes L. y Michael W. Wolff**

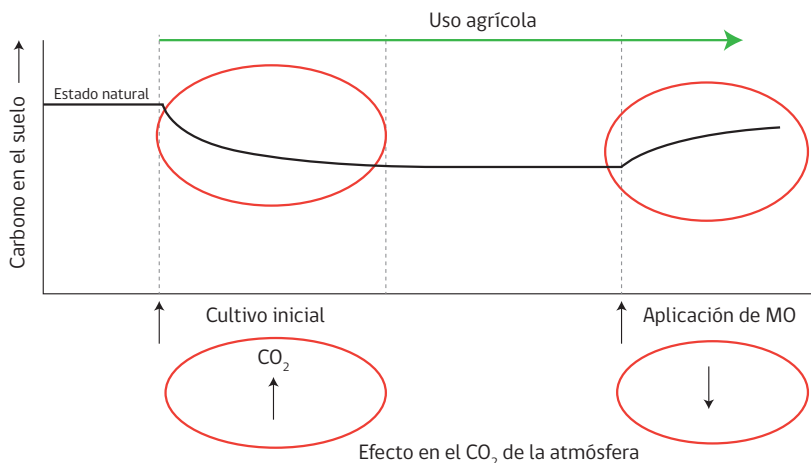
Los suelos se degradan debido al continuo uso agrícola, especialmente con el uso intensivo propiciado por la agricultura convencional. Esta degradación es causada por la erosión y la pérdida de materia orgánica y nutrientes del suelo, pérdidas que están estrechamente ligadas.

La transición de un sistema natural a la producción agrícola provoca la destrucción de la estructura del suelo, dejando disponible a la materia orgánica que estaba protegida en él, para ser consumida por los microorganismos. También se eliminan las raíces, que aportan las condiciones propicias para la actividad biológica del suelo, causando una alteración del mismo. Luego, el manejo convencional intensivo, con uso exclusivo de fertilizantes minerales y sin aporte de materia orgánica, agrava año a año la condición del suelo.

### **1.1. Las enmiendas orgánicas: beneficios en productividad, protección de los suelos y secuestro de carbono**

El uso convencional intensivo tiene como objetivo alcanzar altos rendimientos, aplicando nutrientes solubles, de alto valor, que frecuentemente se pierden con la lixiviación o la escorrentía. Los fertilizantes nitrogenados que se añaden al suelo en exceso, tienen un efecto importante en la degradación de la materia orgánica del suelo, al aumentar su demanda por los microorganismos descomponedores. La aplicación de fertilizantes nitrogenados a base de amonio o urea reducen el pH, lo que obliga a realizar adiciones continuas de cal. Sumado a lo anterior, se pierden importantes volúmenes de residuos orgánicos como rastrojos (quemados o enfardados) y los estiércoles provenientes de animales alimentados con ese rastrojo no se devuelven al suelo.

**Figura 1.1.** Respuesta de contenido de Carbono en el suelo, dependiendo de su manejo.



Los suelos generalmente muestran una curva de pérdida de materia orgánica similar a lo presentado en la **Figura 1.1**. Esta pérdida se puede recuperar al implementar mejores prácticas agrícolas como la aplicación de materia orgánica al suelo.

La exportación de cosechas y residuos de los cultivos agrícolas, y la pérdida de materia orgánica, por décadas, acarrear muchos nutrientes, agravando las deficiencias de micronutrientes, la pérdida de estructura y la falta de vida activa en los suelos. Por estos motivos, se observa con frecuencia, que la agricultura moderna tiene una demanda siempre creciente de fertilizantes. Este aumento es un indicador de la degradación de los suelos. El remplazo de nutrientes por fertilizantes minerales no es una práctica sostenible en el largo plazo, porque no corrige ninguno de los problemas que causaron la degradación del suelo. Por el contrario, afecta el pH, la conductividad eléctrica y la vida del suelo, aumentando los costos de producción.

- ¿Por qué se aplica cada vez más fertilizantes minerales a suelos que cada vez son más pobres, considerando que los recursos globales de elementos como el fósforo, son limitados?
- ¿Es lógico botar los nutrientes y materia orgánica presentes en residuos y lodos al océano o a rellenos sanitarios, en vez de devolverlos al suelo?
- ¿Cuáles prácticas sostenibles se pueden utilizar con todos los residuos que la agricultura produce, para apoyar la fertilidad del suelo?

- ¿Cómo se puede proteger los suelos contra la erosión, mientras los efectos del cambio climático agravan la situación debido a lluvias más intensas, alternadas con sequías más prolongadas?

### **1.1.1. ¿Cómo detener la degradación de suelos y por el contrario lograr su recuperación?**

Un manejo sostenible de la fertilidad de los suelos debe tender a aumentar los niveles de materia orgánica, devolver los nutrientes perdidos y proteger su estructura. En este contexto, el uso de enmiendas orgánicas (derivados de residuos vegetales y animales) juegan un papel clave.

La restauración sostenida de la materia orgánica en un suelo degradado se conoce como secuestro de carbono. Las cantidades de carbono que se pueden devolver al suelo como materia orgánica son potencialmente enormes, compensando hasta el 25% del calentamiento global que la humanidad ha causado. La restauración dependerá del cambio sostenido en el manejo del suelo, de lo contrario las ganancias serán temporales. Mientras lo anterior parece ambicioso, el manejo sostenible de la fertilidad del suelo, mediante la aplicación de altas cantidades de enmiendas orgánicas, es una idea realista.

