



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CURSO MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS

MATERIAL TEÓRICO
INGENIERÍA FORESTAL

UNIDAD DIDÁCTICA 9 (2 de 2)
Abonos Orgánicos

2018

OBJETIVOS

Conocer:

- qué es y cuáles son los tipos abonos orgánicos, sus características y dinámica en el suelo.
 - el proceso de compostaje y lombricompostaje, las variables reguladoras
 - el efecto de los diferentes tipos de abonos en las propiedades edáficas, posibilidades de empleo y tecnología de uso en cada caso
-

RESUMEN

Los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal, con altos contenidos de carbono orgánico que pueden emplearse para mejorar las características físicas y aportar nutrientes al suelo. La crisis de energía y los severos problemas de contaminación que producen los fertilizantes, a la par de la dificultad de dar destino a numerosos residuos orgánicos rurales y urbanos, ha devuelto la atención mundial a este tipo de abono. Pueden ser de origen animal (estiércoles, guano de aves marinas, orina); de origen humano (cloacales, basuras domiciliarias, lodos de alcantarillas); residuos y subproductos industriales (agroindustrias; de industrias pecuarias; de industrias forestales); residuos vegetales; sedimentos fluviales, de fondo de lagos y estanques; así como materiales naturales provenientes de la descomposición de vegetales (turberas, lignito). El compostaje es un proceso de transformación *aeróbica* controlada de los materiales orgánicos contenidos en los residuos, por medio de la actividad de los microorganismos, donde el sustrato orgánico produce CO₂, agua y minerales y materia orgánica estabilizada denominada compost. El pH, la relación C/N, el tamaño de partícula, la presencia de sustancias tóxicas, la masa crítica y la forma de almacenamiento son las principales variables que regulan el proceso. El lombricompost es un material bio-orgánico, obtenido por la acción digestiva de lombrices alimentadas con productos animales y vegetales. La producción de estos compost se realiza a diferentes escalas, incluso comercial. Se emplean en dosis muy variables de acuerdo al sistema productivo y las características del compuesto, la que a su vez depende de los materiales usados y las condiciones de su elaboración, pudiendo emplearse dosis que van desde unas pocas toneladas hasta cifras de alrededor de 100 t/ha. Conviene que su aplicación al suelo se haga en primavera u otoño, es preferible incorporarlo y anticiparlo a la siembra o trasplante. Los estiércoles, los residuos líquidos de tambo, los compost y restos agroindustriales como la cáscara de arroz, son los productos más difundidos actualmente en Argentina. El empleo de lodos cloacales, biol y basura domiciliaria e industrial pretratados ha comenzado a difundirse en el país, en un marco institucional y legal en pleno desarrollo.

INDICE

OBJETIVOS	1
RESUMEN	1
INDICE	1
DEFINICIÓN Y GENERALIDADES	2
CLASIFICACIÓN	3
ESTIÉRCOLES	3
COMPOST	9
LOMBRICOMPOSTAJE	17
BIOSÓLIDOS	21
RESIDUOS DOMICILIARIOS E INDUSTRIALES	22
BIOL	24
LIMITACIONES EN EL USO DE RESIDUOS ORGÁNICOS	24
CUESTIONARIO	25
BIBLIOGRAFÍA	26

DEFINICIÓN Y GENERALIDADES

Enmienda o abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal, no producidos in situ a expensas del suelo, con altos contenidos de carbono orgánico que pueden emplearse para mejorar las características físicas y aportar nutrientes. En general son empleados en producciones intensivas como la florícola, hortícola o frutícola, debido al deterioro de los suelos por excesivo laboreo en este tipo de producciones. Fueron usados por el hombre desde tiempos prehistóricos. Los primeros en utilizarse posiblemente hayan sido los estiércoles. Con la aparición de los fertilizantes inorgánicos de síntesis, su uso básicamente persigue el propósito de mejorar el contenido de materia orgánica y las condiciones físicas, aunque puede considerarse un complemento al aporte de nutrientes que realizan los fertilizantes. Sin embargo, la crisis de energía, con el consecuente incremento del costo de los fertilizantes, y los severos problemas de contaminación que estos producen, a la par de la dificultad de dar destino a numerosos residuos orgánicos rurales y urbanos, ha devuelto la atención mundial a este tipo de abono.

Dentro de estos abonos se incluyen a los estiércoles, los purines de tambos, los lodos cloacales, residuos domiciliarios, restos de cosechas o agroindustrias, que pueden ser aplicados sin transformaciones previas o compostados. Una definición más amplia de esta podría incluir a los abonos verdes, los rastrojos y los cultivos de cobertura que serán tratados en el capítulo de Manejo de los Suelos para la Sustentabilidad. Entre los residuos vegetales pueden citarse aserrines, cortezas de plantas leñosas, mantillo de bosque, hojarasca, bagazo y cachaza de la industria azucarera, tortas de oleaginosas, etc.

Como se comprenderá estos materiales son muy variables en sus características químicas, contenido de elementos nutrientes, otros elementos considerados contaminantes, propiedades biológicas y hasta físicas.

Estos compuestos orgánicos agregados al suelo pueden sufrir procesos de humificación, integrándose así a la materia orgánica edáfica, por lo que su principal beneficio, en general, es la mejora de la condición física de los suelos, propiciando la estructuración y el aumento de la estabilidad estructural, favoreciendo en consecuencia la porosidad e intercambio gaseoso, la reducción de la densidad aparente y la resistencia a la penetración, propiedades generalmente afectadas en la producción intensiva. Simultáneamente pueden aumentar la retención hídrica y mejorando la dinámica del agua, incrementar la capacidad de intercambio catiónica y el poder buffer edáfico, entre otros beneficios. Sasal et al. (1999) estudiaron el efecto de diferentes enmiendas (estiércol animal, residuos vegetales y mezcla de ambos) sobre propiedades físicas de un suelo hortícola. Estos autores encontraron que las enmiendas produjeron un aumento de la estabilidad de agregados del 37-67%, elevaron la porosidad estructural y microporosidad, mejorando la infiltración y retención de agua. Andreau et al. (2012) utilizando compost a razón de 78 t/ha en un Argiudol vértico Serie Seguí del Pdo de La Plata, encontraron mejoras en la porosidad, densidad aparente, estabilidad estructural, C total y C particulado en un suelo hortícola bajo cubierta (Figura 1).

A continuación se describirán algunos aspectos de diferentes abonos.

Las condiciones que deben reunir estos abonos son las siguientes:

- Ser degradables por los organismos del suelo
- Existir en la naturaleza o ser producidos por las actividades humanas en cantidades que garanticen la satisfacción de la demanda
- No producir alteraciones indeseables en las propiedades edáficas
- No contaminar el ambiente con agentes patógenos o elementos tóxicos
- No contener semillas de malezas ni plagas que produzcan enfermedades en los cultivos
- No atraer moscas u otros organismos que desmejoren la calidad del ambiente
- Resultar económicamente accesibles
- Ser de fácil extracción, transporte, manipuleo e incorporación al suelo

CLASIFICACIÓN

1. Residuos de origen animal
 - a) Estiércoles (vacuno, porcino, ovino, equino, de aves de granja, conejos)
 - b) Guano de aves marinas
 - c) Orina (vacuna, porcina, equina, caprina)
2. Residuos de origen humano
 - a) Cloacales (aguas negras, lodos cloacales)
 - d) Basuras domiciliarias urbanas
 - e) Lodos de alcantarillas
3. Residuos y subproductos industriales
 - a) De agroindustrias: cáscaras (arroz, cereales, girasol, etc.), orujos y otros derivados de la elaboración del vino, tortas oleaginosas de la industria del aceite, etc.
 - f) De industrias pecuarias: sangre seca, cuernos, pezuñas, huesos (industria frigorífica), harina de pescado
 - g) De industrias forestales: aserrín, corteza de plantas leñosas
4. Residuos vegetales: paja, hojarasca, mantillo de bosque
5. Sedimentos: fluviales (resaca de río), de fondo de lagos y estanques
6. Materiales naturales provenientes de la descomposición de vegetales: turbas, lignito.

ESTIÉRCOLES

Los residuos de las explotaciones ganaderas han sido manejados en el pasado, en general, como desechos que deben ser eliminados. Sin embargo, el empleo eficiente de los residuos animales como abonos puede ser una práctica de manejo agronómica y económicamente viable para la producción sustentable en agroecosistemas mixtos. En el caso específico de los estiércoles de diferentes ganados, su incorporación al suelo permite llevar a cabo un reciclado de nutrientes. Los mismos son removidos desde el complejo suelo-planta a través de la alimentación de los animales y pueden retornar parcialmente a ese medio en forma de abono. La ganadería intensiva de producción en corral (feedlot), a título de ejemplo, produce alrededor de 90.000 t de restos promedio, luego de una ligera descomposición y pérdida de humedad. La concentración de estas excretas mal manejadas puede producir eutrofización de las aguas y pérdidas de CH_4 , CO_3H^- , NH_3 , SH_2 y metales, con connotaciones muy negativas para el ambiente. Los tenores orgánicos de estos materiales son variados y fundamentalmente están en relación con la especie animal, con la alimentación del ganado y con el medio en donde los mismos se acumulan y recogen. Puede decirse, no obstante ello, que los tenores orgánicos siempre resultan altos (entre 30 y 80%). En el caso específico de los rumiantes, el forraje rico en fibra que compone su dieta fundamental, también contiene una cierta proporción de ligninas. Estas ligninas no son prácticamente degradadas ni por las enzimas de digestión ni por los microorganismos, y se excretan en el estiércol, junto a otras sustancias, por ejemplo proteínas indigeribles. La lignina, en su carácter de precursor húmico, es uno de los componentes más importantes para la generación de las sustancias húmicas estables. Así, aplicaciones reiteradas de estiércoles de ganado durante períodos prolongados suelen elevar los contenidos de humus del suelo.

En la Tabla 1 se ilustra el efecto de 55 años de estercoladura de un suelo chernozem ruso.

Tabla 1. Contenido de materia orgánica (MO) y relación ácido húmico/ácido fúlvico (AH/AF) en un chernozem de textura franca estercolado por 55 años (80 t/ha año). (Lukyanchikova, 1980)

Estercolado (t/ha año)		Profundidad de muestreo (cm)		
		0-25	25-40	60-80
0	MO (%)	1,1	1,31	1,60
	(AH/AF)	1,43	1,0	1,73
80	MO (%)	4,0	3,6	2,9
	(AH/AF)	4,6	4,1	3,1

En correspondencia con el beneficio que producen sobre la fracción orgánica, se ha demostrado que el estercolado es capaz de actuar positivamente sobre la condición física de las tierras. Así, se han logrado importantes disminuciones de la densidad aparente, aumentos de la porosidad total, de la macroporosidad y de la estabilidad estructural y mejoras en la capacidad de almacenaje de agua del suelo, mediante la incorporación al suelo de variados tipos de estiércoles (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de 4 años de aplicación continua de estiércol vacuno sobre algunas características físicas de un suelo.

