

**Prácticas para la mejora en el proceso de  
compostaje de abonos orgánicos elaborados a  
base de estiércol y su efecto en el suelo:  
Revisión de literatura**

**Christian Reiniery Ortiz Argueta**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Honduras**  
Noviembre, 2020

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

# **Prácticas para la mejora en el proceso de compostaje de abonos orgánicos elaborados a base de estiércol y su efecto en el suelo: Revisión de literatura**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero Agrónomo en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Christian Reiniery Ortiz Argueta**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2020

# Prácticas para la mejora en el proceso de compostaje de abonos orgánicos elaborados a base de estiércol y su efecto en el suelo: Revisión de literatura

Presentado por:

Christian Reiniery Ortiz Argueta

Aprobado:



[Alejandra Sierra \(Nov 11, 2020 19:14 CST\)](#)

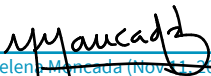
---

Alejandra Sierra, M.Sc.  
Asesora Principal



---

Rogel Castillo, M.Sc.  
Director  
Departamento de Ciencia y  
Producción Agrícola



[Marielena Moncada \(Nov 11, 2020 21:02 CST\)](#)

---

Marielena Moncada, Ph.D.  
Asesora



---

Luis Fernando Osorio, Ph.D.  
Vicepresidente y Decano  
Académico

## **Prácticas para la mejora en el proceso de compostaje de abonos orgánicos elaborados a base de estiércol y su efecto en el suelo: Revisión de literatura**

**Christian Reiniery Ortiz Argueta**

**Resumen.** El estiércol de vaca se ha usado desde hace mucho tiempo como abono orgánico, debido a su efecto positivo en los suelos agrícolas; sin embargo, durante su compostaje emite dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), los cuales son gases de efecto invernadero (GEI), que inciden en el calentamiento global. El objetivo de esta revisión de literatura fue recopilar prácticas aplicadas para la mejora en el proceso de compostaje, de abonos orgánicos a base de estiércol de vaca; y documentar cuales son las mejoras en el suelo posterior a la aplicación de enmiendas orgánicas. Dichos datos son el compendio de artículos de la comunidad científica, de los últimos 20 años encontrados en bases de datos como, “ScienceDirect, ResearchGate, SpringerLink” y entidades como la FAO. De acuerdo con las investigaciones la emisión de gases de GEI, se puede reducir mediante la adición de fosfoyeso, reduciendo el número de volteos y espacio poroso, o con el uso de estiércol almacenado. Temperaturas entre 60-70 °C permiten eliminar patógenos del interior de la pila de compostaje. También es posible conservar un mayor contenido de nutrientes de la materia prima inicial, reduciendo el número de volteos. En cuanto a las mejoras en el suelo después de la incorporación de abonos orgánicos las investigaciones indican que permiten incrementar el pH de suelos ácidos, mejorar la disponibilidad y retención de nutrientes y contribuyen a la actividad biológica y enzimática del suelo.

**Palabras clave:** Estiércol de vaca, nutrientes, pH, temperatura, volteos.

**Abstract.** Cow manure has long been used as organic fertilizer, due to its positive effect on agricultural soils; however, during composting it emits carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), which are greenhouse gases (GHG), which affect global warming. The objective of this literature review was to compile practices applied to improve the composting process of organic fertilizers based on cow manure; and document what are the improvements in the soil after the application of organic amendments. These data are the compendium of articles from the scientific community from the last 20 years found in databases such as ScienceDirect, ResearchGate, SpringerLink and entities such as FAO. According to research, GHG emissions can be reduced by adding phosphogypsum, reducing the number of turns and pore space, or by using stored manure. Temperatures between 60-70 °C eliminates pathogens from the compost pile. It is also possible to preserve a higher nutrient content of the initial raw material by reducing the number of turns. Regarding the improvements in the soil after the incorporation of organic fertilizers, research indicates that they allow to raise pH of acidic soils, improve the availability and retention of nutrients and contribute to the biological and enzymatic activity of the soil.

**Key words:** Cow manure, nutrients, pH, temperature, turns.

## ÍNDICE GENERAL

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Índice General.....	iv
Índice de Cuadros.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>11</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>12</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>13</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros	Página
1. Trabajos de investigación que han evaluado parámetros de mejoras en el proceso de compost elaborado a base de estiércol de ganado .....	4
2. Trabajos de investigación que han evaluado parámetros de mejoras en el suelo debido a la aplicación de compost elaborado a base de estiércol de ganado... ..	8

# 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es fundamental para la humanidad. Las prácticas agronómicas actuales han ocasionado una degradación y agotamiento de los recursos naturales y pérdidas en la biodiversidad. Por lo cual, es necesario hacer cambios que permitan hacer una transición, a una visión integral que traiga consigo una producción y consumo sostenible de alimentos al corto y largo plazo (FAO 2013).

Según científicos de la FAO, el 33% de los suelos se encuentran afectados por la erosión, presentan un agotamiento de nutrientes, la pérdida de carbono orgánico, entre otras amenazas. Debido al estado actual de los suelos es fundamental la implementación de prácticas agrícolas que lo enriquezcan, como la rotación de cultivos, fertilizantes orgánicos, labranza mínima entre otras (FAO 2014; Montanarella *et al.* 2015).

Los abonos orgánicos son fertilizantes naturales, que proporcionan los nutrientes requeridos a las plantas, aumentando la calidad del suelo debido a que favorecen el ambiente natural para el desarrollo de los microorganismos que pueden aumentar la accesibilidad de nutrientes (FAO 2009). La aplicación de abonos orgánicos mejora las propiedades químicas del suelo incrementando el contenido de materia orgánica, nutrientes y capacidad de intercambio catiónico. Así mismo mejora las propiedades físicas, mejorando la estructura del suelo, densidad aparente, la capacidad para retener humedad, la infiltración de agua, y disminuyendo la tasa de evaporación (Ramos Agüero y Terry Alfonso 2014).

Los abonos orgánicos se elaboran a partir de desechos vegetales, animales o la combinación de ambos. Estos pueden ser residuos de cultivos, estiércol y purín que genera la explotación agropecuaria, desechos de la industria de procesamiento de alimentos y desechos domésticos (Raviv 1998). El estiércol aporta nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo y potasio, y posee características esenciales para el compostaje, una adecuada relación carbono:nitrógeno (C:N), alta humedad y alto contenido microbiano (Pettygrove *et al.* 2010).

El compostaje, es un proceso que consiste en la descomposición biológica aeróbica y la estabilización del sustrato orgánico, mediante la acción de microorganismos. Debido a la actividad de estos, en el proceso de descomposición, se reduce el oxígeno y se produce dióxido de carbono, calor y agua. Como resultado se obtiene un producto final estable, libre de patógenos y semillas que se puede aplicar al suelo para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo (ARC-CAT 2004).