Los beneficios de añadir/devolver materia orgánica al suelo deben ser considerados por los agricultores y todos los actores relacionados con la producción agropecuaria. Dentro de las múltiples ventajas de esta práctica se pueden mencionar las siguientes:

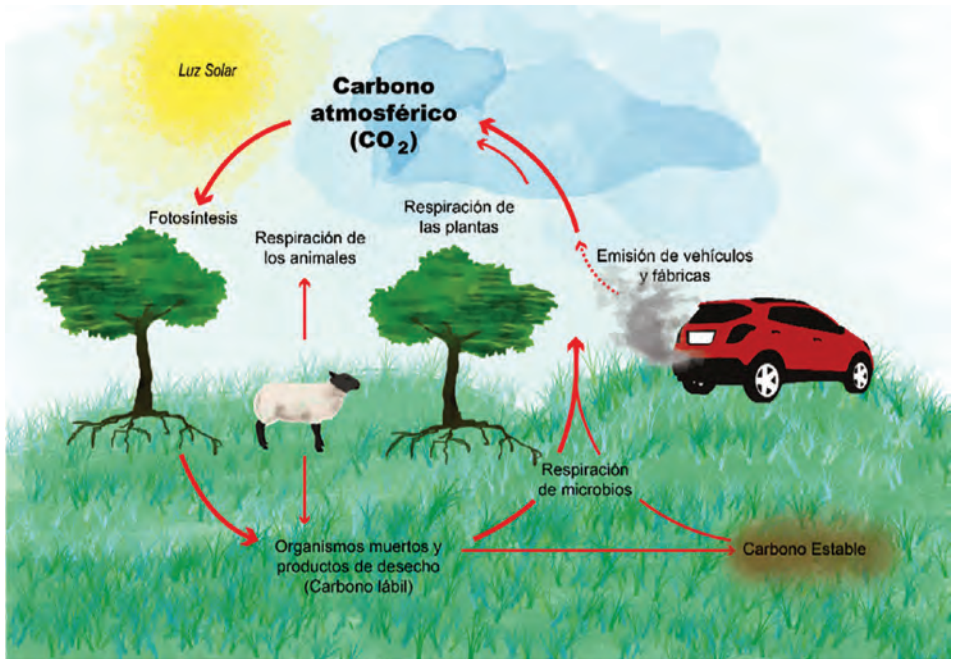
1. Incrementa y fortalece la estructura del suelo. Los macro agregados están unidos por materia orgánica más fresca. Si no hay ingresos de este tipo de materia orgánica, se debilitan y se rompen los macro agregados del suelo. Un suelo con buena agregación tiene:
  - a. Mejor capacidad de almacenar humedad
  - b. Mejor resistencia a la compactación
  - c. Mejor resistencia a la erosión
  - d. Mejor capacidad de infiltrar agua.
  - e. Mejor albergue de microorganismos.
2. Mejora la nutrición de cultivos, debido a:
  - a. Fertilización directa. Aunque las cantidades de nutrientes dependen mucho del tipo de enmienda utilizada, es relevante la cantidad de micronutrientes.

- b. Retención de nutrientes. La materia orgánica provee sitios de carga positiva y negativa, que permiten retener nutrientes de ambas cargas. Además, tiene la capacidad de formar compuestos con metales, que son retenidos hasta que son adsorbidos por las raíces de los cultivos.
  - c. Suministro gradual de nutrientes. Al descomponerse, la materia orgánica y los nutrientes adheridos a ella, se liberan.
3. Incrementa la actividad biológica
- a. Mayor crecimiento de hongos benéficos, importantes agentes en la distribución de nutrientes por todo el sistema suelo.
  - b. Aumento de las poblaciones de lombrices y otros macro organismos que están relacionados con la fertilidad y la estabilización de materia orgánica, además de mejorar la estructura del suelo, mediante las galerías que realizan con el consecuente aumento de la porosidad.
  - c. Importación de poblaciones activas microbianas, especialmente descomponedores, lo que permite mantener el reciclaje de nutrientes.
  - d. Un mayor reciclaje de nutrientes y albergue de microorganismos, alimenta una mayor biodiversidad de microorganismos que permiten suprimir enfermedades y plagas de los cultivos.
4. Amortiguación de pH, elevándolo en suelos ácidos y bajándolo en alcalinos.
5. Aumento sostenido en materia orgánica del suelo (**Figura 1.2.**), lo que implica secuestro de carbono, que puede ser variable dependiendo del manejo agronómico y del tipo de suelo.

**Figura 1.2.** Suelo granítico de la región del Biobío, comuna de Yumbel, con aplicación de compost durante 10 años (izquierda) y sin aplicación (derecha).



Figura 1.3. Ciclo del carbono.



### 1.1.2. ¿Qué se sabe sobre la materia orgánica estable en el suelo?

La materia orgánica del suelo es la fracción formada por compuestos orgánicos, en distintos grados de descomposición, que provienen de restos de organismos muertos (plantas y animales) y sus productos de desecho. La materia orgánica estable en el suelo, es generalmente derivada de la vida microbiana. Eso quiere decir que, a excepción del carbón (quemado), la materia orgánica añadida no dura muchos años en el suelo, y que la biomasa microbiana es un buen indicador de los efectos del manejo de suelo sobre los niveles de carbono estable. En parte, por este hecho, las raíces son más importantes en el aporte de materia orgánica estable, que los residuos aéreos de las plantas. Finalmente, sabemos que suelos menos disturbados (con menos laboreo) generalmente tienen más materia orgánica, porque ésta queda protegida en agregados más grandes.

El carbono no está fijo en ninguna de sus formas, pero con el reciclaje y el uso del suelo, se pueden modificar los ingresos de materia orgánica, afectando la cantidad de carbono estable en el suelo (Figura 1.3).

### 1.1.3. ¿Qué se sabe sobre los efectos de los diferentes tipos de enmiendas orgánicas en el suelo?

**Generalmente, hay 6 categorías de enmiendas orgánicas, con niveles distintos de nutrientes y carbono, que tienen los siguientes efectos sobre la materia orgánica del suelo:**

1. Guanos, purines, estiércoles de distintos orígenes, aplicados en estado crudo o semi-maduro.

2. Compost, bokashi u otros biopreparados que corresponden a mezclas sólidas de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que se estabilizan mediante un proceso de descomposición.

3. Tés de compost, diluciones líquidas de hidrolisatos, o ácidos húmicos en solución.

**Estos grupos tienen efectos diferentes en el suelo y en los aportes de materia orgánica:**

1. Los guanos, purines y estiércoles aportan gran cantidad de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno. Pueden utilizarse como base de fertilización y mantener suelos con altos niveles de materia orgánica. Sin embargo, corresponde a la utilización de nutrientes derivados de otras áreas para alimentar animales. Por lo tanto, no puede ser considerada una solución generalizada para los suelos degradados.