Propiedad edáfica	Dosis de estiércol (t/ha)		
	0	67	134
<i>Contenido de humedad a saturación (%)</i>	32,7	36,7	41
<i>Capacidad de campo (%)</i>	28,0	29,2	30,3
<i>Pto. Marchitez permanente (%)</i>	18,2	18,7	19,5
<i>Agregados estables al agua (%)</i>	13,5	15,7	20,9
<i>Cond. Hidráulica (cm/h)</i>	1,0		2,0
<i>CE (mmhos/cm)</i>	0,01	1,21	2,61
<i>Materia orgánica (%)</i>	1,41	2,59	2,79
<i>Densidad aparente (g/cm³)</i>	1,37	1,28	1,20

La condición biológica es otro aspecto afectado. El estiércol ejerce un efecto favorable en tal condición por el gran y variado número de bacterias que posee. Éstas producen transformaciones químicas no sólo en el estiércol mismo sino, además, en el suelo, haciendo que muchos elementos no aprovechables por las plantas puedan ser asimilados por ellas. El estercolado puede aumentar la población y la actividad de algunos componentes de la fauna edáfica, como por ejemplo las lombrices (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de la aplicación anual de 20 t/ha de gallinaza durante 10 años sobre la población microbiana del suelo (SAGARPA, México, 2013)

Gallinaza (t/ha)	Hongos (10 ⁵ /g)	Actinomicetes (10 ⁶ /g)	Bacterias (10 ⁷ /g)
0	2,4	3,1	2,2
20	3,2	4,6	3,8

No obstante las consideraciones precedentes, el interés esencial que a nivel de los productores y de muchos profesionales del agro provocan los estiércoles en calidad de enmiendas, suele estar centrado en su posible aptitud como fertilizante químico. Como proveedores de nutrientes, estos materiales son de bajo grado si se los compara con los fertilizantes industriales. Asimismo, debido a la resistencia a la descomposición de algunas de las fracciones orgánicas presentes en los estiércoles, sólo una parte de los nutrientes presentes en el producto original queda finalmente a disposición de las plantas. Sin embargo, si las cantidades que se aplican al suelo son superiores a los 10 t/ha y si se tienen en cuenta los datos expuestos en la Tabla 4, puede decirse que en una incorporación de 20 t/ha de estiércol fresco de vacuno (con 80% de humedad), se aportan al suelo 50,8 kg/ha de N, 33,6 kg/ha de K y 32,4 kg/ha de P asimilable (P_2O_5); mientras que aplicando igual dosis de gallinaza con humedad del 70% (estiércol de pollo sin cama), se aportan 142,8 kg/ha de N, 83,4 kg/ha de K y 231,6 kg/ha de P asimilable (P_2O_5).

Tabla 4. Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (como porcentaje de la materia seca) (Aso y Bustos, 1991).

Nutriente	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
<i>Materia orgánica (%)</i>	48,9	45,3	52,8	63,9	54,1
<i>Nitrógeno total (%)</i>	1,27	1,36	1,55	1,94	2,38
<i>Fósforo asimilable (P_2O_5, %)</i>	0,81	1,98	2,92	1,82	3,86
<i>Potasio (K_2O, %)</i>	0,84	0,66	0,74	0,95	1,39
<i>Calcio (CaO, %)</i>	2,03	2,72	3,2	2,36	3,63
<i>Magnesio (MgO, %)</i>	0,51	0,65	0,57	0,45	0,77

Existen algunos aspectos desfavorables en el estercolado. Ciertos estiércoles utilizados en dosis elevadas son capaces de incrementar la salinidad edáfica, elevar el pH y aumentar la concentración en el suelo de nitrato, amonio y otros iones tóxicos. Los dos primeros efectos se relacionan con las características propias de los estiércoles (Tabla 5). En general, los excrementos animales son alcalinos, fundamentalmente por liberar N en forma de urea, que se descompone formando amoníaco. Contenidos relativamente altos de sales y/o una reacción básica pueden constituirse en factores perjudiciales para las plantas de los cultivos, especialmente durante la germinación y la emergencia. Un ejemplo típico de ello es la gallinaza.

Tabla 5. Salinidad y reacción del medio en estiércoles de diferentes animales domésticos (Aso y Bustos, 1991).

Propiedad	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
<i>pH</i>	7,6	7,3	8,2	7,5	7,5
<i>CE (mmhos/cm)</i>	6,3	9,4	12	8,9	14,2

En algunos países, la combinación de aplicaciones repetidas y de altas dosis a lo largo del tiempo, ha permitido el lavado y la acumulación en profundidad y en las aguas subterráneas de nitrato, fósforo y otras sustancias en cantidades contaminantes. También se han verificado contaminaciones en el suelo y en la vegetación con gérmenes patógenos, como bacterias coliformes. Puede producirse una afectación de la humificación al entrar al suelo grupos de baja o nula eficacia en estos procesos.

Los beneficios del estercolado, dependen además de las características propias de cada tipo de estiércol, de otros factores del sistema productivo, como las características del lugar en donde se acumulan los desechos, su manipuleo, la dosis, el momento y la frecuencia de aplicación y la forma de incorporación.

En cuanto al sistema productivo, habitualmente se sostiene que en nuestro país las posibilidades de empleo de los estiércoles se circunscriben a los sistemas intensivos (horticultura, fruticultura, viveros). Ello es así por las dificultades que acarrea el acondicionamiento, manipuleo y aplicación en superficies grandes como las que generalmente poseen los lotes de las explotaciones extensivas. Sin embargo, existe potencial de uso en sistemas mixtos agrícola-ganaderos (o en establecimientos agropecuarios dedicados también a la avicultura), en particular si se utilizan dosis no muy altas. En estas condiciones habría que considerar la posibilidad de integrar esta práctica con fertilizaciones complementarias.

Si se piensa en cantidades importantes de estiércol que justifiquen su recolección y que, además, ésta sea relativamente simple, el mismo debe ser depositado por los animales en lugares no muy extensos. Para el ganado bovino esta situación se verifica en los tinglados de ordeño o en los corrales de encierro anexos o corrales de feed-lot. El estabulado de los vacunos, tal cual se hace en varios países, permite la acumulación de estos desechos. Los criaderos de pollos también ofrecen un medio conveniente para este fin.

Las deyecciones animales pueden acumularse e incorporarse en forma prácticamente pura o mezclarse con las "camas". Estas últimas están constituidas por restos vegetales, como paja, pastos, cáscaras, etc., que se disponen sobre el piso de corrales o establos. Se mezclan con las excretas y absorben los líquidos, no sólo la orina, sino también la parte fluida de las bostas o guanos. Las camas de los criaderos de pollo en Argentina contienen guano junto a cáscara de semillas de cereales u oleaginosos. Los residuos de los animales pueden también mezclarse con una cierta proporción de suelo, como ocurre en los corrales con piso de tierra.



Foto 1. Cama de pollo acumulada en un criadero de Salto (provincia de Buenos Aires).

La presencia de materiales vegetales fibrosos en las camas puede ser benéfica para la enmienda. En parte, porque absorben los componentes líquidos y de esa forma retienen los nutrientes. Además, la fibra existente en las camas incrementa las posibilidades de enriquecimiento de humus.

En la Figura 1 se ilustra el efecto de diferentes tratamientos de un suelo Argiudol vértico (Serie Arturo Segui) platense con producción hortícola bajo cubierta.

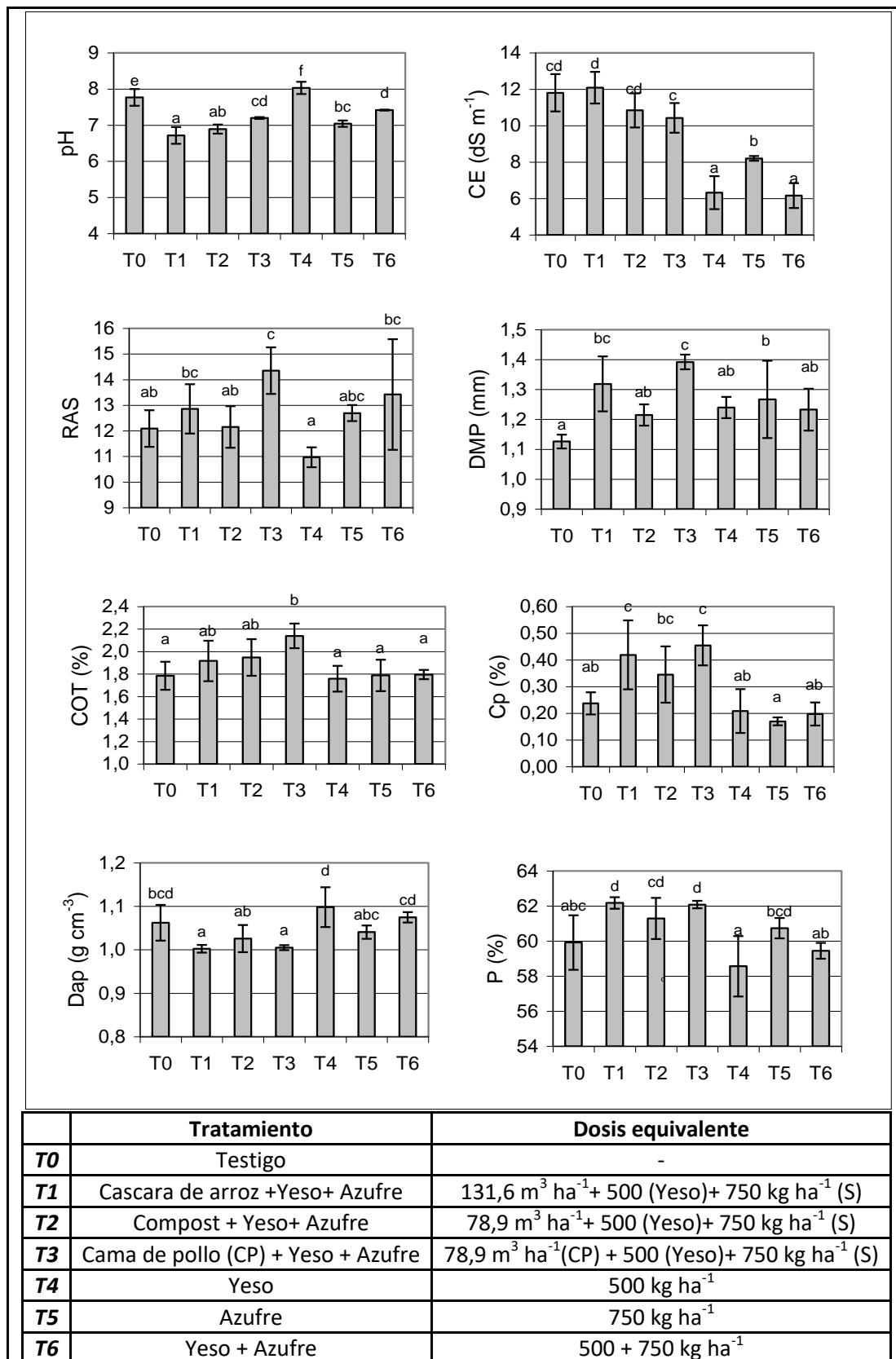


Figura 1. pH, conductividad eléctrica (CE), relación de adsorción de Na (RAS), estabilidad estructural (DMP), carbono orgánico total (COT), C particulado (Cp), densidad aparente (Dap) y porosidad (P) del suelo del invernáculo con 14 años de antigüedad de uso, 5 meses a posteriori del agregado de las enmiendas (Andreau et al., 2012)