Debido a que el compostaje es una descomposición biológica a partir de microorganismos, existen diversos factores que afectan su reproducción y crecimiento, y por ende la tasa de descomposición durante el proceso. Dichos factores incluyen la temperatura, humedad, oxígeno y relación C:N.

Durante el proceso de compostaje se presentan fluctuaciones en la temperatura. El proceso inicia con una fase mesófila. En esta fase los microorganismos mesofílicos descomponen los compuestos solubles, tales como azúcares y producen ácidos orgánicos que reducen el pH (entre 4.0 y 4.5). La siguiente fase es la fase termófila la cual inicia cuando la temperatura de la pila supera los 45 °C.

Durante esta fase prevalecen las bacterias termófilas, encargadas de degradar la celulosa y la lignina. Los microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco, por lo tanto, el pH sube. A partir de los 60 °C aparecen bacterias termófilas extremas y actinobacterias que degradan la hemicelulosa, ceras y compuestos orgánicos complejos. Esta fase también se le conoce como la fase de higienización, pues al superar los 55 °C se eliminan bacterias de origen fecal como *E. coli* y *Salmonella* spp., quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas. Finalmente, en la fase de maduración, persiste un pH alcalino, continua la degradación de polímeros como la celulosa y aparecen ciertos hongos. Adicionalmente, se producen reacciones secundarias de polimerización y condensación de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román *et al.* 2013).

Para una adecuada descomposición durante el proceso de compostaje la humedad se debe mantener entre 45-60%. Por debajo del 45% la actividad microbiana disminuye y no se cumplen todas las fases de degradación. La humedad superior al 60% puede generar zonas de anaerobiosis (Román *et al.* 2013).

Por ser un proceso aeróbico, el nivel óptimo de oxígeno en la pila debe mantenerse lo más cercano 10% (Kamil *et al.* 2004; Román *et al.* 2013). Dependiendo del tipo de compostera este se puede mantener mediante el volteo de la pila, aireación forzada o aireación pasiva.

La relación C:N ideal para un adecuado compostaje es de 25:1 – 35:1. Una relación por debajo de 15:1, debido a un exceso de nitrógeno, ocasiona altas temperaturas y malos olores por liberación de amoníaco. Por otro lado, la relación por encima de 35:1 debido a un exceso de carbono, alarga el tiempo de descomposición (Jhorar *et al.* 1991; Román *et al.* 2013).

Un proceso correcto de compostaje permite aprovechar el estiércol de vaca, el cual se ha empleado desde hace mucho tiempo como fertilizante, debido a la alta concentración de nutrientes, que al incorporarlo al suelo incrementa la fertilidad, al igual que la mejora de las propiedades físicas (Helgason *et al.* 2005). Producto del proceso de compostaje se emite CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, los cuales son GEI, estos atraen la atención de investigadores debido a la creciente preocupación por el calentamiento global (Sánchez Monedero *et al.* 2010). Adicionalmente, para aprovechar el compost en el sector agrícola, se requiere de técnicas que permitan eliminar posibles patógenos presentes en el estiércol. Debido a que se pueden encontrar microorganismos patógenos como *Salmonella* spp. y *Campylobacter* en el ganado, con el proceso de compostaje se evita que estos patógenos se transfieran al suelo, fuentes de agua y cultivos (Doyle y Erickson 2006; Erickson y Doyle 2012). Los objetivos de esta revisión de literatura fueron:

- Identificar prácticas, que permitan optimizar el proceso de compostaje de abonos orgánicos elaborados a partir de estiércol de vaca, mediante la reducción de gases del efecto invernadero y la pérdida de nutrientes y la eliminación de microorganismos patógenos.
- Identificar beneficios de la incorporación de los abonos orgánicos a base de estiércol, en el pH, aporte y retención de nutrientes, incremento en el contenido de materia orgánica y actividad biológica del suelo.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

La revisión de literatura se realizó entre los meses de mayo a septiembre del año 2020, en las bases de datos “ScienceDirect, ResearchGate, SpringerLink” y entidades como la FAO, ingresando palabras claves como: “compost, manure, cattle, beef cattle, greenhouses, pathogens, nutrients, soil”. Se incluyeron artículos de la comunidad científica reportados en los últimos 20 años (2000 a 2020), mayormente escritos en idioma inglés.

Los artículos fueron investigaciones concernientes a compost a base de estiércol de vaca, solo o en combinación con otras enmiendas orgánicas, en los que evaluaban métodos para disminución de gases del efecto invernadero, eliminación de patógenos, conservación de nutrientes durante el compostaje. Además de los efectos de la incorporación de compost en el suelo.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Mejoras en el proceso de compostaje

Existen diversas investigaciones que se han enfocado en las mejoras del proceso de compostaje de estiércol de vaca, realizando prácticas para la reducción de gases del efecto invernadero, la eliminación de patógenos y conservación de nutrientes del producto final (Cuadro 1).

Cuadro 1. Trabajos de investigación que han evaluado parámetros de mejoras en el proceso de compostaje de compost elaborado a base de estiércol de ganado.

Tratamientos	Parámetros evaluados			Referencia
	Gases del efecto invernadero	Eliminación de patógenos	Conservación de nutrientes	
Adición de fosfoyeso	x			Hao <i>et al.</i> 2005
Número de Volteos	x			Hao <i>et al.</i> 2001 El Kader <i>et al.</i> 2007
Edad del estiércol	x			Arriaga <i>et al.</i> 2017 Ahn <i>et al.</i> 2011
Edad del estiércol		x		Xiujin <i>et al.</i> 2008 Li <i>et al.</i> 2008 Berry <i>et al.</i> 2013 Erickson <i>et al.</i> 2014
Humedad		x		Xiujin <i>et al.</i> 2008
Relación C:N		x		Erickson <i>et al.</i> 2015
Número de Volteos, condiciones climáticas			x	Parkinson <i>et al.</i> 2004
Humedad			x	Díaz y Savage 2007 López <i>et al.</i> 2018
Relación C:N			x	Brito <i>et al.</i> 2008

C:N: carbono:nitrógeno

**Reducción de gases del efecto invernadero.** La cantidad de gases de efecto invernadero (GEI), CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, emitidos durante el proceso de compostaje depende de la materia prima y condiciones de aireación en la pila. Investigaciones indican que esta se puede regular con la frecuencia de volteo y adición de agentes de carga. Un agente de carga es aquel que conserva su estructura cuando se mezcla con desechos amorfos (Díaz y Savage 2007). En el caso de los agentes de carga, Hao *et al.* (2005) evaluaron el efecto de la adición de fosfoyeso en el compostaje de estiércol en hileras abiertas, resultando que la adición de fosfoyeso entre 20 y 30% del peso de estiércol seco, reduce la emisión de gases del efecto invernadero en al menos 54%, debido mayormente por la eliminación de CH<sub>4</sub>. La reducción de CH<sub>4</sub> en presencia fosfoyeso, se debe al incremento de iones de sulfato, lo que conlleva a que las bacterias reductoras de sulfato superen a las bacterias productoras de CH<sub>4</sub> (Lovley y Klug 1983).