2. Los compost, bokashi u otros biopreparados, si están bien elaborados, contribuyen con carbono resistente ya que al estar estabilizados tienen una gran fracción de materia orgánica transformada en sustancias húmicas que tienen larga vida en el suelo. Su uso favorece la estructura del suelo e incentiva muchos procesos microbianos; se consideran acondicionadores del suelo y pueden ser subvencionados por el Estado, como en el caso del Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S).

3. Los tés de compost aportan pocos nutrientes y poco carbono. Pero, se ha observado que por proporcionar al suelo ácidos húmicos y altas poblaciones de microorganismos, estimulan el crecimiento de raíces, que a su vez hacen un importante aporte a la materia orgánica y aumentan la eficiencia de adsorción de nutrientes; sin considerar el efecto positivo en la supresión de enfermedades y plagas.

4. Residuos de cultivos incorporados al suelo para acelerar su descomposición como rastrojos de cereales u otros cultivos, podas de viñas, berries u otros.

5. Abonos verdes establecidos en otoño e incorporados a inicios de primavera.

6. Residuos dejados en la superficie, como rastrojos de cereales con cero labranza o madera triturada que se utiliza como mulch.

4. La incorporación de residuos vegetales al suelo puede aumentar el contenido de materia orgánica, pero el disturbio del suelo también puede cancelar ese efecto, permitiendo que se descomponga una cantidad igual a la materia orgánica incorporada. En todo caso, la incorporación mejora la retención del agua, hace el suelo más resistente a la erosión y reemplaza ciertos nutrientes que se perderían en la quema o en la remoción de residuos.

5. Los abonos verdes sirven para proteger el suelo durante el invierno, capturar nutrientes que se pueden perder por lixiviación y aprovechar la capacidad de algunas leguminosas de fijar nitrógeno atmosférico, beneficiando al siguiente cultivo. Aunque aumentan los ingresos de carbono al suelo cuando son incorporados, también implican movimiento del mismo y no se han encontrado aumentos de contenido de carbono estable con esta práctica.

6. Los residuos dejados en la superficie del suelo generalmente aumentan el contenido de carbono en el suelo, en el contexto de cero labranza, debido a que no se rompen los agregados. Así la materia orgánica y las hifas de hongos quedan protegidas y no son consumidas por los microorganismos descomponedores. Los residuos sobre el suelo también retienen más humedad, combaten malezas y protegen el suelo de la erosión.

#### **1.1.4. Resultados experimentales**

Existen varias preguntas por responder acerca del destino de la materia orgánica en el suelo, debido a la complejidad de la vida microbiana y los efectos del tipo de suelo, clima, déficit de carbono y manejo agronómico. No obstante, investigaciones en Chile y en el extranjero, ha evidenciado que varias prácticas han logrado cambiar la calidad de ciertos suelos y aumentar el secuestro de carbono, como materia orgánica estable.

El INIA ha desarrollado investigación que busca responder algunas inquietudes científicas, para lo cual se ha realizado muestreos de predios con varias prácticas que son incluidas en el Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Degradados, SIRSD-S, que permiten aumentar el contenido de la materia orgánica en el suelo, y así, secuestrar carbono en ellos.

Al investigar los efectos de la aplicación de compost, en suelos graníticos del secano interior, se estimó una capacidad de secuestro de carbono de 4,9 toneladas de carbono por hectárea (t C/ha) de acuerdo a la información obtenida del **Cuadro 1.1**. En suelos volcánicos (trumaos), los efectos no fueron consistentes ni significativos.

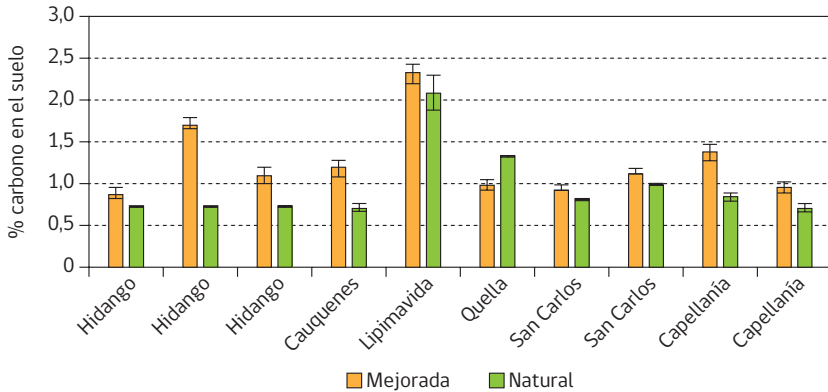
**Cuadro 1.1.** Aumento de materia orgánica y de fracción de agregados estables en el agua en dos suelos graníticos con diferentes períodos y tasas de aplicación de compost.

Uso	Años de aplicación	Tasa de compost, t/ha/año	% Materia orgánica	Fracción estable
Suelo Vega, Franco Arenoso				
Compost invernadero (hortalizas)	4	20	3,27	82,79
Cultivado	4	7	1,88	46,63
Pastoreado			1,41	56,28
Suelo Ladera, Franco Arenoso y Franco Arcilloso				
Hortalizas, compost alto	10	30	8,97	86,37
Hortalizas, compost mediano	10	15	3,22	71,85
Cultivado, compost bajo	10	7	2,93	51,76

El mejoramiento de praderas con siembra de leguminosas y fertilización fosfatada, también mostró efectos consistentemente positivos en el contenido de materia orgánica de suelos no volcánicos (ganancia estimada cercana a 1 tonelada de C por año, donde esa suma probablemente sería añadida por 15 a 20 años) (**Figura 1.4**). Aunque la siembra de leguminosas no es una enmienda orgánica propiamente tal, el aporte de nitrógeno orgánico al suelo, sumado a la fertilización fosfatada,



**Figura 1.4.** Diferencia en el contenido de carbono del suelo bajo pradera mejorada respecto de pradera natural, expresado en porcentaje. Los sitios están ordenados de norte a sur y las barras representan el error estándar.



provee de un volumen importante de raíces activas que fijan nitrógeno por asociación con rizobacterias. Las leguminosas proveen de exudados y raíces ricas en N, que mueren convirtiéndose en materia orgánica del suelo. También proveen de nutrición adicional al ganado que se alimenta de la pradera, aumentando el volumen de estiércoles que entran al suelo, constituyendo un aporte extra de materia orgánica. Además, el aumento de biodiversidad al intercalar otras especies, es consistente con los principios de manejo sostenible de la fertilidad del suelo.