Las deyecciones pueden también mezclarse con agua. Esto es lo que ocurre en los tambos de nuestro país con el lavado de las instalaciones de ordeño antes de regresar los animales al campo. El producto es un líquido que lleva en suspensión los restos de las bostas. Este efluente constituye el mayor problema de contaminación ambiental de las explotaciones lácteas. Los efluentes se acumulan en fosas a cielo abierto que generan un entorno desagradable por los olores que liberan y permiten que se concentren microorganismos patógenos y sustancias químicas tóxicas. El problema se agrava si se tiene en cuenta que muchas de estas fosas o lagunas se saturan y rebalsan hacia vías de escurrimiento naturales y penetran en las napas. Estos efluentes también pueden ser empleados como abonos orgánicos. Debe tenerse presente que estos residuos pueden ser transmisores de semillas de malezas y patógenos. Por el contrario, en algunos casos se han citado efecto de inhibición de patógenos del suelo a través de mecanismos de modificación de la condición edáfica o la liberación de sustancias tóxicas o el propio control biológico. Se ha citado por ejemplo el control de *Phytophthora cinnamoni* por gallinaza, o de *Rizotocnia solani* por lodos compostados. Se estima que del 41-50% del N del estiércol de vacas de tambo esta en forma de urea o amoníaco proveniente principalmente de la orina, por lo que una alta proporción puede perderse por volatrilización. En la Tabla 6 pueden verse los porcentajes de pérdida de N a partir de estiércoles de vacas lecheras con distintos manejos.

Tabla 6. Pérdidas de N según sistema de aplicación y manejo del estiércol de vacas lecheras.

	Sistema	Pérdida de N (%)
Sólido (pérdidas antes de la aplicación)	Molido y transporte diario	15-35
	Acumulado a cielo abierto	40-60
Líquido (durante el almacenaje)	Tanques de digestión anaeróbica Biodigestores	15-30
	Lagunas anaeróbicas	70-80
Aplicación (pérdidas en % del remanente después del almacenaje)	Voleo (sólido)	15-30
	Voleo (sólido, inmediatamente incorporado)	1-5
	Voleo (líquido)	10-25
	Voleo (líquido, inmediatamente incorporado)	1-5
	Regado por aspersión (líquido)	30-40

Adaptado de Horn y otros, 1998



Foto 2. Estercoladoras para aplicación de efluentes de tambo (Gentileza Ing. Agr. H. Fontaneto)

Las dosis de estiércoles que se aplican a los suelos son diversas. Las que se utilizan actualmente en Argentina en los sistemas intensivos no parecen seguir una lógica acorde con los conocimientos científicos del tema. No son generalmente tan elevadas como en otros lugares del mundo. Pueden variar en función del tipo de suelo, del material, de la forma y de la frecuencia de aplicación y objetivos de uso. En general no se determina por los requerimientos de nutrientes de los cultivos, sino mas bien por la posibilidad de obtenerlo, aplicarlo y eventuales efectos adversos como la causticidad.

Las técnicas de aplicación del estiércol a la tierra varían según el material sea sólido o líquido. En general se recomienda la semiincorporación. No es adecuado dejarlo en superficie, pues las formas volátiles de los nutrientes, particularmente de N, pueden perderse a la atmósfera (Tabla 6). El momento de aplicación debería ser próximo a la siembra del cultivo, para disminuir la pérdida de nutrientes por volatilización o lavado. Sin embargo, en los casos en que estos materiales puedan producir modificaciones importantes del pH o elevar la salinidad, será conveniente disponerlo sobre el suelo 30 a 45 días previos a la siembra.

COMPOST

En los últimos años ha habido un aumento progresivo del volumen de residuos biodegradables y de la cantidad de materia orgánica que se desecha. Esto plantea un grave problema de eliminación para la sociedad y la conservación del ambiente. Por tanto, la reducción o reutilización de los residuos biodegradables debería ser un objetivo prioritario de las políticas medioambientales.

El compostaje es un proceso de transformación *aeróbica* controlada de los materiales orgánicos contenidos en los residuos por medio de la actividad de los microorganismos, es decir se trata de un proceso bio-oxidativo donde el sustrato orgánico produce CO_2 , agua, minerales y materia orgánica estabilizada denominada compost (Figura 2).

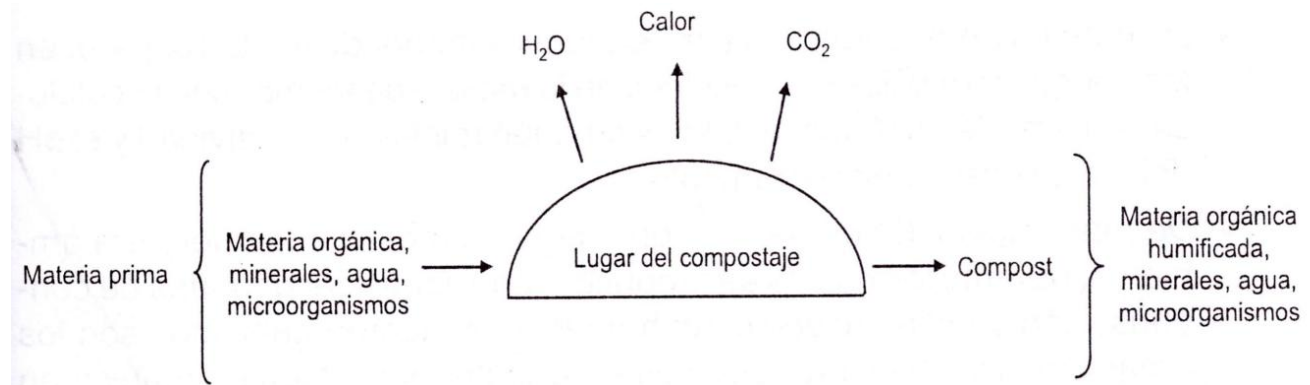
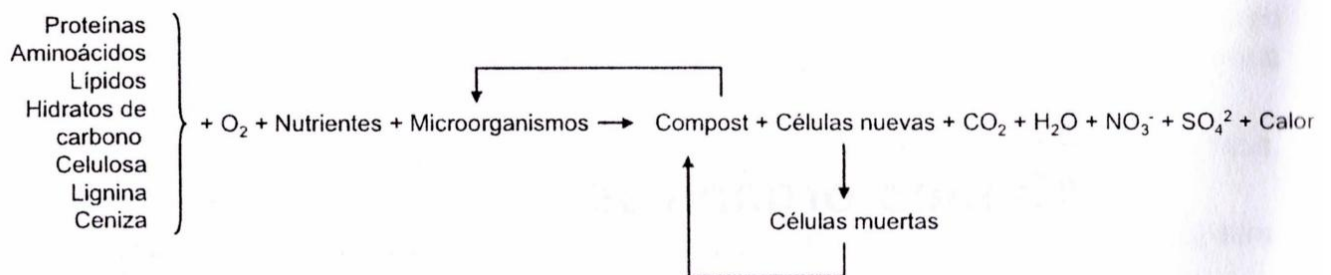


Figura 2. Proceso de compostaje (EPA 530, 1998)

La reacción bioquímica se resume en la Figura 3.



Principalmente celulosa, lignina y cenizas

Figura 3. Detalle bioquímico del proceso de compostaje (Tchobanoglous, 1994).

Este proceso combina diferentes fases (Figura 4):

- *mesófila* (A) (15 a 45°C)
- *termófila* (B) (45 a 70°C)
- *maduración* (C) a temperatura ambiente.

A través de las mismas se obtiene la transformación de un residuo orgánico en un producto estable, que puede ser libre de patógenos y factible de aplicarse al suelo. Sus características varían con el material utilizado y el procedimiento, pero en general puede decirse que contiene:

- humus
- productos intermedios de la humificación
- algunos compuestos no degradados más resistentes
- micro y mesofauna viva y muerta
- restos minerales que contenían los residuos utilizados
- agua

El contenido de materia orgánica oscila entre 25-75%, puede contener de 6,8-13 kg N/t, 2,2-4,5 kg P/t, 13 kg K/t y cantidades apreciables de Ca, Mg, S y micronutrientes.

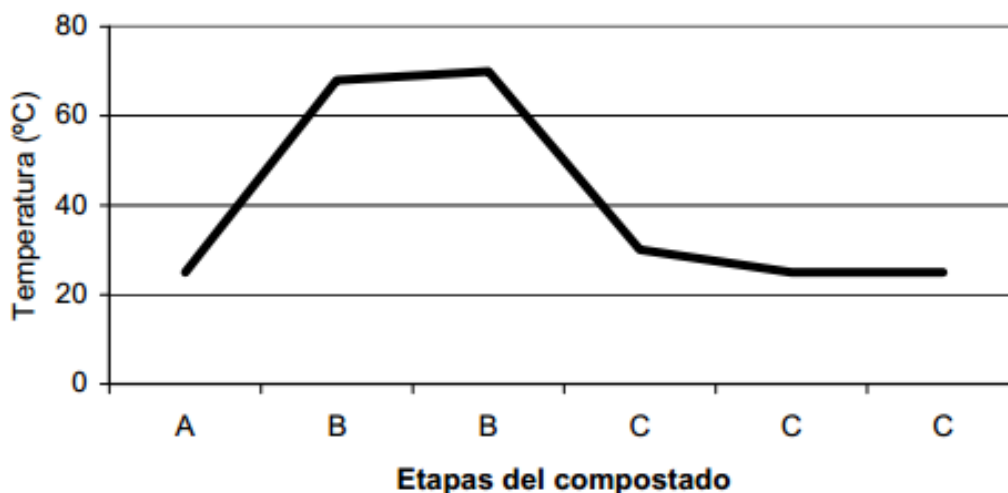


Figura 4. Evolución de la temperatura para el compostaje.