Algunas investigaciones indican que reduciendo el número de volteos o la cantidad de macroporos se reducen las emisiones de GEI. En la investigación de El Kader *et al.* (2007) se concluyó que, al compactar, agregar agua (o ambos) a la pila de compostaje, se reducen el espacio libre de aire en un 20-60%, lo cual permite reducir la emisión de NH<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O en un 30 y 70%, respectivamente. Esta reducción se atribuye a que se observó que la compactación reduce los macroporos, mientras que el agua llena los microporos, por tanto, se reduce la difusión de gases.

Los efectos de la presencia de aire en el proceso de compostaje, es ratificado en la investigación de Hao *et al.* (2001) al comparar un compostaje de estiércol de ganado sin volteos con un compostaje realizando seis volteos. Los resultados indican que la pila sin volteos generó una emisión total de CO<sub>2</sub>-C menor (240.2 kg C/t de estiércol) que la pila con seis volteos (401.4 kg C/t de estiércol). Por lo tanto, el no volteo de la pila permite reducir la tasa de emisión de gases, probablemente debido a la reducción de poros en la pila.

El número de volteos durante el proceso de compostaje deja de ser relevante para el estiércol de vaca que ha pasado largos periodos de tiempo sin perturbar. Según Arriaga *et al.* (2017) largos periodos de degradación del estiércol en el campo, permite una estabilidad microbiana durante el proceso de compostaje por lo cual dos o tres volteo no tiene una incidencia significativa en la emisión de NH<sub>3</sub> y GEI durante el compostaje. La investigación de Ahn *et al.* (2011) comprueba que el almacenar estiércol en pilas no perturbadas o retrasar la primera mezcla de la pila de compost, durante cuatros semanas, resultan en un 6% menos de GEI.

**Eliminación de patógenos.** El ganado hospeda esporádicamente patógenos zoonóticos en el intestino, como especies de *Salmonella* spp. y *Campylobacter* (Doyle y Erickson 2006). Dichos patógenos pueden ser encontrados en el estiércol, y de no ser tratados, se transfieren al suelo, fuentes de agua y cultivos (Erickson y Doyle 2012). La inactivación de patógenos zoonóticos, antes de su aplicación en los suelos se logra a través de procesos de compostaje termofílico aeróbico o almacenamiento (Erickson *et al.* 2015). Como consecuencia de las altas temperaturas alcanzadas durante la fase termofílica del compostaje, se destruyen las bacterias patógenas y parásitos presentes en la materia prima (Román *et al.* 2013).

Por lo general, las temperaturas que se alcanzan durante el compostaje están en un rango de 50 a 65 °C, dichas temperaturas sobrepasan el punto de muerte térmica de los patógenos mesófilos (Golueke 1977). En el caso de los virus la mayoría muere a 70 °C durante 20 minutos (Day y Shaw 2001). Según Lung *et al.* (2001) al evaluar un sistema de compostaje a escala de laboratorio

determinó que *E. coli* 0157:H7 no se detecta después de 72 h de compostaje a 45 °C y *Salmonella Enteritidis* no se detecta después de 28 h. El tiempo necesario y temperatura letal para destruir *Salmonella spp.* y *E. coli* varía de 1 h a 55 °C y de 15 a 20 minutos a 60 °C (Deportes *et al.* 1995). El estado de descomposición del material afecta directamente las temperaturas que se alcanzan, principalmente en la etapa termofílica, durante el proceso de descomposición y por ende la capacidad de eliminar microorganismos patógenos. Erickson *et al.* (2014) concluyeron en su investigación que utilizando estiércol de vaca fresco se reduce el tiempo requerido durante la etapa aeróbica termofílica del compostaje, para la inactivación completa de *Salmonella spp.* Datos que coinciden con la investigación de Xiujin *et al.* (2008). Sin embargo, cuando se utiliza estiércol envejecido, la pila de compost no se calienta tan rápido, ni alcanza las temperaturas máximas que se obtienen al utilizar estiércol fresco, una de las razones puede ser el bajo pH (5.1) del material de compostaje con estiércol envejecido (Li *et al.* 2008; Berry *et al.* 2013), ya que un pH menor a 6, se describe como un factor inhibitorio en la transición de la fase mesofílica a la termofílica (Sundberg *et al.* 2004). El pH varía durante todo el proceso de compostaje, el rango ideal es de 5.8 a 7.2, y sirve como un indicador de la actividad microbiana (Román *et al.* 2013).

La humedad es un parámetro operacional que se debe monitorear para el control de patógenos. El óptimo contenido de humedad se debe mantener en un rango de 40 a 65% (Rynk *et al.* 1992). En la investigación de Xiujin *et al.* (2008) la incorporación de paja de arroz en el compostaje de estiércol de vaca permitió un mayor contenido de humedad inicial (65%) siendo favorable para alcanzar temperaturas más altas y mayor tiempo de retención de altas temperaturas. La respuesta de los patógenos a altas temperaturas se atribuye a diferencias en la contribución de factores biológicos o químicos que afectan la inactividad de patógenos (Lemunier *et al.* 2005). Por ejemplo, tanto el amoníaco como los ácidos volátiles pueden generarse durante el compostaje (Beck-Friis *et al.* 2003), y ambos tienen actividad bactericida (Erickson *et al.* 2009a).

La relación C:N inicial de la materia prima a compostar, incide en condiciones favorables para la eliminación de patógenos. Relaciones iniciales de C:N de 20:1 a 40:1 son favorables para que la microflora autóctona descomponga los elementos del compost, de los cuales el amoníaco y ácidos volátiles y el calor inciden en la inactivación de los patógenos zoonóticos presentes en el estiércol (Pell 1997). En la investigación de Erickson *et al.* (2015) se inoculó durante seis semanas a 30 °C *E. coli* 0157:H7 y *L. monocytogenes* y utilizaron relaciones de C:N de, 20:1, 30:1 y 40:1, pero la relación C:N, ni la edad del estiércol afecta la presencia de *E. coli* 0157:H7 en el compostaje de estiércol de vaca (permanece constante), en el caso de *L. monocytogenes* independientemente de la relación C:N, disminuye aproximadamente 4 log UFC/g a las 18 semanas de almacenamiento. Estos resultados no coinciden con la información de Erickson *et al.* (2009a, 2009b) donde documenta que los patógenos se eliminan más rápidamente en mezclas de compost a una relación de C:N de 20:1 que en mezclas de compost formuladas en 30:1 o 40:1.