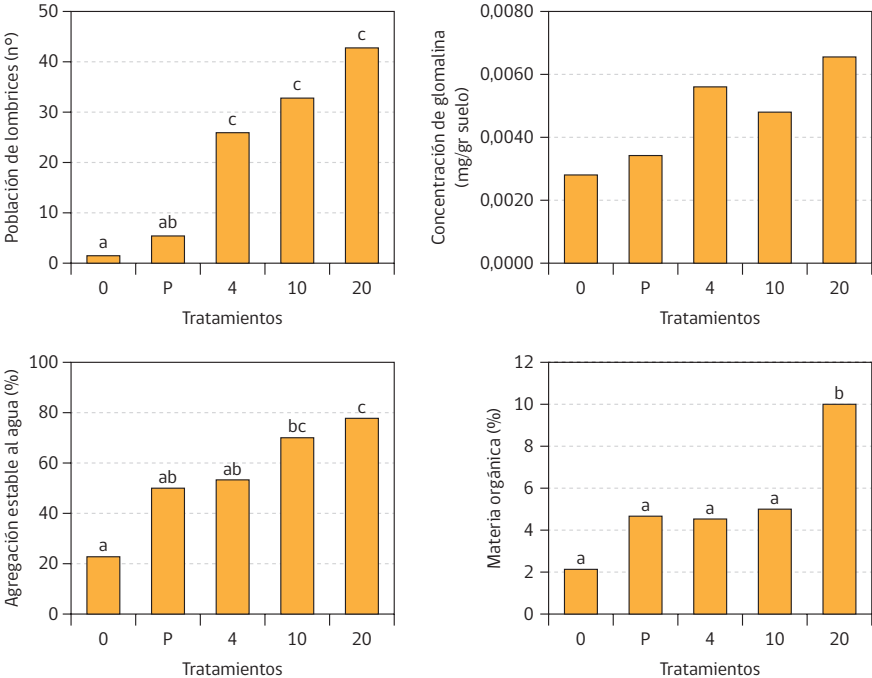
Como se observa en la **Figura 1.4**, suelos ubicados en el mismo lugar, que corresponden a las mismas series de suelos, tienen respuestas diferentes generalmente debido a la cantidad de años de la pradera mejorada. Es decir, en la medida que aumentan los años, las diferencias son más consistentes.

Con la incorporación de residuos de cereales, no se observó un aumento del contenido de materia orgánica en los primeros 5 años, después del abandono de la quema. Pero el disturbio provocado por el laboreo del suelo con la incorporación de los residuos es un factor que interfiere en el aumento de materia orgánica. Los resultados también dependen de los diferentes cultivos ya que, por ejemplo, sistemas sin quema generalmente incluyen maíz, el cual se descompone más fácilmente que trigo y avena. No obstante, existen otros efectos positivos, que se pueden atribuir a la incorporación de residuos de cereales, como la mayor retención de humedad, la resistencia a la erosión y la reducción de emisión de gases de efecto invernadero (GEIs) al eliminar la quema de los rastrojos.

Considerando los efectos de enmiendas orgánicas en sistemas chilenos es importante distinguir entre dos grupos de suelos: los volcánicos y los no-volcánicos. Hay evidencias de que la materia orgánica del suelo se puede aumentar en suelos graníticos con varias prácticas sostenibles. Estos suelos, igual que los aluviales y sedimentarios, son parecidos a muchos suelos degradados del mundo donde se ha logrado recuperar los niveles de materia orgánica.

Estudios realizados por INIA han demostrado que la aplicación periódica de materia orgánica al suelo durante varios años permite reducir la densidad aparente, aumentar la agregación estable al agua, las poblaciones de lombrices y el contenido de materia orgánica del suelo. En la **Figura 1.5** se puede apreciar los resultados de un estudio observacional realizado en suelos graníticos de la región del Biobío, donde se estudiaron suelos que habían recibido al menos 10 t/ha de materia orgánica cada año, sin importar si la enmienda era compost o guano maduro. Los suelos colectados se agruparon de acuerdo a la cantidad de años en

**Figura 1.5.** Indicadores de calidad de suelos con aplicaciones periódicas de materia orgánica.



que se les había aplicado la enmienda (4: de 2 a 4 años, 10: de 5 a 10 años, 20: de 16 a 20 años) y luego se compararon con dos situaciones sin aportes de materia orgánica (0: suelo descubierto sin aplicación de materia orgánica y P: suelo con pradera natural y sin aplicación de materia orgánica).

En la **Figura 1.5** es posible observar como la estabilidad de los agregados del suelo aumenta a medida que existe mayor número de aplicaciones de la enmienda orgánica.

En el caso de la materia orgánica no se detectan diferencias en los primeros años, probablemente debido a que las enmiendas aplicadas son rápidamente consumidas por los microorganismos presentes en el suelo. Pero después de varios años de aportes se observa una respuesta.

Las lombrices son organismos oportunistas, llegan y permanecen en sectores donde existen condiciones adecuadas para su multiplicación y desarrollo, condiciones que incluyen humedad y disponibilidad de materia orgánica para alimentarse. En la **Figura 1.5** es posible observar como las poblaciones de lombrices aumentan en la medida que la cantidad de años de aplicación de materia orgánica aumenta. El efecto acumulativo indica un cambio del ecosistema del suelo, ya que si solamente se debiera a la ingesta de la materia orgánica, su alza de población solo habría ocurrido en el primer período de aplicación de enmiendas, y después se habría mantenido estable a través de tiempo.