El compost es, por lo tanto, una sustancia estabilizada, precursora de la humificación, caracterizado por su estabilidad, homogeneidad, inocuidad y alto valor para uso agrícola según la calidad de origen del residuo.

Los materiales que pueden emplearse para compostar son:

- Residuos animales: estiércol bovino, caballar, caprino, porcino, aviar y de conejos
- Residuos vegetales: restos de cosechas, de podas en fruticultura, de actividades forestales, tubérculos, hortalizas, frutas.
- Residuos industriales: restos de semillas o de frutos una vez extraído el elemento esencial, restos de carpintería, resto de maderas procesados
- Residuos domiciliarios: sólidos orgánicos generados en los hogares.

Entre los factores que afectan al compostaje pueden mencionarse:

- **Relación C/N:** el C y el N son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Debido a esto, y para poder obtener un compost de calidad, es importante que exista una relación equilibrada entre ellos. Teóricamente la relación C/N 25-35 es la más adecuada, aunque en función de las materias primas que conforman el compost esto puede variar. Si la relación C/N es muy elevada disminuye la actividad biológica, mientras que si es muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiéndose el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco
- **Humedad:** es un factor fundamental del proceso de compostaje. Sin suficiente agua (contenidos menores al 40%), la actividad microbiana disminuye y el proceso se vuelve excesivamente lento, y con demasiada humedad (mayor del 60%) se produce una mala aireación que conduce a condiciones anaerobias y a la putrefacción de la materia orgánica
- **pH:** es otro de los indicadores del desarrollo del compostaje, debido a su acción sobre los microorganismos. Durante el compostaje hay una sucesión de diversos microorganismos y circunstancias, lo que hace que el pH varíe considerablemente. Los residuos urbanos pueden presentar un valor bajo de pH, pero durante los primeros días se produce la liberación de ácidos orgánicos debido a la actividad de las bacterias, con lo que el pH disminuye aún más. Posteriormente, el material compostado sufre una reacción alcalina como consecuencia de la formación de amonio en el proceso de degradación de las proteínas y los aminoácidos. En el período climax de la fase termófila, se puede alcanzar valores de pH próximos a 8,5. Es en la última fase de compostaje donde el pH disminuye, estabilizándose en valores cercanos a la neutralidad o ligeramente básicos, debido al efecto tampón de la materia orgánica
- **Tamaño de las partículas:** influye química y biológicamente durante el proceso de compostaje. Cuanto menor sea el tamaño, mayor será la superficie específica, más intenso será el ataque de enzimas y microorganismos. Sin embargo, si el tamaño de la partícula fuera demasiado pequeño reduciría la porosidad facilitando las condiciones de anaerobiosis. El tamaño ideal para el compostaje es de partículas con una granulometría de entre 1 y 3 cm
- **Tóxicos o inhibidores:** existen una serie de sustancias orgánicas e inorgánicas que a ciertas concentraciones inhiben o impiden los procesos biológicos. Por ejemplo, los materiales pesados Ni, Pb y Fe, Al, Cr, Cu, Zn ejercen un efecto perjudicial, al actuar sobre las enzimas catalizadoras de las reacciones de síntesis
- **Masa crítica:** se trata de la mínima cantidad necesaria para alcanzar las condiciones del proceso. La misma está relacionada, además de las características propias del material, con la forma y tamaño de la pila
- **Forma y tamaño de la pila:** ambos factores inciden en el compostado. Las dimensiones variarán en función de los volúmenes y tecnología aplicada, pero en general, son recomendables alturas entre 1,5 y 2 m, ancho mayor a 2 m y largos variables, mayores a 2 m.

El volteo periódico de las pilas, tiene la función de airear y homogenizar las condiciones de exposición a altas temperaturas de todo el material, permitiendo la eliminación de patógenos y semillas de maleza. La adecuada aireación, favorecerá la elevación de temperatura y tiene estrecha relación con la humedad. La granulometría de la pila incide en la capacidad de aireación. Los materiales finos, tienden a compactarse, por lo que es necesario mezclarlos con virutas de madera, pajas y compost gruesos. La temperatura del compost en la etapa termófila, es independiente de la ambiental y nos da una idea de la evolución de la pila, pues resulta de la combinación de los factores anteriores. El proceso termófilo, puede acelerarse y/o intensificarse, con el adecuado manejo de los parámetros arriba desarrollados, recordando que el proceso es aeróbico, y la aparición de olores desagradables, indica procesos de fermentación y putrefacción.

Para obtener un compost sin limitaciones de uso, una de las exigencias del SENASA, es que se controle el proceso de compostado. Cuando se hace en pilas con volteos periódicos, se deben alcanzar temperaturas mayores o iguales a 55 °C durante 15 días, con al menos 5 volteos. También debe obtenerse menos de 1000 NMP (número más probable) de coliformes fecales por gramo de materia seca, luego del proceso.

La etapa de maduración, es mesófila, y en ella ocurre una lenta degradación de la materia orgánica, a cargo de hongos y bacterias.

Como las relaciones C/N de los distintos residuos en general no es la ideal para el proceso, se procede a la realización de mezclas de materiales. Las proporciones de los distintos materiales se establecerán en función de sus relaciones C/N. Para ello en la Tabla 7 se consignan algunos valores orientativos.

Tabla 7. Relaciones C/N de diferentes materiales orgánicos.

Material	C/N
<i>Orina de animales</i>	0,8-1
<i>Papel</i>	170/1
<i>Pasto fresco</i>	10/1
<i>Hojas</i>	40-80/1
<i>Deshechos de frutas</i>	35/1
<i>Caña de maíz</i>	60/1
<i>Paja de trigo/avena</i>	80/1
<i>Alfalfa</i>	13/1
<i>Leguminosas en gral.</i>	25/1
<i>Cáscara de papas</i>	25/1
<i>Aserrín</i>	200-750/1
<i>Lodos digeridos</i>	16/1
<i>Estiércol ovino</i>	13-20/1
<i>Estiércol bovino descompuesto</i>	20/1
<i>Estiércol bovino</i>	11-30/1
<i>Estiércol gallina</i>	12-15/1
<i>Basura domiciliaria</i>	14-16/1

Los organismos asociados al compostaje son diversos en respuesta a las condiciones de pH, temperatura, humedad y tenor de O. Pueden encontrarse macroorganismos (gusanos, lombrices, escarabajos, cienpies, ácaros, etc.), mesoorganismos (nematodos) y microorganismos (bacterias, actinomicetes y hongos). Los macro y mesoorganismos rompen los materiales, aumentando la superficie de contacto que facilita la acción de los microorganismos. Estos últimos degradan un amplio rango de compuestos, desde complejas proteínas a aminoácidos, carbohidratos a azúcares, entre otros. Las bacterias son el grupo más numeroso y los principales responsables de la descomposición y desarrollo de calor. Los hongos atacan materiales más resistentes como la celulosa o lignina. Juegan un rol muy importante en la maduración, cuando las temperaturas son moderadas.

En la Figura 5 pueden apreciarse las instancias de descomposición de los distintos organismos en función de la temperatura, pH y transcurso del tiempo.