**Conservación de nutrientes.** La humedad, la aireación y la relación C:N, son factores que influyen en el contenido de nutrientes durante el proceso de compostaje pues afectan directamente las pérdidas de nutrientes por volatilización y lixiviación. Al voltear se expone material fresco, permitiendo la colonización microbiana y conduce a la liberación de NH<sub>3</sub> acumulado en los espacios vacíos internos de la pila de estiércol (Parkinson *et al.* 2004). En el caso de la humedad no afecta significativamente la calidad del compost, una relación inicial de C:N baja puede incrementar pérdidas de N como gas amoníaco (Guo *et al.* 2012).

El número de volteos durante el proceso de compostaje deben ser controlados, si se desea obtener una mayor cantidad de N en el producto final. Parkinson *et al.* (2004) realizaron su investigación bajo condiciones ambientales, para simular las pérdidas de nutrientes debido a la exposición a la lluvia, lo cual permite sugerir un solo evento de volteo retrasado para reducir la pérdida de nutrientes, ya que con un solo volteo se reduce la pérdida de N en forma de  $\text{NH}_4\text{-N}$  y  $\text{NO}_3\text{-N}$  en los lixiviados. La información recolectada de  $\text{NH}_4\text{-N}:\text{NO}_3\text{-N}$  durante la etapa inicial del compostaje concuerdan con los datos de Martins y Dewes (1992) y Petersen *et. al* (1998). Parkinson *et al.* (2004) también reportaron que pilas estáticas y bajo condiciones climáticas frías, la cantidad de N total inicial perdido como emisiones en forma de gas de  $\text{NH}_3\text{-N}$  es del 1% cuando se realiza un volteo y 2% cuando se realizan tres volteos. Sin embargo, bajo condiciones cálidas se obtiene mayores pérdidas de 11 y 18% para uno y tres volteos, respectivamente. Martins y Dewes (1992) también asocian la temperatura como un factor que influye en la emisión de  $\text{NH}_3$  de excremento de animal.

La humedad es un factor medioambiental que incide en el contenido de nutrientes del compost final. Normalmente un contenido de humedad del 45-60% de la cantidad de material de partida, debería ser satisfactorio (Román *et al.* 2013). En la investigación de López *et al.* (2018) el exceso de humedad al inicio del proceso ( $> 80\%$ ) disminuye el contenido de N en el compost bovino a consecuencia de pérdidas por lixiviación. El N que se pierde en los lixiviados es en forma de  $\text{NH}_4\text{-N}$  y  $\text{NO}_3\text{-N}$  Parkinson *et al.* (2004).

Un aspecto importante para el balance total de nutrientes, es la relación entre el carbono orgánico y el nitrógeno total (C:N). Se recomienda una relación C:N de 25:1 al inicio del proceso de compostaje, debido a que en valores inferiores han aumentado las pérdidas de N (De Bertoldi *et al.* 1983). Brito *et al.* (2008) consideran que una adecuada relación C:N de la materia inicial de 36:1 y 14:1 al final del periodo de compostaje, permite el aumento de N, ya que se genera una retención eficiente de N liberado debido a la degradación microbiana. Dicho aumento de N es a consecuencia que las bacterias nitrificadoras oxidan inmediatamente el amonio liberado por la mineralización de los compuestos orgánicos nitrogenados y estos no se pierden por volatilización (Insam y Bertoldi 2007).

La cantidad de nutrientes presentes en el producto final se asocia con C orgánico. Haynes y Zhou (2016) al utilizar 75% de residuos verdes municipales y 25% de estiércol de ganado en el proceso de compostaje, obtuvieron una gran pérdida de C como  $\text{CO}_2$ . Se estima que esta pérdida influyó en que el compost final tuviera concentraciones más altas de Mg, K, P, N extraíbles, N mineral y sales solubles. De igual forma existen otros trabajos que han documentado, un menor contenido de C orgánico y un mayor contenido de sales solubles en el compost (Fornes *et al.* 2012; Belda *et al.* 2013).

### **Mejoras en el suelo**

Investigaciones indican que la aplicación de enmiendas de compost de desechos de ganado influye en la disponibilidad de nutrientes y las propiedades fisicoquímicas del suelo, tales cambios influyen en la comunidad microbiana y sus actividades con efectos positivos en cascada sobre la fertilidad y productividad del suelo (Cuadro 2).

**Incremento en el contenido de materia orgánica.** Las aplicaciones de compost inciden en la materia orgánica del suelo a través del tiempo. El estudio de Gil *et al.* (2008) reporta que, tras la aplicación de compost en el suelo, se aumentó significativamente el contenido de materia orgánica, lo cual es un efecto positivo. Sin embargo, no cambia mucho en un periodo corto, por lo tanto, el impacto del compost debe evaluarse durante más de un año después de sucesivas aplicaciones de materiales orgánicos. El aumento de la materia orgánica del suelo permite la mejora de características físicas, como el movimiento y retención de agua, la porosidad y estructura del suelo (Adegbidi *et al.* 2003). La materia orgánica permite recuperar o mantener la matriz porosa, debido a que le confiere propiedades elásticas al suelo, lo que le permite recuperarse de cargas aplicadas por maquinaria agrícola (Zhang *et al.* 2005). Las características físicas anteriormente mencionadas, son importantes, debido a que son una entidad funcional de la estructura del suelo, que permite la emergencia de las plantas, así como el incremento del rendimiento de cultivos (Josa *et al.* 2010). El pH también se ve modificado por la materia orgánica, debido a la descomposición de dichas enmiendas producen ácidos orgánicos e inorgánicos que influyen en dicha propiedad química (Pérez *et al.* 2014).

Cuadro 2. Trabajos de investigación que han evaluado parámetros de mejoras en el suelo debido a la aplicación de compost elaborado a base de estiércol de ganado.