El último indicador, la glomalina, es una proteína fúngica producida por los hongos micorrízicos-arbusculares (HMA). Las micorrizas forman relaciones beneficiosas con las raíces de la mayoría de las plantas, llevándoles nutrientes y agua que no pueden acceder de otra manera.

Los HMA producen la glomalina para constituir las paredes de sus hifas y esporas, pero ésta también sirve para cementar las partículas del suelo y mantener carbono en una forma estable. En la **Figura 1.5**, la concentración de la glomalina no presentó diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, sigue una tendencia similar a la encontrada en la agregación estable al agua y a las poblaciones de lombrices.

En Chile hay una importante superficie compuesta por suelos de cenizas volcánicas recientes (trumaos) que deberían tener una respuesta diferente a la aplicación de enmiendas orgánicas. En ellos, las altas cantidades de materia orgánica se mantienen, principalmente gracias a mecanismos químicos de estabilización. Sin embargo, con frecuencia tienen baja actividad microbiana y estructura muy

débil, son polvosos en sequía y tienen disponibilidad limitada de fósforo, igual que de azufre y potasio; problemas que se pueden mejorar con enmiendas orgánicas. Estos suelos son muy vulnerables frente de la erosión eólica e hídrica, la mínima o cero labranza los protege, al dejar los residuos sobre el suelo o incorporándolos superficialmente; la quema deja los suelos expuestos y disipa varios nutrientes al viento, por lo que se debe evitar.

La fertilización mineral y la aplicación de enmiendas orgánicas han sido entendidas como alternativas diferentes en Chile. Sin embargo, en muchas partes del mundo se está reconociendo la necesidad de combinar los dos tipos de fertilización. Esta combinación lleva el nombre de fertilización integrada. El objetivo es que los suelos retengan nutrientes y humedad, sean resistentes a la erosión y compactación y sean biológicamente activos en el largo plazo. Es decir, es necesario considerar que sobre la fertilidad del suelo intervienen en forma interdependiente factores químicos, físicos y biológicos y por ello, al aportar materia orgánica al suelo, aumentará la actividad microbiana, se cerrarán los ciclos de los nutrientes, mejorará la estructura y con ello será posible lograr un manejo sostenible de la fertilidad de los suelos.

## **1.2. Técnicas para la elaboración de compost**

El compost o abono orgánico compuesto es el producto que resulta de la descomposición aeróbica (en presencia de oxígeno) de una mezcla de materias primas orgánicas, provenientes tanto de animales como de vegetales, bajo condiciones específicas de humedad y temperatura.

Este material está constituido, principalmente por materia orgánica estabilizada, siendo imposible el reconocimiento de su origen. El compost está libre de patógenos o enfermedades y no contiene semillas de plantas (malezas), porque mueren con las altas temperaturas que alcanza la oxidación. Puede ser aplicado directamente al suelo, mejorando sus características físicas, químicas y biológicas.

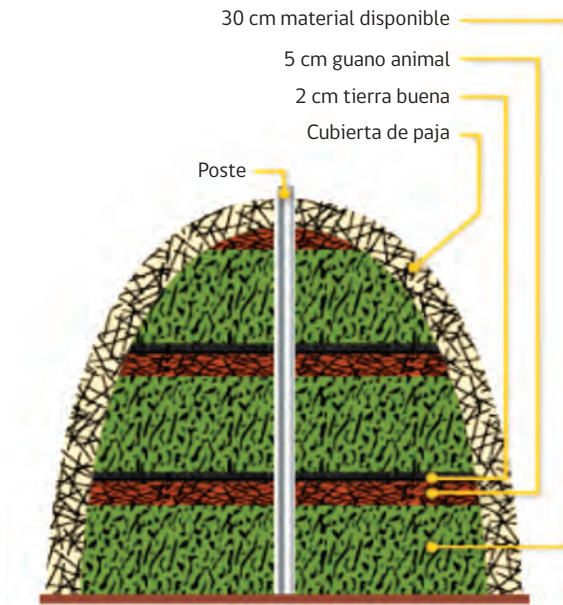
Es un producto que sirve para mejorar los suelos ya que aporta nutrientes, promotores de crecimiento y microorganismos benéficos que, entre otras cosas, reduce la incidencia de enfermedades y plagas que afectan a las plantas, y mantiene una buena calidad del recurso suelo. El efecto del abono orgánico es progresivo y acumulativo, poco a poco va mejorando la calidad del suelo: estructura, retención de humedad, cantidad de nutrientes y mejora la capacidad exploratoria de las raíces, lo que lleva a una mejor producción.

### 1.2.1. Preparación

Antes de elaborar el compost, la zona de trabajo se debe ubicar en un sector alto, que no se inunde o con una leve pendiente para evitar encharcamientos, que tenga sol y sombra, cerca de una fuente de agua y de preferencia que no interfiera con las labores agrícolas.

Se marca un sector de terreno de 1,5 por 1,5 m, se raspa y suelta un poco la parte superficial del suelo. La pila de compostaje debe tener un ancho mínimo entre 1,5 y 2 m, para facilitar el volteo. El largo puede ser mayor, dependiendo de la cantidad de material disponible. En el centro se coloca una estaca de unos 2 m de largo, si la pila es larga, se coloca una estaca cada 2 ó 3 metros. Se comienza la construcción de la pila de compostaje alrededor de la estaca, colocando una capa de 30 cm de material vegetal (rastrajos, hojas, malezas, restos de cocina, etcétera), humedeciendo inmediatamente la capa. Es importante que los materiales utilizados queden ubicados en forma homogénea, para lograr que el proceso sea igual en toda la pila, es decir, si se aplican restos secos, debe hacerse en toda la capa, luego otros restos vegetales de la misma forma, hasta lograr los primeros 30 cm de altura.

**Figura 1.6.** Elaboración de una pila de compostaje.



Luego, se agrega una capa de 5 cm de guano, la que igualmente se humedece con agua. Si el guano está maduro o si es una mezcla con residuos orgánicos como el caso de una cama animal, la cantidad de guano se debe duplicar. Sobre estas dos capas se aplican 2 cm de tierra de buena calidad o, si hay disponible un compost terminado, con la finalidad de inocular microorganismos que se encargarán de iniciar el proceso de descomposición. La secuencia se repite hasta alcanzar una altura de al menos 1,5 metros, mojando cada nueva capa. Es recomendable cubrir la pila con una capa de paja, sacos o malla de sombra (raschel). Se debe sacar la estaca del centro para mejorar la ventilación. El espacio que deja la estaca sirve también para introducir la mano y evaluar el alza de la temperatura.