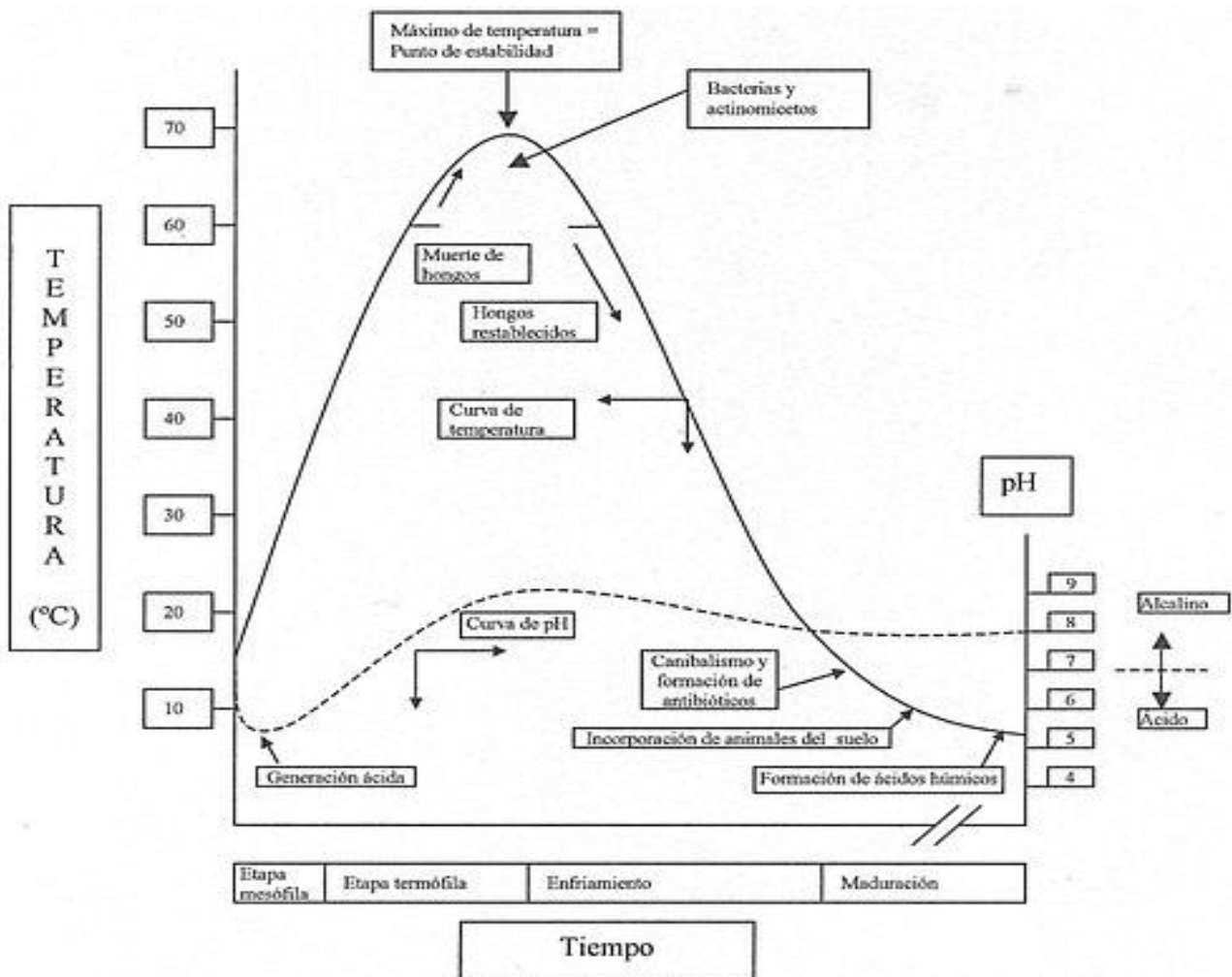


Figura 5. Proceso de compostación

Al inicio la masa de restos está a temperatura ambiente, los microorganismos proliferan rápidamente y su acción degradante exotérmica eleva rápidamente la temperatura. Es la etapa mesofílica que dura aproximadamente 2-4 días. En esta etapa se descomponen hidratos de carbono solubles y proteínas asimilables. Al final de la etapa se alcanzan unos 40°C. En ella actúan bacterias y hongos mesófilos bajando el pH hasta aproximadamente 5,5. A temperaturas mayores a los 40°C la actividad mesofílica cesa y la degradación entra en la fase termófila. Este período puede durar entre 1 semana y 1-2 meses, dependiendo del material de partida y las condiciones ambientales. Bacterias y hongos termófilos entran en actividad hasta los 65°C. Aumenta la actividad enzimática, la hidrólisis, la transformación de grasas, proteínas, celulosa, hemicelulosa y ceras, que son transformadas a sustancias simples. La temperatura elimina patógenos, larvas y semillas, produciéndose la pasterización y estabilización del medio. Mueren los hongos y algunos actinomicetos y sólo quedan las bacterias termófilas. Debe evitarse una mineralización muy prolongada en esta etapa. Al formarse amonio por descomposición de las proteínas, el medio se alcaliniza, pudiendo alcanzar valores de pH de 8. A medida que los materiales degradables se consumen, decae la actividad biológica y comienza a descender la temperatura. Cuando la temperatura baja de los 60°C, los hongos (mohos y levaduras) y actinomicetos que estaban en las partes más frías, reinviden la masa y comienza el ataque de la celulosa y otros polímeros como la lignina, la quitina y las proteínas complejas. Cuando la temperatura baja de los 50°C reaparecen las bacterias, disminuyendo progresivamente la temperatura y el pH. A posteriori sobreviene la etapa de maduración que puede durar hasta 3 meses, continúa la descomposición de la lignina y otros compuestos resistentes. Ingresan la meso y macrofauna, se sintetizan hormonas, vitaminas y antibióticos. Se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización hasta la obtención de coloides húmicos. El pH baja hasta la neutralidad.

En escala industrial el compostaje se puede hacer en sistemas abiertos o cerrados. Los primeros son pilas como las descritas (Foto 3), mientras que los sistemas cerrados son reactores donde se puede ejercer un control pormenorizado de las condiciones. En la escala industrial en sistemas abiertos la aireación puede hacerse por volteo mecánico (pala mecánica) (Foto 4) o manual de la pila (horquillas), mediante un dispositivo de ventilación “activa” que inyecta aire a presión (aireación forzada) (Foto 5) o por succión o aspiración de aire (aireación inducida).

Mediante un termostato se transmiten los datos de temperatura a un controlador, que dispara automáticamente la ventilación cuando la temperatura se eleva por sobre la estipulada.



Foto 3. Pilas de materiales en compostación tapadas con media sombra



Foto 4. Volteadoras mecánicas de pilas de compostación



Foto 5. Aireación forzada (izquierda) e inducida (derecha)

Otro mecanismo de ventilación industrial es el de tipo “pasivo” que a través de cañerías produce el flujo de la masa de aire desde la parte inferior hacia la superior de la pila (Foto 5). El aire caliente que sube desde el centro crea un vacío parcial que aspira el aire de los lados.

Los sistemas cerrados reducen considerablemente la duración del proceso. En general, aun en estos casos, la maduración se realiza al aire libre o en recintos abiertos. Los reactores pueden ser de flujo vertical u horizontal.

Los **reactores verticales** pueden ser continuos, si la masa de residuos se sitúa en forma continua a lo largo del eje del reactor o discontinuos, si esta se separa en pisos de 2-3 m c/u.

El reactor continuo consta de un cilindro cerrado de 4-10 m de altura con un volumen de 1.000-3.000 m³, térmicamente aislado. En la parte inferior posee un sistema de aireación y extracción de material. Los residuos se introducen por la parte superior a través de un sinfín alimentador. El proceso dura entre 1-2 semanas.

El reactor discontinuo es un cilindro de grandes dimensiones, los restos se colocan en la parte superior, mediante dispositivos mecánicos se voltea y va descendiendo a los pisos inferiores. Finalmente se extrae por la parte inferior y se conduce a las playas de maduración.

Los **reactores horizontales** pueden ser también de 3 tipos. El primero de ellos es un tambor giratorio (bioestabilizador Dano) es un cilindro horizontal de 2-3 m de diámetro, que gira alrededor de su eje horizontal. La entrada y salida del material se realiza por los lados extremos del tambor. Los residuos permanecen de 24-36 h, período durante el cual la materia orgánica es separada de los residuos inertes y comienza la biodegradación. El material resultante es compostado luego en pilas o en otro reactor. El segundo tipo es un tambor estático similar al anterior, pero sin movimiento rotatorio (Fotos 6 y 7). El tercer tipo es un reactor horizontal tipo contenedor. El agitado es hidráulico y la aireación se realiza por la parte inferior. El material preseleccionado (separados los inertes) se somete a compostaje durante 15-30 días en condiciones estáticas o de volteo periódico.

En Argentina el compost se comercializa a granel y en bolsas de diversa capacidad (Foto 7). Generalmente se emplea en producciones intensivas (ornamentales, frutales, hortalizas) y para jardinería. Puede ser empleado en agricultura orgánica.



Foto 6. Reactores cilíndrico horizontales estático (izquierda) y rotativo (derecha)



Foto 7. Reactor horizontal con volteadora sobre rieles (izquierda) y embolsadora de compost (derecha)



Foto 8. Aplicadores de compost mediante rodillo (izquierda) y centrifugo (derecha)

En el Cuadro 1 se hace un análisis comparativo de los distintos procedimientos.

Cuadro 1. Comparación de distintos sistemas abiertos y cerrados para el compostaje.

Criterios	Sistemas abiertos		Sistemas cerrados	
	Pilas con volteo	Pilas con aireación forzada	Reactor sin agitación del producto	Reactor con retorno a la agitación del producto
Coste de inversión (del material, sin contar las superficies)	Bajo	Bajo a pequeña escala	Elevado	Elevado
Coste de funcionamiento	Bajo	Medio	Bajo	Bajo
Superficie requerida	Importante	Medía	Pequeña, salvo en la maduración	Pequeña, salvo en la maduración
Control de la aireación	Inexistente	Total	Total	Total
Factores que pueden ser controlados	Frecuencia de volteos, reciclaje y aporte de material estructurante	Aireación y aporte de agente estructurante	Aireación, reciclaje y aporte de agente estructurante	Aireación, reciclaje, aporte de agente estructurante y tiempo de agitación
Sensibilidad a una mayor o menor deshidratación del material	Muy sensible	Menos sensible	Menos sensible	Menos sensible
Necesidad de maduración complementaria	Depende del clima	Necesaria	Generalmente necesaria	A veces necesaria
Sensibilidad al clima	Sensible	Poco sensible	Poco sensible	Poco sensible
Possibilidad de reciclaje	A considerar en cada caso	Bueno	Bueno	Bueno
Control de olores	Difícil, los olores pueden llegar lejos en determinados casos	Difícil, sobre todo con materiales con humedad alta	Bueno, con funcionamiento normal	Bueno, con funcionamiento normal
Dificultades constatadas	Olor, disminución de la temperatura con mal tiempo	Malas mezclas, zonas frías anaerobias	Problemas de compactación, caminos preferenciales de aireación	Sistemas un poco complejos
Adaptaciones a las variaciones de producción y la sequedad de los materiales	Buena adaptabilidad	Buena adaptabilidad	Baja adaptabilidad	Baja adaptabilidad
Capacidad de tratamiento	0,5 – 5 t/día	0,5 – 100 t/día	> 3 t/día	> 3 t/día

Las estaciones óptimas para hacer uso del compost son la primavera y el otoño. Las aplicaciones de verano pueden reducir la humedad del suelo, y las de invierno no procesarse biológicamente debido a las bajas temperaturas. Las dosis empleadas son muy variables y en general establecidas por tradición más que por resultados de experimentaciones científicas. Cuando se calculan en base a la necesidad de nutrientes pueden resultar sobredimensionadas. Debe advertirse también que a pesar de que en algunos casos tienen altas concentraciones de nutrientes, su tasa de liberación puede ser baja. Huerta Pujol et al. (2011) informan que la tasa de mineralización del N puede reducirse entre un 6-20% respecto de la del suelo, variando con su relación C/N, condiciones de compostaje, grado de madurez y época de aplicación. Tradicionalmente se utilizan dosis que van desde algunas pocas toneladas hasta cifras cercanas a las 100 t/ha en los casos más extremos, cada 2 a 3 años, aplicados 1 a 2 meses antes de la siembra o el trasplante, aprovechando la época de lluvia. La distribución puede hacerse sobre toda la superficie, sobre los lomos de cultivo o en los hoyos de plantación, por ejemplo de plantaciones arbóreas. Se pueden distribuir alrededor de la planta en una capa de 5 cm para proteger sus raíces de las heladas, conservar la humedad del suelo y evitar la proliferación de las malezas. Puede causar beneficios importantes en suelos sódicos, promoviendo la floculación y bajando el pH a través de su mineralización. Otro de los efectos benéficos es la estimulación de la microflora edáfica. El compost también puede ser usado como sustrato puro o en mezclas con otros materiales en la producción viverista. Ulle (2009) en INTA San Pedro probó diferentes proporciones de compost de estiércol bovino de feedlot, cáscara de arroz y perlita para la producción de plantines de lechuga, acelga y espinaca, comprobando que 50% de participación del compost redundaba en mayor crecimiento. En este sentido puede reemplazar, por ejemplo, a la turba que es un recurso no renovable.