Mejoras en el suelo	Referencia
Incremento en el contenido de materia orgánica	Gil <i>et al.</i> 2008
pH	Zhang <i>et al.</i> 2006 Gil <i>et al.</i> 2008
Aporte de nutrientes	He <i>et al.</i> 2000 Bulluck <i>et al.</i> 2002 Benitez <i>et al.</i> 2003 Soumare <i>et al.</i> 2003 Zhang <i>et al.</i> 2006 Gil <i>et al.</i> 2008
Retención de nutrientes	Bulluck <i>et al.</i> 2002 Gil <i>et al.</i> 2008 Miller <i>et al.</i> 2016 Magdich <i>et al.</i> 2018
Actividad enzimática	Zhang <i>et al.</i> 2015 Das <i>et al.</i> 2017
Actividad biológica	Das <i>et al.</i> 2017 Li <i>et al.</i> 2017 Zhang <i>et al.</i> 2017

**pH.** Durante la actividad agrícola se debe regular el pH del suelo, para asegurar la disponibilidad y absorción de nutrientes. Para cultivos agrícolas el valor del pH ideal del suelo es 6.5, valores por debajo a 5.5 se consideran suelos muy ácidos (FAO 2020). Los suelos ácidos generan problemas de toxicidad y baja disponibilidad de nutrientes, lo cual afecta la adsorción de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  (Casierra y Aguilar 2007). Según el estudio de Gil *et al.* (2008) el uso de compost aumenta el pH de suelos ácidos, de igual manera se podría evitar la disminución de pH que a veces ocurre tras sucesivas aplicaciones de fertilizantes minerales. Esta información coincide con el estudio de Paino *et al.* (1996). Al igual Zhang *et al.* (2006) reportan en su investigación un aumento en el pH, debido a que, al comparar un suelo sin aplicación de compost durante cuatro años, este tenía un pH de 5.8, en contraste tras la aplicación de compost de 50, 100 y 200 t/ha el pH promedio del suelo aumentó 6.3, 6.4 y 6.7 respectivamente. Un pH óptimo en el suelo permite la disponibilidad de nutrientes para la planta (FAO 2020).

**Aporte de nutrientes.** La incorporación de compost genera un incremento en la concentración de nutrientes disponible en el suelo. Gil *et al.* (2008) documentan concentraciones más altas de K, P, Ca y Na después de la aplicación de compost. Datos que coinciden con la investigación de Bulluck *et al.* (2002) quienes encontraron mayores concentraciones de Ca, al igual que Soumare *et al.* (2003) encontraron altas concentraciones de P y K luego de la aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo.

Diferentes investigaciones documentan la liberación de N al suelo, después de la aplicación de compost y su disponibilidad para el crecimiento de los cultivos (He *et al.* 2000; Benitez *et al.* 2003). Zhang *et al.* (2006) realizaron una investigación de cuatro años, en la cual solo el primer año aplicaron compost al suelo, siendo en los dos primeros años donde el compost liberó la mayor parte de N, la tasa de liberación fue menor a lo reportado por Klausner *et al.* (1994) y Deluca y Deluca (1997), debido a que la liberación de N de fuentes orgánicas está influenciada por distintos factores, como las prácticas de manejo, el suelo y la materia prima (Thomsen y Olesen 2000; Van *et al.* 2000).

A pesar de múltiples beneficios que aporta el uso de compost al suelo, se debe considerar que el compost por sí solo no podría funcionar de una manera igual de eficiente que los fertilizantes minerales, debido a que su tiempo de mineralización es generalmente desconocido, y por lo tanto la disponibilidad de nutrientes para la planta también es incierta. Además, la sustitución completa de los fertilizantes minerales con compost es problemática, porque ciertos cultivos tienen altas necesidades de nutrientes o están con necesidades puntuales, por lo cual se necesitaría grandes cantidades de compost para satisfacer las necesidades generales del cultivo (Gil *et al.* 2008).

**Retención de nutrientes.** La capacidad de un suelo de retener nutrientes está influenciada por la capacidad de intercambio catiónico (CIC). La CIC es una medida de la capacidad del suelo para retener cationes. Es una característica muy importante del suelo, debido a que influye en la disponibilidad de nutrientes, el pH del suelo, la estructura del suelo y la relación del suelo a los fertilizantes (Hazelton y Murphy 2007). Los principales iones asociados con la CIC en los suelos son los cationes intercambiables calcio ( $Ca^{2+}$ ), magnesio ( $Mg^{2+}$ ), sodio ( $Na^+$ ) y potasio ( $K^+$ ) (Rayment y Higginson 1992). Un bajo CIC indica una baja habilidad de retener nutrientes en el suelo, ocasionando una mayor probabilidad de desarrollar deficiencias de potasio ( $K^+$ ), magnesio ( $Mg^{2+}$ ) entre otros cationes, mientras que los suelos con una CIC alta son menos susceptibles a la lixiviación de cationes, estas características predominan en suelos arcillosos o con una alta cantidad

de materia orgánica (CCE 2007; FAO 2020). Gil *et al.* (2008) reporta un incremento de CIC en el suelo, después de la aplicación de compost. Los resultados también coinciden con la investigación de Bulluck *et al.* (2002) quienes encontraron valores más altos de CIC en el suelo, posterior a la aplicación de enmiendas orgánicas, en comparación con fertilización mineral.

Hay investigaciones que reportan la CIC del suelo, después de la aplicación de compost en función del tiempo. Según Miller *et al.* (2016) a una dosis de 77 t/ha de compost la CIC del suelo aumenta después de ocho y 15 aplicaciones, resultando en 26.9 cmol/kg y 32.2 cmol/ kg, respectivamente, pero no después de una sola aplicación. Tal aumento se atribuye al efecto acumulativo de aplicaciones repetidas y anuales de estiércol y al incremento de materia orgánica en el suelo debido a las enmiendas. Otros estudios también han informado una mayor CIC después de nueve y 18 aplicaciones anuales de estiércol de ganado a los suelos (N'Dayegamiye y Côté 1989; Gao y Chang 1996). Sin embargo, Magdich *et al.* (2018) reportan que suelos modificados con compost al 10% contribuye al aumento de la CIC del suelo en un 28.4% respecto a suelos de control, en un periodo de 90 días.

**Actividad enzimática.** Las enzimas intervienen en procesos internos del suelo, tal como la formación de moléculas orgánicas, están involucradas en el ciclo nitrógeno, fósforo y carbono, y tienen una participación vital en los procesos de mineralización, inmovilización de nutrientes y fijación biológica de nitrógeno (Caldwell 2005; Carpa 2011). La fertilidad del suelo se puede mejorar a través de la actividad enzimática. Das *et al.* (2017) reportan que la incorporación de compost de ganado incrementa la actividad enzimática del suelo, al igual que el estudio de Zhang *et al.* (2015). La actividad enzimática, es un indicador de la fertilidad del suelo, debido a que promueven las principales reacciones bioquímicas (ciclo de nutrientes, degradación de nutrientes orgánicos y xenobióticos) los cuales son esenciales para el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Nannipieri *et al.* 2012; Burns *et al.* 2013).