### **1.2.2. Materias primas para su elaboración**

Los materiales más comunes para utilizar son los rastrojos de cultivos, paja, aserrín, restos de poda, malezas, hojas; y de origen animal, guano de diversas especies, orina y cama animal.

Se pueden utilizar todos los residuos orgánicos, a excepción de:

- Materiales no degradables (plásticos, vidrios, etcétera.).
- Heces de perro, gato o humano, para evitar enfermedades.
- Materiales de difícil descomposición.
- Residuos tóxicos que no permiten el normal proceso de descomposición.

### **1.2.3. Manejo durante el proceso de compostaje**

Como el proceso es aeróbico, no se debe compactar la pila para que circule el aire. Se debe mantener la humedad en forma permanente, por ello en verano es recomendable ubicar aspersores sobre la pila. Por el contrario, en períodos lluviosos se recomienda tapar la pila con plásticos o sacos, para evitar el exceso de humedad y lavado de nutrientes y microorganismos (**Figura 1.7**).

Para evaluar la humedad se puede tomar una porción de compost y al apretarlo no debe escurrir agua. Si al abrir la mano se forma un agregado, el contenido de humedad es apropiado. Si se disgrega, se debe mojar (**Figura 1.8**).

La mezcla de materias primas orgánicas se calentará a partir del segundo día, lo que indica que el proceso está funcionando. Se pueden alcanzar temperaturas superiores a los 90°C, pero es conveniente mantenerla entre 60 y 75°C. Para disipar temperatura se puede revolver y mojar. Se recomienda al menos 55°C

**Figura 1.7.** Riego en verano en una pila de compostaje.



**Figura 1.8.** Evaluación de la humedad del compost.



por al menos 36 horas consecutivas para asegurar la muerte de patógenos y semillas de malezas.

Pasado algunos días, la pila comenzará a enfriarse, debido a la falta de oxígeno en su interior, por ello es necesario revolverla, para incorporar aire. Habitualmente se aprovecha el volteo para mojar la pila y mantener la humedad ideal.

Después de 3 a 4 meses el compost estará listo y se puede usar. Esta situación se verifica cuando se cumplen tres condiciones: no es posible distinguir las materias

primas utilizadas en la elaboración, no aumenta la temperatura aunque se voltee y ha adquirido olor agradable a tierra de hojas. Una vez terminado, se puede almacenar en sacos o guardar a granel protegiéndolo de la luz solar en un lugar fresco y seco. Lo ideal es mantenerlo con un 40% de humedad ya que no debe researse. Un metro cúbico de compost pesa entre 650 y 700 kilogramos.

#### **1.2.4. Aplicación y dosis**

El compost se aplica en forma localizada en la línea de plantación al momento de realizar el establecimiento del cultivo o frutal. También se pueden realizar aplicaciones post plantación colocando una capa alrededor de cada planta, siempre es conveniente incorporarlo para evitar la muerte de los microorganismos benéficos que contiene, por efecto de los rayos ultravioleta.

La dosis recomendada es de 20 ton/ha en cultivos anuales, aplicando a todo el paño. Si las aplicaciones se realizan en la línea de plantación se puede reducir a 10 ton/ha. La misma cantidad se utiliza en cultivos perennes aplicando bajo el lateral de riego.

### **1.3. Uso de biopreparados**

#### **1.3.1. Lombricompost o vermicompost**

El lombricompost o vermicompost es el producto final del proceso de biooxidación, degradación y estabilización de residuos orgánicos (vegetales y animales), por la acción combinada de la digestión de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) y microorganismos. Este producto está estabilizado, es homogéneo y de granulometría fina. Las lombrices, al alimentarse de los residuos orgánicos, inician su descomposición, dejándolos disponibles para la acción de los microorganismos y, de esta forma, estimulan la actividad microbiana. Al igual que el compost, este producto puede ser usado como un mejorador de las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

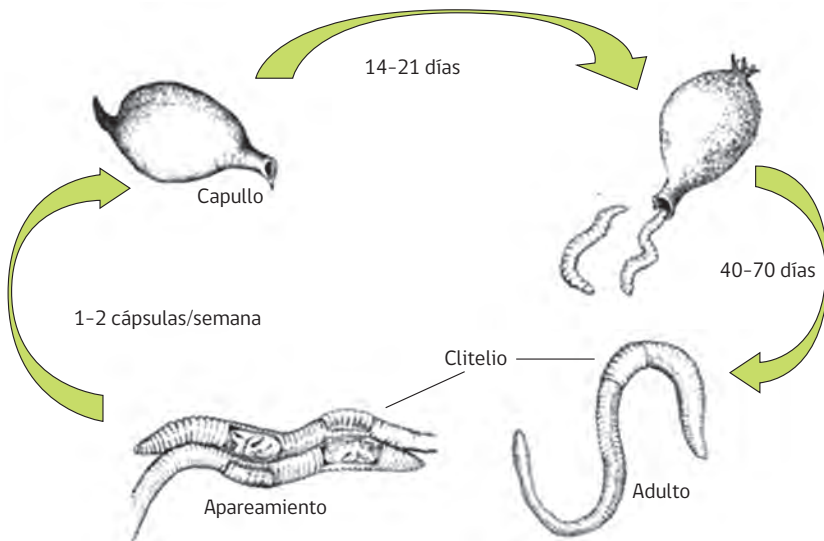
##### **1.3.1.2. Características de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*)**

La lombriz roja californiana es una de las especies de lombrices que se usan en lombricultura por su gran capacidad reproductiva. Pertenecen a la familia Lumbricidae y se agrupan en la categoría ecológica epigeas, que poseen una estrategia reproductiva rápida y prolífica, lo cual le permite altas tasas de consumo de residuos orgánicos y sucesivas generaciones.