LOMBRICOMPOSTAJE

Es un procedimiento especial basado en la actividad descomponedora de la materia orgánica por medio de especies de lombrices.

El lombricompost es un material bio-orgánico, inocuo e inodoro obtenido por la acción digestiva de lombrices alimentadas con productos animales y vegetales. Tiene características nutritivas especiales para las plantas, lo que lo conviene en un abono orgánico de fácil producción. Posee abundante flora bacteriana (40 a 60 millones/cm³ de microorganismos). De acuerdo al tipo de residuo utilizado variará la composición del producto final. Un ejemplo puede verse en la Tabla 8.

Tabla 8. Composición y características químicas de lombricompost de diferentes materiales.

	Residuos de conejos	Stud	Gallinaza
pH en pasta	6,9	7	7,5
CE (dS/m)	2,8	6,7	25,4
C (%)	20	19,3	28,7
MO (%)	47,8	46,9	36,2
N (%)	1,8	1,4	5,5
C/N	11	13	5

El "lombricompost" se caracteriza por su excelente calidad como abono orgánico, acondicionador de suelos o sustrato de cultivos.

La lombricultura tuvo su origen en California, EE.UU., donde surgieron criaderos intensivos con la especie *Eisenia foetida*, a la que se denominó "lombriz roja californiana".

La cría de lombrices puede también ser utilizada para producir masa cárnica.

Para iniciar la actividad es necesario organizar el criadero o “cunas” o “lecho” o “cama”. Las mismas pueden ser de variadas medidas y materiales. Sin embargo es recomendable que se pueda tener acceso mediante las herramientas (palas, horquillas) a todo el material. El proceso se puede llevar a cabo en:

- Cajones de madera de 1,20 m x 0.70 m x 0,50 m, tamaño suficiente para 6000 a 7000 lombrices. En el fondo del cajón se realizan orificios que facilitan; el drenaje del exceso de líquidos
- Lechos sobre terreno natural de 1 m x 2 m x 0,45 m aproximadamente (Fotos 9 y 10)



Foto 9. Recepción de material a compostar (arriba izq.), pila a cielo abierto (arriba der. y abajo izq.) y control de temperatura (abajo der.)



Foto 10. Riego por aspersion para enfriamiento de pilas (arriba izq.), sistema de camas (arriba der.), zaranda manual (abajo izq.) y mecánica (abajo der.) para la venta del lombricompost

Pozos de 1,0 a 1,5 m de lado por 0,50 de profundidad. Las paredes deben estar levemente inclinadas y el lugar elegido no debe ser inundable.

Se debe cubrir el lecho con paja, bolsas de arpillera, tela saran o media sombra para mantener húmedo y fresco el sustrato. Se siembran 1000 lombrices cada 2 m² aproximadamente.

La lombriz roja nace y crece exclusivamente en medios con alto contenido de materia orgánica: basura, hojas, pasto, desechos de molinos o silos, frutas o verduras, vísceras de animales, excrementos, estiércol de ganado u otra fuente de materia orgánica en descomposición o compostados, incluidos residuos domiciliarios orgánicos. El alimento es agregado en capas de 0,10 a 0,15 m, a medida que las lombrices lo van transformando en el sistema de alimentación continua, o bien realizando un lecho de siembra completo con material compostado dejando que las lombrices lo consuman en su totalidad.

Es muy importante el seguimiento del aumento de población durante el proceso para verificar si existe un ambiente propicio a la actividad.

Los estados biológicos en que las lombrices que se encuentran en la cuna son (Figura 6):

- cocones (embriones)
- juveniles (sin clitelo)
- adultos (con clitelo)

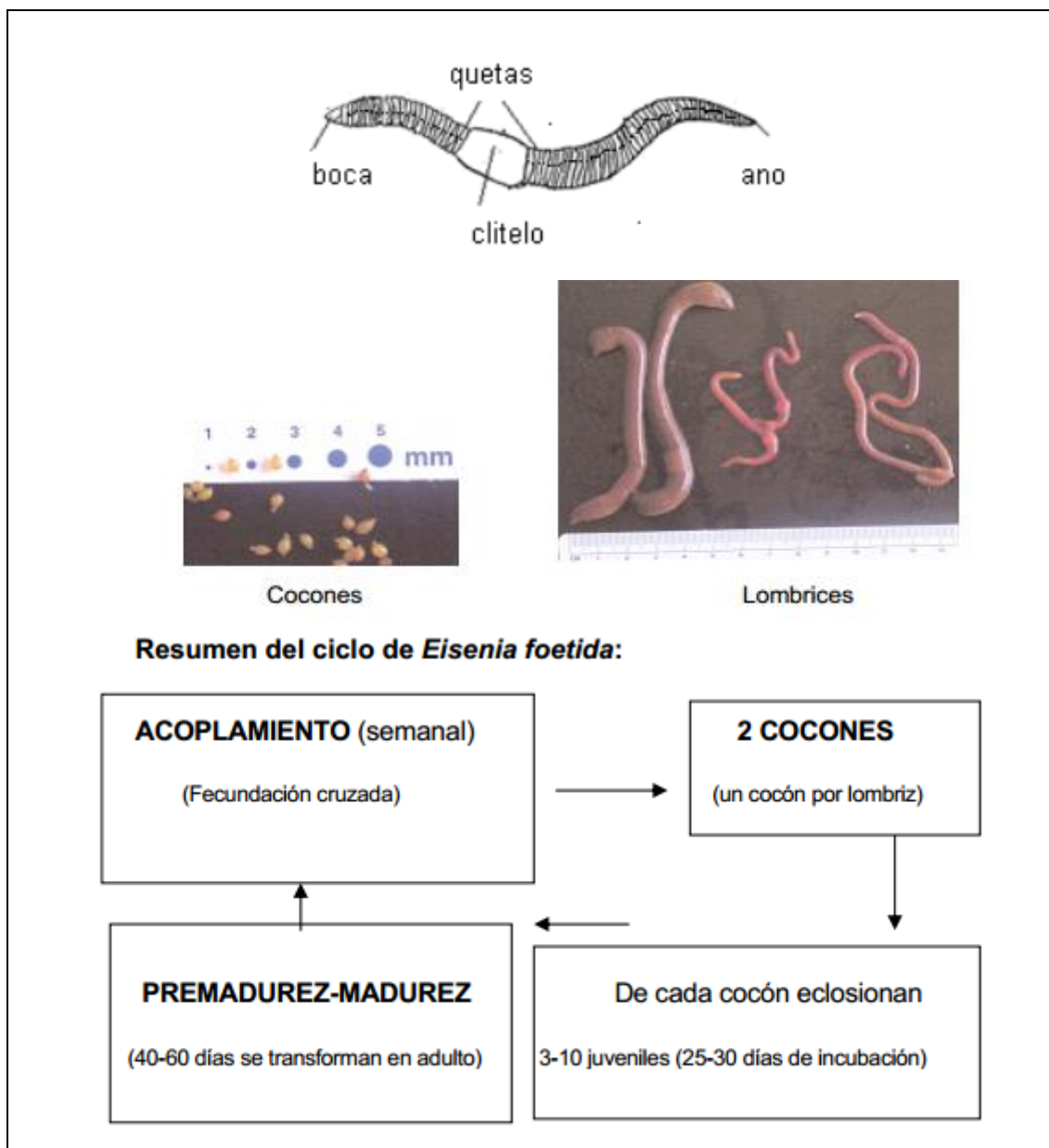


Figura 6. Anatomía y ciclo de la lombriz roja californiana, estadios de cocón, juvenil y adulto

Las lombrices pueden clasificarse en 2 grupos: gris y rojo. Las criadas comercialmente son *Eisenia foetida* "lombriz del estiércol" o "roja californiana", *Lumbricus rubellus* o "lombriz de los residuos orgánicos" o "roja" y *Eudrillus eugeniae* "gigante africana", todas pertenecientes al grupo rojo.

El grupo rojo se alimenta cerca de la superficie del suelo y sus excrementos son depositados también sobre la superficie (epigeas). Algunas características de las especies utilizadas son las siguientes:

- *Eisenia foetida* "lombriz del estiércol" o "roja californiana" Mide de 3 a 13 cm, es roja y es la más utilizada para producir "humus de lombriz". Para vivir necesita grandes cantidades de materia orgánica. Habita en estiércol o compost. Tiene una alta tasa de multiplicación. Es de gran voracidad, se estima que una lombriz come en el día el equivalente a su propio peso (1 gramo) transformándolo en lombricompost. Su tiempo de vida se estima en 1 a 2 años.
- *Eudrillus eugeniae* "gigante africana". Esta lombriz se encuentra difundida en América. Es de una gran resistencia al calor, es muy fuerte y desplaza otras variedades. Es de origen africano.
- *Lumbricus rubellus* "lombriz roja" o "lombriz de los residuos orgánicos". Mide de 6 a 15 cm. Tiene la capacidad de transformar rápidamente depósitos de residuos orgánicos en humus. Vive en la superficie (epigea) y en el interior del suelo (hipógea).

Para el seguimiento de la población, resulta conveniente expresar los resultados como densidades por cuna, expresado en individuos/m³. Se recomienda tomar varias muestras por cuna con un muestreador cilíndrico y llevar un registro.

Un rápido crecimiento implica alcanzar antes la maduración sexual, pero no garantiza que la producción de cocones sea superior. La producción de cocones se halla sujeta a fluctuaciones estacionales y a pesar de decaer con la edad de los animales, éstos no presentan una edad posreproductiva. Son apropiados valores de 150.000 lombrices entre adultas y juveniles por m³ de cuna. En un lecho con buenas condiciones, deberían aparecer todos los estadios. La densidad poblacional va a depender de la calidad alimenticia del sustrato. Cuando las lombrices sufren algún tipo de stress, la población en cantidad y calidad se resiente. Por ejemplo, si falta alimento o la humedad es escasa, como primera medida, intentarán fugarse, luego puede desaparecer el clitelo en los individuos adultos, reducirse las actividades y el tamaño de las lombrices y se resentirá la postura de cocones. Al demorar la alimentación, se altera la rutina de las lombrices y comenzaran a sentir la escasez de alimento. En esos casos es conveniente preparar un alimento diferente (estiércol puro en bolsa de red), a manera de trampa que se distribuyen en dos o tres sitios en la superficie, a los 7 días realizar la extracción. Esta técnica se deberá repetir 1 o 2 veces más con el fin de recapturar adultos y juveniles para futuros núcleos.