**Actividad biológica.** Al referirse a la actividad biológica del suelo, es hablar acerca de la dinámica de evolución del suelo y la capacidad de intercambio entre el suelo y la planta, en lo cual interfieren microorganismos como las bacterias, los cuales son organismos importantes de la actividad biológica del suelo (Wright y Coleman 2000). La actividad biológica para el desarrollo de las plantas se puede mejorar con la incorporación de estiércol de ganado, dicha acción permite restaurar la diversidad bacteriana (Sun *et al.* 2015). Das *et al.* (2017) en su investigación documentan la existencia en el compost, de ciertas especies de bacterias que son promotoras del crecimiento vegetal, como *Azospirillum zae*, *Magnetospirillum magnetotacticum*, *Pleomorphomonas oryzae*, *Azospirillum halopraeferens*, *Variovorax boronicumulans*, *Pseudomonas xanthomarina*, *Bacillus niacin*, *Pseudomonas stutzeri*, *Azospirillum rugosum*, y *Azospirillum picis*. Existen varios estudios recientes que coinciden con dicha información (Li *et al.* 2017, Zhang *et al.* 2017). La asociación entre microorganismos y raíces puede ser beneficiosa para el crecimiento de las plantas en términos de antibiosis, biocontrol, fijación de nitrógeno, simbiosis, entre otros. Dentro de los beneficios para la planta incluyen la producción de compuestos antimicrobianos, solubilización de fosfato, nodulación y descomposición de materia orgánica (Gaind y Singh 2012).

## 4. CONCLUSIONES

- Mediante la regulación de los factores que actúan en el desarrollo de los microorganismos, la adición de agentes de carga y la edad del estiércol, se puede disminuir la emisión de GEI, conservar los nutrientes y eliminar los patógenos durante el proceso de compostaje
- La incorporación de compost de estiércol de ganado al suelo mejora la actividad biológica y enzimática, incrementa el contenido de materia orgánica, neutraliza el pH de suelos ácidos, mejora la disponibilidad y retención de nutrientes

## 5. RECOMENDACIONES

- Evaluar la adición de fosfoyeso en la elaboración de compost a base de estiércol de vaca.
- Comparar el compostaje de estiércol fresco y estiércol almacenado.
- Evaluar los efectos de usar una humedad entre el 40 a 65%, en la temperatura del interior de la pila de compostaje.
- Evaluar la temperatura en el interior de la pila, mediante un sistema de aireación por volteos y pilas estáticas.
- Evaluar los efectos de compactar o agregar agua a la pila de compostaje, en la emisión de GEI.

## 6. LITERATURA CITADA

- Adegbidi H, Briggs R, Volk T, White E, Abrahamson L. 2003. Effect of organic amendments and slow-release nitrogen fertilizer on willow biomass production and soil chemical characteristics. *Biomass and Bioenergy*. 25(4):389–398. doi: 10.1016/S0961-9534(03)00038-2
- Ahn H, Mulbry W, White J, Kondrad S. 2011. Pile mixing increases greenhouse gas emissions during composting of dairy manure. *Bioresour. Technol.* 102(3): 2904-2909. doi: 10.1016/j.biortech.2010.10.142
- [ARC-CAT] Agencia de Residuos de Cataluña. 2004. Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. España: AGENCIA DE RESIDUOS DE CATALUÑA; [consultado el 21 de jun. de 2020]. <http://www.arc.cat/es/altres/purins/guia/pdf/ficha4.pdf>
- Arriaga H, Viguria M, Lopez D, Merino P. 2017. Ammonia and greenhouse gases losses from mechanically turned cattle manure windrows: A regional composting network. *J. Environ. Manage.* 203(1):557-563. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.06.006
- Beck-Friis B, Smårs S, Jonsson H, Eklind Y, Kirchmann H. 2003. Composting of source-separated household organics at different oxygen levels: gaining an understanding of the emission dynamics. *Compost Sci. Util.* 11(1):41-50. doi: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2003.10702108>
- Belda R, Mendoza Hernández D, Fornes F. 2013. Nutrient-rich compost versus nutrient-poor vermicompost as growth media for ornamental-plant production. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176(6):827–835. doi: <https://doi.org/10.1002/jpln.201200325>
- Benitez C, Tejada M, González J. 2003. Kinetics of the mineralization of nitrogen in a pig slurry compost applied to soils. *Compost Sci. & Utilization.* 11(1):72-80. doi: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2003.10702111>
- Berry E, Millner P, Wells J, Kalchayanand N, Guerini M. 2013. Fate of naturally occurring *Escherichia coli* 0157:H7 and other zoonotic pathogens during minimally managed bovine feedlot manure composting processes. *J. Food Prot.* 76(8):1308-1321. doi: <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-364>
- Brito L, Coutinho J, Smith S. 2008. Methods to improve the composting process of the solid fraction of dairy cattle slurry. *Bioresour. Technol.* 99(18):8995-8960. doi: 10.1016/j.biortech.2008.05.005
- Bulluck L, Brosius M, Evanylo G, Ristaino J. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology.* 19(2):147–160. doi: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00187-1](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00187-1)
- Burns R, Deforest J, Marxsen J, Sinsabaugh R, Stromberger M, Wallenstein M, Weintraub M, Zoppini A. 2013. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. *Soil Biol. Biochem.* 58:216–234. doi: 10.1016/j.soilbio.2012.11.009
- Caldwell B. 2005. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: a review. *Pedobiologia.* 49(6):637- 644. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.06.003>