Se desarrolla bien en ambientes húmedos, sin luz directa, siendo los climas templados ideales para su reproducción. Esta especie puede duplicar su población en un mes con un manejo apropiado. Cada lombriz puede poner un cocón, de donde nacen 1 a 5 lombrices en un período de 14 a 21 días, llegando a su madurez sexual en tres meses aproximadamente. Se reproducen cada 7 días durante toda su vida. La lombriz roja californiana vive muchos años, se reproduce muchas veces en el año y es muy eficiente en transformar los residuos orgánicos en una excelente enmienda orgánica (**Figura 1.9**).

**Figura 1.9.** Ciclo biológico de *Eisenia foetida*. Fuente: Vargas-Machuca y Domínguez (2011).



**Selección del lugar:** Se debe ubicar en un sector protegido, para que las lombrices no queden expuestas directamente al sol. Es aconsejable taparlas con una malla negra y bajo techo, para evitar exceso de humedad en períodos de precipitaciones, si no tienen techo tapar con plástico. Para comenzar la producción es necesario hacer una cuna de lombrices, la cual será la base para los posteriores lechos para producir lombricompost.

**Establecimiento de la cuna de lombrices:** Colocar compost de preferencia o una mezcla de estiércol y aserrín húmedo en el fondo del recipiente. Colocar varias lombrices y observar si se entierran fácilmente. Si se escapan o no se entierran y

mueren, es porque no sirve ese sustrato o porque está muy seco. Si las lombrices entran al sustrato sin problema, se ponen todas las lombrices en la cuna tratando de no alterar el sustrato en el que vienen y se cubre con paja o malla. Se debe mantener siempre húmedo, mediante riegos frecuentes. Después de 3 meses, puede traspasar las lombrices de la cuna al lecho para producir lombricompost.

Instalación en el lecho: Colocar en el fondo una capa de compost o estiércol maduro y mojar. Poner una o dos lombrices para ver su comportamiento, si penetran al sustrato sin problemas colocar sobre el sustrato todo el núcleo de lombrices y dejarlo tapado y protegido. Si las lombrices se retuercen sin penetrar en el sustrato, revisar que el sustrato esté bien húmedo. Idealmente se debe utilizar material del mismo lecho de donde provienen las lombrices

Alimentación de las lombrices: Se pueden alimentar con diversos tipos de residuos orgánicos, evitando aquellos que se calientan como guano o estiércol fresco, los que se deben dejar 2 a 3 días en descomposición antes de agregarlos al lecho para evitar el daño de las lombrices por el calor.

Cosecha de vermicompost o lombricompost: En 3 a 4 meses ya se puede comenzar a cosechar el producto, dependiendo del manejo que se le ha dado. Para ello se separan las lombrices dejando alimento sólo en un extremo del lecho y humedeciendo solo ese sector durante 4 a 7 días.

Las lombrices migrarán a ese lugar y el lombricompost quedará en condiciones para ser cosechado, con una baja carga de individuos. Otra forma de cosechar es colocando una malla raschel sobre el lecho de las lombrices, se agrega el alimento sobre ésta y después de 7 días se retira la malla con lombrices y el lombricompost queda disponible para ser utilizado.

Para cosechar lombrices se utilizan trampas, colocando alimento dentro de bolsitas de malla, en el interior del lecho y en diferentes puntos, para que en ellas se agrupen las lombrices. Al cabo de una semana se sacan las bolsas con gran cantidad de lombrices.

Aplicación y dosis: El vermicompost es un biofertilizante que se puede utilizar en todo tipo de cultivos y plantas. En la almaciguera mezclado con arena y tierra en partes iguales, en los camellones o camas altas, en los surcos de siembra, en maceteros y en la fuente de árboles frutales o bajo el riego por goteo. Se puede usar mezclado con otros abonos orgánicos, como compost y/o bokashi. **(Figura 1.10).**

**Figura 1.10.** Lombriz y cocón, dentro del cual se encuentran los huevos de la lombriz.



### **1.3.1.3. Envasado y almacenaje**

El lombricompost cosechado se deja secar al aire por unos días, puede almacenarse durante mucho tiempo en sacos, en un lugar fresco y seco, sin que sus propiedades se vean alteradas, pero es necesario mantenerlas bajo condiciones óptimas de humedad (40%).

Su aplicación, al igual que la del compost, mejoran la fertilidad física, química y biológica, contribuyendo a recuperar suelos degradados y contaminados y elevando los rendimientos de cosecha de los cultivos. El conocimiento acerca de sus capacidades aún es limitado, pero se ha demostrado que permite reducir las poblaciones de hongos patógenos que causan enfermedades radiculares.

### **1.3.2. Bokashi**

El bokashi es una enmienda orgánica que puede ser elaborada fácilmente por agricultores y puede formar parte de las herramientas para el manejo sostenible del suelo. En su preparación se consideran residuos vegetales y animales, que junto con un inóculo microbiano (yogurt, guano, levadura y tierra), promueven la mineralización de la materia orgánica de la mezcla de materias primas, obteniendo un producto final con alto contenido de materia orgánica y nutrientes, en un corto período de tiempo.

Para la elaboración del bokashi existen diferentes tipos de recetas que reemplazan algunos ingredientes de la receta original por insumos locales, es así que, en la actualidad se llama bokashi al sistema de elaboración y no a la receta original

(Ramos *et al.* 2014). El bokashi terminado aporta muchos nutrientes necesarios para estimular el crecimiento y desarrollo de los cultivos, como también microorganismos benéficos. Igual que el compost, la aplicación de bokashi al suelo tiene un efecto progresivo y acumulativo, aumentando el contenido de materia orgánica y mejorando las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Para su elaboración se utilizan materias primas locales, con lo cual, se promueve el uso de prácticas sostenibles (Tilman 2002) y el reciclaje de residuos orgánicos. Además, al elaborarse en un corto período de tiempo puede utilizarse como una alternativa a la aplicación de compost, o bien como una práctica complementaria a éste (**Figura 1.11**).