La preparación de la cuna de siembra debe hacerse mediante compostaje, según se indicara en el apartado anterior. El lombricario se puede iniciar en cualquier momento, pero en épocas más cálidas las lombrices se adaptarán más rápidamente al cambio de hábitat. Se debe controlar previamente el pH que debe estar entre 6,8 a 7,2. En la inseminación "núcleo de lombrices" si bien es recomendable que sea integrado por individuos adultos lo más común es que se encuentren todos los estadios biológicos en el mismo. Debe realizarse en las primeras horas de la mañana para favorecer la exploración del nuevo sustrato al escapar de la luz.

La intensidad y frecuencia del riego esta dado por las condiciones climáticas. Debemos asegurarnos una humedad de la cuna de 60 - 80%.

Existe una prueba sencilla para medir el porcentaje de humedad en el sustrato que se conoce como prueba de puño, la cual consiste en tomar una cantidad de sustrato que alcanza al puño de una mano, posteriormente se le aplica fuerza, lo normal de un brazo y si salen de 8 a 10 gotas de agua, esta se encuentra aproximadamente al 80 %. La calidad del agua deberá ser apta para riego. Su pH aproximadamente neutro (7), no salina (<1 dS m⁻¹), sin peligrosidad sódica (<3 RAS) y libre de patógenos.

La temperatura ideal está entre los 15-25 °C por lo tanto si las temperaturas son menores se deben aportar sustancias orgánicas y tapar con yute, paja o media sombra. Si la temperatura aumenta se debe voltear el compost y regar. No es recomendable el nylon para tapar los lechos pues no deja pasar el aire.

Acondicionamiento del lombricompost: dejar secar el material obtenido. Si es posible extenderlo en superficies mayores para acelerar esta etapa. Se deberá lograr una humedad entre 50-60%. Posteriormente se pasa por un tamiz o zaranda.



Foto 11. Lombricompost terminado

BIOSÓLIDOS

En los centros urbanos de cierta magnitud hay 2 tipos de residuos que pueden acumularse en grandes cantidades, las basuras domiciliarias y las aguas servidas. Estas últimas también se llaman aguas residuales, negras o cloacales, y están constituidas por las aguas que son conducidas por la red de cloacas y provienen del uso doméstico, aunque generalmente incluye las de origen industrial. Estas aguas pueden ser derivadas a plantas de tratamiento de residuos cloacales, en donde se extrae el agua, quedando un residuo sólido que se conoce como biosólido, barro cloacal, lodo o fango de depuración. Estas plantas son municipales, comerciales o industriales.

El proceso, generalmente, comienza con una separación física primaria (decantación, filtrado) que extrae los sólidos fácilmente separables. Luego las aguas van a un tanque de aireación donde por acción de microorganismos se forma un flóculo biológico que decanta (barro cloacal) y es enviado a cámaras de concentración, donde se somete a una digestión anaeróbica, con suministro de calor externo, obteniéndose el barro cloacal digerido.

Los destinos de este producto pueden ser 3, la incineración, el relleno sanitario o el empleo como enmienda para los suelos. En este último caso, puede ser usado directamente, previa pasterización (70°C 20 minutos; ó 55°C 1 h) o compostado. Se pueden esparcir en la superficie o aplicar por inyección o a través del riego.

El contenido de nutrientes varía mucho debido a los diferentes métodos de tratamiento y a la diversidad de materiales, según las ciudades o industrias vertedoras. En general el contenido de materia orgánica es muy alto, sin embargo pueden acarrear problemas ambientales si contienen metales pesados, patógenos para la salud humana o animales domésticos, pesticidas u otros derivados de industrias, sales, entre otras sustancias. Siempre es aconsejable la incorporación para evitar olores y pérdida de N. Las dosis de aplicación son muy variables, dependiendo de los productos.

En la Tabla 9 se ilustra la composición de un biosólido marplatense.

Tabla 9. Caracterización físico química del barro cloacal de la ciudad de Mar del Plata en muestras compuestas de 24 h (1999-2001).

		Prom	Máx	Mín
<i>Humedad</i>	%	81,49	83,97	76,07
<i>Sólidos totales</i>	%	18,51	23,93	16,03
<i>Sólidos fijos</i>	%	2,54	3,41	1,65
<i>Sólidos volátiles</i>	%	15,97	21,32	13,55
<i>Materia orgánica</i>	%	86,24	89,88	82,50
<i>P total</i>	gP/kg	5,45	7,11	2,41
<i>N total</i>	gN/kg	22,70	28,18	17,37
<i>Aceites y grasas</i>	g/kg	172,86	275,0	65,77
<i>Hidrocarburos totales</i>	g/kg	5,59	10,40	2,51
<i>Zn</i>	mg/kg	280,81	413,11	174,74
<i>Cu</i>	mg/kg	370,42	909,03	56,65
<i>Cd</i>	mg/kg	1,04	1,79	0,17
<i>Pb</i>	mg/kg	63,10	143,80	32,23
<i>Ni</i>	mg/kg	11,12	21,07	4,99
<i>Cr</i>	mg/kg	15,93	46,60	5,64
<i>Hg</i>	mg/kg	0,43	0,76	0,19

En Argentina existe la Ley 20466-1973 Decreto reglamentario 4830 art. 3 y 4 Fiscalización de fertilizantes y enmiendas, sustitución de la Ley 14244 que regula estos productos. En esta ley se considera *enmienda* a toda sustancia o mezcla de sustancias de carácter mineral u orgánico que incorporada al suelo modifique favorablemente sus caracteres físicos o físico-químicos, sin tener en cuenta su valor como fertilizante.

RESIDUOS DOMICILIARIOS E INDUSTRIALES

Estos residuos incluyen sobras de comidas, frutas, verduras, cartón, papel, etc., provenientes de los hogares. Por lo general su componente principal es la materia orgánica. A título de ejemplo, la basura de la ciudad de Buenos Aires posee un 50% de compuestos orgánicos. En general este tipo de basura no posee microorganismos patógenos, sustancias tóxicas, metales pesados y salinidad, pero las situaciones pueden ser muy variables. En el pasado estos residuos se disponían en basurales a cielo abierto o se quemaban, constituyendo focos de contaminación en ambos casos. Más tarde se usaron para rellenos sanitarios que fueron reglamentándose en Argentina, como los de la Coordinación Ecológica Area Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) ubicados en distintos puntos del conurbano bonaerense, por ejemplo en Villa Domínico. Más recientemente, varios municipios comenzaron el procesamiento de los residuos. Entre ellos pueden citarse Tapalqué, Trenque Lauquen, Laprida, Marcos Paz, Cañuelas, Salto, Berazategui y Florencio Varela. El procedimiento más común es la separación de materiales con valor de reventa (metales, plásticos, etc), en general con la combinación de equipos mecánicos y el trabajo manual (Foto 12). Actualmente algunas ciudades ya tienen la separación de estos elementos en los domicilios con clasificación de las bolsas de recolección. Recientemente Rosario instaló una planta de 4 ha para recibir 250 t/día de residuos, los que son clasificados, en parte compostados y chipeados. Las ciudades de Gualeguachu, Paraná, Villaguay y Mar del Plata, entre otras, se encuentran desarrollando proyectos de similares características. En enero de 2013 el CEAMSE instaló una planta de Tratamiento Mecánico Biológico (MBT) en el Complejo Ambiental Norte III para tratamiento de los residuos de la ciudad de Buenos Aires. Allí se tratan 1000 t/día de basura integrada, recupera solo el 8 % en papel, cartón, plásticos y metales, el 52 % vuelve directamente al relleno y el resto es orgánico que se coloca en silos donde llega a 70 ° C durante 21 días, luego de lo que es llevado al relleno para subcobertura. La cantidad de residuos extraños no permite otro destino (Foto 12).

Varias provincias tienen legislación específica de regulación de este tipo de residuos (Formosa, Chaco, Catamarca, Buenos Aires, Neuquen, San Juan, Misiones). La Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable implementa desde 2005 la Estrategia Nacional de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos que establece la reducción de la generación de residuos domiciliarios en su origen, reúso, reciclado y recompra de los materiales procesados. En este marco, actualmente, los gobiernos municipales reciben a través del Programa de GIRSU asistencia técnica y financiera con el fin de encontrar soluciones ambientalmente adecuadas para el manejo de los mismos.

La aplicación directa al suelo no es aconsejable ya sea por los peligros ambientales que conlleva, como por su valor agronómico. Es más apropiado usarlos como sustrato de procesos de compostado.

Existen diversos procesos industriales que producen secundariamente residuos orgánicos que tienen potencialidad de uso como enmienda. Entre ellos pueden mencionarse la cachaza y la vinaza de la producción de azúcar a partir de caña, alperujos de la industrialización del olivo, la cáscara de arroz, etc. Si bien la cáscara de arroz por su alto contenido de lignina puede ser beneficiosa en aplicaciones sin procesamientos previos, el resto de los residuos suelen someterse a algún grado de transformación y eliminación de sustancias adversas.



Foto 12. Plantas clasificadoras de residuos domiciliarios. Arriba derecha y abajo: planta MBT (CEAMSE)

Dentro de la Legislación Nacional inherente al tema pueden citarse:

- Ley 25.916 Gestión Residuos domiciliarios (2004)
- Ley 25.675 de Política Ambiental Nacional (2002)
- Ley 25.612 Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividad de Servicios (2002)
- Ley 24.051 de Residuos Peligrosos (1992)
- Constitución Nacional art. 41 (1994)

BIOL

Es un abono orgánico líquido de origen animal (estiércol, guanos) o vegetal (restos de cosechas, etc.) que se obtiene del proceso de descomposición anaeróbica. Suele tener un color marrón oscuro y ser espeso. Es fuente de fitoreguladores de crecimiento como el ácido indol acético (auxina) y giberelinas que promueven actividad fisiológica y estimulan el crecimiento de las plantas. Sus características dependen del residuo a partir del cual se produce, un ejemplo puede verse en la Tabla 10.