- Carpa R. 2011. Enzymological research on soils from different environments. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*; [consultado el 5 de sept. de 2020]. 16(1):44-48. [https://www.researchgate.net/publication/288821345\\_Enzymological\\_research\\_on\\_soils\\_from\\_different\\_environments](https://www.researchgate.net/publication/288821345_Enzymological_research_on_soils_from_different_environments)
- Casierra F, Aguilar O. 2007. Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*; [consultado el 14 de sep. de 2020]. 1(2):246-257. [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias\\_hortícolas/article/view/8701/7243](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/8701/7243)
- CCE, Cornell University Cooperative Extension. 2007. Cation Exchange Capacity. Nueva York:CCE; [consultado el 15 de sep. de 2020]. <http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet22.pdf>
- Das S, Jeong S, Das S, Kim P. 2017. Composted cattle manure increases microbial activity and soil fertility more than composted swine manure in a submerged rice paddy. *Front. Microbiol.* 8:1702. doi: 10.3389/fmicb.2017.01702
- Day M, Shaw K. 2001. Biological, chemical, and physical processes of composting. *Environmental Science.* 1:17-50. doi: 10.1201/9781420026221.ch2
- De Bertoldi M, Vallini G, Pera A. 1983. The biology of composting: a review. *Waste Manag Res.* 1(2):157–176. doi: [https://doi.org/10.1016/0734-242X\(83\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0734-242X(83)90055-1)
- DeLuca T, DeLuca D. 1997. Composting for feedlot manure management and soil quality. *J. Prod. Agric.* 10(2):235-241. doi: 10.2134/jpa1997.0235
- Deportes I, Benoit-Guyod J, Zmirou D. 1995. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review. *Sci. Total Environ.* 172(2-3):197–222. doi: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04808-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04808-1)
- Díaz L, Savage G. 2007. Chapter 4 Factors that affect the process. *Waste Management Series.* 8:49-65. doi: [https://doi.org/10.1016/S1478-7482\(07\)80007-8](https://doi.org/10.1016/S1478-7482(07)80007-8)
- Doyle M, Erickson M. 2006. Reducing the carriage of foodborne pathogens in livestock and poultry. *Poultry Sci.* 85(6):960-973. doi: <https://doi.org/10.1093/ps/85.6.960>
- El Kader N, Robin P, Paillat J, Leterme P. 2007. Turning, compacting and the addition of wáterwater as factors affecting gaseous emissions in farm manure composting. *Bioresour. Technol.* 98(207): 2619-2628. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.035>
- Erickson M, Liao J, Ma L, Jiang X, Doyle M. 2009a. Pathogen inactivation in cow manure compost. *Compost Sci. Util.* 17(4):229-236. doi: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2009.10702428>
- Erickson M, Liao J, Ma L, Jiang X, Doyle M. 2009b. Inactivation of *Salmonella* spp. in cow manure composts formulated to different initial C:N ratios. *Bioresour. Technol.* 100(23):1014—1020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.083>
- Erickson M, Doyle P. 2012. Plant food safety issues: linking production agriculture with One Health. In: Institute of Medicine (US); [consultado el 18 de ago. de 2020]. 140-175. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK114507/>
- Erickson M, Liao J, Jiang X, Doyle M. 2014. Inactivation of pathogens during aerobic composting of fresh and aged dairy manure and different carbon amendments. *J. Food Prot.*

77(11):1911-1918. doi: <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-194> 10.4315/0362-028X.JFP-14-194

Erickson M, Smith C, Jiang X, Flitcroft, I, Doyle M. 2015. Manure source and age affect survival of zoonotic pathogens during aerobic composting at sublethal temperatures. *J. Food Prot.* 78(2): 302-10. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-14-288.

[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2009. Glosario de agricultura orgánica. Roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA; [consultado el 13 de jul. de 2020]. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/organicag/files/Glossary\\_on\\_Organic\\_Agriculture.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/organicag/files/Glossary_on_Organic_Agriculture.pdf)

[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. Best Practice Guideline for Agriculture and Value Chains. Bonn: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; [consultado el 15 de jun. de 2020] <http://www.fao.org/3/a-ax270e.pdf>

[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2014. ¿Qué beneficios ambientales produce la agricultura orgánica?. Roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA; [consultado el 13 de jul. de 2020]. <http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq6/es/#:~:text=En%20la%20agricultura%20org%C3%A1nica%20son,del%20suelo%20%20mejoran%20la%20formaci%C3%B3n>

[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020. Propiedades químicas. Roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA; [consultado el 30 de sep. de 2020]. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

Fornes F, Mendoza D, Garcia R, Abad M, Belda R. 2012. Composting versus vermicomposting: a comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bioresour. Technol.* 118:296–305. doi: 10.1016/j.biortech.2012.05.028

Gaind S, Singh Y. 2012. Soil organic matter benefits from compost and biofertilizers. New Delhi: Indian Agriculture Research Institute; [consultado el 19 de sep. de 2020]. [https://www.researchgate.net/publication/277005273\\_Soil\\_organic\\_matter\\_benefits\\_from\\_compost\\_and\\_biofertilizers](https://www.researchgate.net/publication/277005273_Soil_organic_matter_benefits_from_compost_and_biofertilizers)

Gao G, Chang C. 1996. Changes in CEC and particle size distribution of soils associated with long-term annual applications of cattle feedlot manure. *Soil Science.* 161(2):115-120. doi: 10.1097/00010694-199602000-00006

Gil M, Carballo M, Calvo L. 2008. Fertilization of maize with compost from cattle manure supplemented with additional mineral nutrients. *Waste Management.* 28(8):1432-1440. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.05.009>

Golueke C. 1977. Biological reclamation of solid wastes. 9ª ed. Pennsylvania, USA; [consultado el 26 de agosto de 2020]. <https://www.osti.gov/biblio/5740536-biological-reclamation-solid-wastes>

- Guo R, Li G, Jiang T, Schuchardt F, Chen T, Zhao Y, Shen Y. 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresour. Technol.* 112:171-178. doi: 10.1016/j.biortech.2012.02.099
- Hao X, Chang C, Larney F, Travis G. 2001. Greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting. *J. Environ. Qual.* 31(2):700. doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2001.302376x>
- Hao X, Larney F, Chang C, Travis G, Nichol C, Bremer E. 2005. The effect of phosphogypsum on greenhouse gas emissions during cattle manure composting. *J. Environ. Qual.* 34(3):774–781. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0388>
- Haynes R, Zhou Y. 2016. Comparison of the chemical, physical and microbial properties of composts produced by conventional composting or vermicomposting using the same feedstocks. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23:10763-10772. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6197-0>
- Hazelton P, Murphy B. 2007. *Interpreting soil test results, what do all the numbers mean?*. 2nd ed. Australia: CSIRO Publishing. 169p. ISBN: 978 0 64309 225 9.
- He Z, Alva A, Calvert D, Li Y, Stoffella P, Banks D. 2000. Nutrient availability and changes in microbial biomass of organic amendments during field incubation. *Compost Sci. & Utilization.* 8(4):293-302. doi: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2000.10702002>
- Helgason B, Larney F, Janzen H. 2005. Estimating carbon retention in soils amended with composted beef cattle manure. *Can. J. Soil Sci.* 85(1):39-46. <https://doi.org/10.4141/S04-049>
- Insam H, Bertoldi M. 2007. Chapter 3 microbiology of the composting process. *Compost science and technology.* 8: 25-48. doi: [https://doi.org/10.1016/S1478-7482\(07\)80006-6](https://doi.org/10.1016/S1478-7482(07)80006-6)
- Jhorar B, Phogat V, Malik E. 1991. Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. *Arid Soil Rest. Rehabil.* 5(4): 297-306. doi: 10.1080/15324989109381289
- Josa R, Ginovart M, Sole A. 2010. Effect of two tillage techniques on soil macroporosity in sub-humid environment. *Inter. Agrophysics*; [consultado el 14 de sep. de 2020]. 24:139-148. [https://www.researchgate.net/publication/49241759\\_Effects\\_of\\_two\\_tillage\\_techniques\\_on\\_soil\\_macroporosity\\_in\\_sub-humid\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/49241759_Effects_of_two_tillage_techniques_on_soil_macroporosity_in_sub-humid_environment)
- Kamil E, Keener H, Elwell D, Michel F. 2004. Effects of four aeration strategies on the composting process. Part I - Experimental Studies. *Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers.* 47(5):1697-1708. doi: 10.13031/2013.17612
- Klausner S, Kanneganti V, Bouldin D. 1994. An approach for estimating a decay series for organic nitrogen in animal manure. *Agronomy Journal.* 86(5):897-903. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600050026x>
- Lemunier M, Francou C, Rousseaux S, Houot S, Cantigny P, Piveteau P, Guzzo J. 2005. Long-term survival of pathogenic and sanitation indicator bacteria in experimental biowaste composts. *Appl. Environ. Microbiol.* 71(10):5779-5786. doi: 10.1128/AEM.71.10.5779-5786.2005
- Li F, Chen L, Zhang J, Yin J, Huang S. 2017. Bacterial community structure after long-term organic and inorganic fertilization reveals important associations between soil nutrients and specific