**Figura 1.11.** Materias primas para la elaboración de bokashi.



**Cuadro 1.1.** Insumos para la elaboración de bokashi.

Insumo	Cantidad
Guano maduro, seco, de preferencia harnereado	40 kg
Tierra de buena calidad harnereada	40 kg
Afrechillo o harinilla o afrecho	20 kg
Yogurt, suero, leche, kéfir (1/4 litro)	1 litro
Levadura seca	20 g
Miel, melaza, azúcar, chancaca o mermelada	1 taza

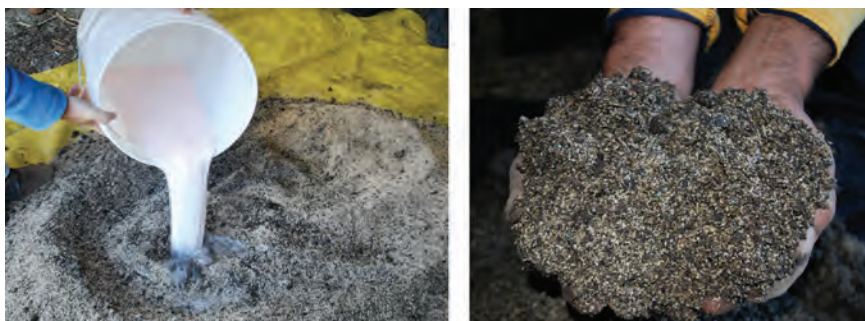
### Cuadro 1.2. Proceso para la preparación de bokashi.

Día 0	<ul style="list-style-type: none"><li>▸ Poner en el piso un plástico de unos 2,5 por 2, 5 m.</li><li>▸ Sobre el plástico mezclar bien la tierra, el guano y el afrecho o harinilla o afrecho, simulando a los volteos que se le da a una mezcla de cemento con arena.</li><li>▸ Diluir en 20 litros de agua, la miel, melaza, azúcar o mermelada; el yogurt, leche o kéfir y la levadura.</li><li>▸ Con esta preparación líquida, mojar la mezcla de materiales sólidos mientras se revuelve.</li><li>▸ Agregar un poco más de agua, hasta que quede con humedad adecuada de tal forma que al apretar una porción de la mezcla no gotee. Pero, que al abrir la mano mantenga la forma.</li><li>▸ Si la humedad no es suficiente, se debe seguir agregando agua como lluvia y revolver. Si por el contrario, la humedad es excesiva, se debe agregar más afrechillo, afrecho o harinilla.</li><li>▸ Dejar el material en un montón y tapar con plásticos para evitar pérdida de humedad.</li></ul>
Día 1, 2 y 3	<ul style="list-style-type: none"><li>▸ Se debe revolver 3 veces al día (mañana, medio día y tarde), mantener la altura de unos 30 cm y tapar con plástico.</li><li>▸ Al segundo día, el olor será similar a la levadura.</li></ul>
Día 4, 5 y 6	<ul style="list-style-type: none"><li>▸ Se debe revolver 2 veces al día (mañana y tarde) , mantener una altura a unos 30 cm.</li></ul>
Día 7	<ul style="list-style-type: none"><li>▸ Se debe extender el preparado, de manera que pierda algo de humedad y temperatura, a unos 10 cm de altura.</li></ul>
Día 8	<ul style="list-style-type: none"><li>▸ La temperatura debe estar baja y la mezcla ha tomado un color gris parejo. Es posible utilizar el producto terminado.</li></ul>

Adaptado de: Infante, 2011.

También se puede agregar pequeñas cantidades de cáscaras de huevo molidas, carbón molido, cenizas y roca fosfórica.

**Figura 1.12.** Elaboración de bokashi.



**Cuadro 1.3.** Características químicas de un bokashi terminado.

Parámetro evaluado	Contenido
Materia Orgánica %	36,33
Carbono Orgánico %	20,20
N total %	1,33
N Amoniacal (N-NH <sub>4</sub> ) mg/kg	2.454,1
N Nítrico (N-NO <sub>3</sub> ) mg/kg	0,23
Relación C/N	15,25
Relación Amonio/Nitrato	10.669,8
Fósforo Soluble mg/kg	67,50
Potasio Soluble mg/kg	9.066,3
Calcio Soluble mg/kg	179
pH	7,58
Conductividad eléctrica dS/cm	4,85

**1.3.2.1. Envasado y almacenaje**

Al cabo de 8 días, cuando el bokashi está terminado, se ha enfriado y tiene un color ceniciento, si no se va a utilizar inmediatamente se recomienda almacenar en sacos, en un lugar fresco y seco, a la sombra. Es recomendable usar antes de 3 meses de finalizada su elaboración.

**1.3.2.2. Aplicación y dosis**

- Se recomienda aplicar en dosis de un kilogramo por metro cuadrado, no más que esa cantidad ya que puede tener niveles altos de conductividad eléctrica.
- Se puede aplicar directamente encima de los camellones, cama alta, surcos de siembra, maceteros y fuentes de árboles frutales ya establecidos, siempre es recomendable incorporarlo.
- Aplicar 15 días antes de la siembra o trasplante, porque puede inhibir la germinación de algunas semillas por la presencia de sales.
- Se puede utilizar en mezcla con suelo, como sustrato al realizar almácigos.

## Literatura consultada

- Eyhorn, F., Heeb, M., & Weidmann, G. 2002. IFOAM manual de capacitación en agricultura orgánica para los trópicos: teoría, transparencias y enfoque didáctico. Recopilado por FIBL. 199p.
- Infante, A. 2011. Manual de biopreparados para la Agricultura ecológica. PTO FIA. Chillán, Chile. 203 p.
- Ramos, D., Terry E., Soto, F., Cabrera, J.A. 2014. Bocashi: organic manure elaborated starting from residuals of bananas production in Bocas del Toro, Panama. *Cultivos Tropicales* 35: 90-97. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n2/ctr12214.pdf>
- Tilman, D, Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677. doi :10.1038/nature01014.
- Vargas-Machuca, R., y Domínguez, J., 2011. Vermicompostaje. En: Moreno y Moral (eds.). *Compostaje*. Editores mundiprensa. Madrid, España. 570p.