Tabla 10. Composición química de biol a partir de estiércol (BE) y estiércol más alfalfa (BEA)

Componente	Unidad	BE	BEA
<i>Sólidos totales</i>	%	5,6	9,9
<i>Materia orgánica</i>	%	38,0	41,1
<i>Fibra</i>	%	20,0	26,2
<i>Nitrógeno</i>	%	1,6	2,7
<i>Fósforo</i>	%	0,2	0,3
<i>Potasio</i>	%	1,5	2,1
<i>Calcio</i>	%	0,2	0,4
<i>Azufre</i>	%	0,2	0,2
<i>Ácido indol acético</i>	ng/g	12,0	67,1
<i>Giberelinas</i>	ng/g	9,7	20,5
<i>Purinas</i>	ng/g	9,3	24,4
<i>Tiamina (B1)</i>	ng/g	187,5	302,6
<i>Riboflavina (B2)</i>	ng/g	83,3	210,1
<i>Piridoxina (B6)</i>	ng/g	33,1	110,7
<i>Ácido nicotínico</i>	ng/g	10,8	35,8
<i>Ácido fólico</i>	ng/g	14,2	45,6
<i>Cisteína</i>	ng/g	9,2	27,4
<i>Triptofano</i>	ng/g	56,6	127,1

Este producto se ha utilizado en variados cultivos, aplicado generalmente a través del fertirriego en forma foliar o directamente sobre el suelo. También pueden ser secados previo a su aplicación.

LIMITACIONES EN EL USO DE RESIDUOS ORGÁNICOS

El empleo de residuos orgánicos puede poseer las siguientes limitaciones:

- El contenido de nutrientes es bajo comparado con los fertilizantes de síntesis química y desbalanceado respecto de las necesidades de los cultivos
- La disponibilidad de los nutrientes que contienen puede ser baja o producirse en el mediano-largo plazo
- Es difícil establecer rápidamente la disponibilidad de los nutrientes para establecer una dosis y predecir la respuesta
- Frecuentemente su densidad natural y estado hídrico dificultan su aplicación en el campo
- Son posibles vehículos de semillas de malezas y patógenos
- Muchos de ellos están sometidos a regulaciones ambientales que dificultan o impiden su empleo
- Son importantes emisores de NH₃, N₂O, CH₄, SH₂, pueden poseer cargas excesivas de metales pesados, otras sustancias adversas para el ambiente y olores desagradables
- Pueden producir contaminaciones de napas con metales pesados o eutrofizarlas a partir de la lixiviación de N, P y otros elementos.

CUESTIONARIO

1. ¿Cómo define a las enmiendas la legislación vigente?
2. ¿Cómo pueden clasificarse los abonos orgánicos?
3. ¿Cuáles son las características generales de este tipo de abono?
4. ¿Cuáles son las condiciones que deben cumplir?
5. ¿Cuáles son los abonos orgánicos más difundidos en el país?
6. ¿Cuáles son los principales beneficios en la fertilidad edáfica de los abonos orgánicos?
7. ¿Qué posibilidades de empleo tiene los estiércoles?
8. ¿Cuáles son sus características químicas y microbiológicas según el tipo de animal?
9. ¿Qué riesgos poseen relacionados con la salinidad y/o causticidad?
10. ¿Cómo pueden ser aplicados?
11. ¿Cuáles podrían ser las ventajas de su reutilización en sistema de ganadería a corral (feedlot)?
12. ¿Qué posibilidades de utilización tienen las lagunas de purines de tambo y cuáles pueden ser los riesgos?
13. ¿Qué se entiende por compost?
14. ¿Qué materiales pueden ser empleados para el compostaje?
15. ¿Cuáles son las etapas del proceso?
16. ¿Qué variables deben controlarse y por qué?
17. ¿Qué características tiene el producto final?
18. ¿Qué se entiende por lombricompost?
19. ¿Qué especies de lombrices son las más eficientes en el proceso?
20. ¿Sobre que sustratos y cómo se efectúa la siembra de las lombrices, y cómo deben manejarse los residuos para garantizar su persistencia?
21. ¿Qué ventajas puede tener el proceso de lombricompostaje por sobre el compostaje?
22. ¿Cuáles son las escalas de producción, describa el manejo en cada caso?
23. ¿Qué posibilidades de empleo tienen los residuos domiciliarios e industriales en este sentido?
24. ¿Cuáles son los organismos públicos y el marco legal que regulan los residuos domiciliarios e industriales en el país?
25. ¿Qué se entiende por biosólidos o lodos cloacales y qué características pueden tener?
26. ¿Qué es el biol y a partir de qué materiales puede elaborarse?
27. ¿Cómo pueden aplicarse los biosólidos y el biol?
28. ¿Cuáles son las limitaciones del empleo de los abonos orgánicos?
29. ¿Qué experiencias conoce en el país y que ventajas/desventajas les encuentra?
30. ¿Cuáles son las principales limitaciones generales del empleo de este tipo de abonos?
31. ¿Cómo se establece la dosis y frecuencia de aplicación?
32. ¿Qué posibilidades de empleo en producciones intensivas y extensivas le encuentra a los diferentes tipos de abonos orgánicos?

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez de la Puente. 2003. Manual de compostaje para la agricultura ecológica. Consejo de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. España. 47 p.
- Álvarez R., P. Prystupa, M. Rodríguez & C. Álvarez. 2012. Fertilización de cultivos y pasturas, Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Ed. FAUBA, Buenos Aires. 623 p.
- Andreau R., P. Gelati, M. Provaza, D. Fernández, D. Benardi y M. Vázquez. 2012. Degradación física y química de dos suelos del cordón hortícola platense. alternativas de tratamiento. *Ciencia del Suelo* 30 (2):107-117.
- Campitelli P., M. Velasco & S. Ceppi. 2004. Parámetros relevantes para la evaluación de la variabilidad de enmiendas orgánicas. *Actas Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, (CD)* 8 p.
- Charlton V., L. Romero & M. Taverna. 2007. Utilización de residuos orgánicos en un cultivo de sorgo forrajero para silaje. *Revista Argentina de Producción Animal*: 27 (1): 216-217.
- Charlton V., L. Romero, A. Cuatrin & M. Taverna. 2007. Utilización de residuos orgánicos en el rendimiento y calidad del cultivo de avena. *Revista Argentina de Producción Animal*: 27 (1): 214-216.
- Civeira G. 2007. La recuperación de ambientes degradados como método para la inclusión social en áreas periurbanas. En: <http://www.caei.com.ar/es/programas/recursos/13.pdf>
- Comisión de Comunidades Europeas (CCE). 2001. Criterios ecológicos para la concesión de la etiqueta ecológica comunitaria a las enmiendas de suelo y sustrato de cultivos. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* N°688, 6 p.
- Commegna M., M. Aguirre & R. Santamaría. 2002. Propiedades hídricas y mecánicas de un suelo Haplustol con cáscara de girasol incorporada. *Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn*.
- Da Silva F.C. 2003. Compostaje. *Fertilizar* 31: 32-33.
- Dalurzo H. 2002. Agregado de residuos orgánicos en suelos ferralíticos. Efecto sobre variables que estiman sustentabilidad. Tesis MSc. FAUBA, Buenos Aires, Argentina.
- Echeverría H. y F. García. 2007. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. INTA. ISBN 987-521-192-3. 525 p. 2ª reimpression. Argentina.
- FAO. 2000. Inocuidad y calidad de los alimentos en relación con la agricultura orgánica. 22ª Conferencia Regional de la FAO para Europa. Oporto, Portugal. 24-28/6.
- Gallardo C.S. & O.R. Valenzuela. 2005. Alcances de la investigación argentina sobre cualidades y usos agronómicos del lombricompost. *Revista Científica Agropecuaria* 9 (1): 55-61.
- Giuffré L., L. Berzategui, S. Ratto & O. Heredia. 2000. Residues of sugarcane industry as amendments in soils to avoid pollution effects. *International Soil Conservation Conference, 11th. Buenos Aires, 22-27/10. ISCO, Buenos Aires, Argentina*.
- Giuffré L., L. Marbán y S. Ratto. 1999. Contaminación de un suelo urbano afectado por residuos sólidos. *Gerencia ambiental* 58: 549-552.
- Giuffré L., L. Marbán, S. Ratto, J. Schonwald y R. Romaniuk. 2004. Agricultura Urbana y sustentabilidad: la presencia de metales pesados como factor condicionante (CD). *Jornada de Calidad Ambiental, 10/9. Buenos Aires, Argentina*.
- Herbert S.J. 2005. Farmyard manure. En: http://www.umass.edu/cdl/publications/n_manure.htm
- Lanfranco J. & P. Gelati. 2008. Capacitación para el reciclado de residuos orgánicos. <http://www.usodelsuelo.unlp.edu.ar/proyectos.html>

- Lavado R., R. Acuña, M. Taboada & M. González. 2002. Los elementos potencialmente tóxicos biodisponibles y totales en suelos enmendados con biosólidos y su concentración en cultivos. Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn.
- Martínez de la Cerda, J.E Olivarez Sáenz, G. Salinas García, F. Závala García y J. Aranda Ruiz. 2004. Efecto residual del lodo en trigo. *Phyton* 73: 237-242.
- Mazzarino M.J. 1998. Ventajas y limitaciones del uso agrícola de residuos orgánicos con énfasis en biosólidos. XVI Congreso Argentino Ciencia del Suelo, Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- Mazzarino M.J., & P. Satti. 2012. Compostaje en la Argentina. Experiencias de producción, calidad y uso. Universidad Nacional de Río Negro. Orientación Gráfica Ed.. Buenos Aires, Argentina. 349 p
- Melgar R. y M. Díaz Zorita. 2008. Fertilización de cultivos y pasturas. 2º Ed. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, 569 p.
- Plaster E.J. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Ed. Paraninfo, Madrid.
- Ratto S. L. Marban, & C. Magnavaca. 2000. Metales pesados por aplicación de biosólido sen un Haplustol de Tucuman, Rep. Argentina. *Ciencia del Suelo* 18 (1): 59-63.
- Sasal C., A. Andriulo, J. Ulle, F. Abrego & M. Bueno. 1999. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas en sistemas de producción hortícola del centro-norte de la Región Pampeana. I Curso de Hortalizas de Hojas y Frutos. EEA San Pedro, p. 41-47.
- Sosa O. 2005. Los estiércoles y su uso como enmiendas orgánicas. *Revista Agromensajes*. Facultad Ciencias Agrarias. UNR 16:30-34.
- Sosa O. 2013. Compost. Material de estudio. Facultad Ciencias Agrarias. UNR
- Sosa O. 2013. Enmiendas orgánicas. Material de estudio. Facultad Ciencias Agrarias. UNR
- Trinidad Santos A. 2013. Abonos orgánicos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 8 p.
- Ulle J.A. 2009. Evaluación del crecimiento de plantines de hortalizas de hojas con diferentes edades en sustratos orgánicos. *Horticultura orgánica*. Informe técnico INTA, Centro Regional Buenos Aires Norte, p.16-21.
- Whiting D., C. Wilson & A. Card. 2002. Organic Soil Amendments. Colorado Master Gardener, Colorado State University, Cooperative S-41, 5 p.