- taxa involved in nutrient transformations. *Front. Microbiol.* 8:187. doi: 10.3389/fmicb.2017.00187
- Li X, Zhang R, Pang Y. 2008. Characteristics of dairy manure composting with rice straw. *Bioresour. Technol.* 99(2):359-367. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.009>
- López S, Serrato R, Castelán O, Avilés F. 2018. Comparación entre los métodos de ventilación en la composición química de compost de estiércoles pecuarios. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34(2):263-271. doi: <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.07>
- Lovley D, Klig M. 1983. Sulfate reducers can outcompete methanogens at freshwater sulfate concentration. *Appl. Environ. Microbiol.* 45(1):187-192. doi: 10.1128/aem.45.1.187-192.1983
- Lung, A, Lin C, Kim J, Marshall M, Nordstedt R, Thompson N, Wei C. 2001. Destruction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enteritidis* in cow manure composting. *J. Food Protect.* 64(9): 1309–1314. doi: 10.4315/0362-028x-64.9.1309
- Magdich S, Rigane H, Medhioub K, Rebai A, Ammar E. 2018. Effects of compost and manure application rate on the soil physico-chemical layers properties and plant productivity. *Waste Biomass Valor.* 11:1883-1894. doi: 10.1007/s12649-018-0543-z
- Martins O, Dewes T. 1992. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. *Bioresour. Technol.* 42(2): 103–111. doi: 10.1016/0960-8524(92)90068-9
- Miller J, Beasley B, Drury C, Larney F. 2016. Influence of log-term application of composted or stockpiled feedlot manure with straw or wood chips on soil cation exchange capacity. *Compost Science and Utilization.* 24(1):54-60. doi: 10.1080/1065657X.2015.1055009
- Montanarella L, Pennock D, McKenzie N, Alavi Panah SK. 2015. *Estado Mundial del Recurso Suelo.* 1ª ed. Roma: Italia. FAO. ISBN:978-92-5-308960-4
- N'Dayegamiye A, Côté D. 1989. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. *Can. J. Soil Sci.* 69(1):39-47. doi: <https://doi.org/10.4141/cjss89-005>
- Nannipieri P, Giagnoni L, Renella G, Puglisi E, Ceccanti B, Masciandaro G, Fornasier F, Moscatelli M, Marinari S. 2012. Soil enzymology: classical and molecular approaches. *Biol. Fertil. Soils.* 48:743–762. doi: 10.1007/s00374-012-0723-0
- Paino V, Peillex J, Montlahuc O, Cambon A, Bianchini J. 1996. Municipal tropical compost: Effect on crops and soil properties. *Compost Science and Utilization.* 4(2):62–69. doi: <https://doi.org/10.1080/1065657X.1996.10701831>
- Parkinson R, Gibbs P, Burchett S, Misselbrook T. 2004. Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresour. Technol.* 91(2):171-178. doi: 10.1016/S0960-8524(03)00174-3
- Pell A. 1997. Manure and microbes: public and animal health problem. *J. Dairy Sci.* 80:2673-2681. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76227-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76227-1)
- Pérez J, Escolástico C, Masaguer A, Vargas C, Moliner A. 2014. Soluble organic carbon and pH of organic amendments affect metal mobility and chemical speciation in mine soils. *Chemosphere.* 103:164-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.055>

- Petersen S, Lind A, Sommer S. 1998. Nitrogen and organic matter loss during storage of cattle and pig manure. *Journal of Agricultural Science*. 130(1):69–79. doi: <https://doi.org/10.1017/S002185969700508X>
- Pettygrove G, Heinrich A, Eagle A. 2010. Dairy Manure Nutrient Content and Forms. Manure Technical Guide Series. University of California Cooperative Extension. University of California; [consultado el 03 de ago. de 2020]. <http://manuremanagement.ucdavis.edu/files/134369.pdf>
- Ramos Agüero D, Terry Alfonso E. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales* [consultado el 16 de jun. de 2020]; 35(4):52-59. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193232493007>
- Raviv M. 1998. Horticultural uses of composted material. *Acta Hortic*. 469(23):225-234. doi: 10.17660/ActaHortic.1998.469.23
- Rayment G, Higginson F. 1992. Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods. 1ª ed. Australia: Inkata Press. 330p. ISBN: 0909605688 9780909605681
- Román P, Martínez M, Pantoja A. 2013. Manual de compostaje del agricultor. 1 ed. América Latina y el Caribe: FA. E-ISBN: 978-92-5-307845-5
- Rynk R, Kamp M, Willson G, Singley M, Richard T, Kolega J, Gouin F, Laliberty L, Kay D, Murphy D, Hoitink H, Brinton W. 1992. On-farm composting handbook. 1a ed. NY: Northeast Regional Agricultural Engineering Service; [consultado el 16 de jun. de 2020]. [https://campus.extension.org/pluginfile.php/48384/course/section/7167/NRAES%20Farm Compost%20manual%201992.pdf](https://campus.extension.org/pluginfile.php/48384/course/section/7167/NRAES%20Farm%20Compost%20manual%201992.pdf)
- Sánchez Monedero M, Serramiá N, Civantos C, Fernández Hernández A, Roig A. 2010. Greenhouse gas emissions during composting of two-phase olive mill wastes with different agroindustrial by-products. *Chemosphere*. 81(1):18-25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.07.022>
- Soumare´ M, Tack F, Verloo M. 2003. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresour. Technol*. 86(1): 15–20. doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00133-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00133-5)
- Sun R, Zhang X, Guo X, Wang D, Chu H. 2015. Bacterial diversity in soils subjected to long-term chemical fertilization can be more stably maintained with the addition of livestock manure than wheat straw. *Soil Biol. Biochem*. 88: 9–18. doi: 10.1016/j.soilbio.2015.05.007
- Sundberg C, Smårs S, Jönsson H. 2004. Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bioresour. Technol*. 95(2):145-150. doi: 10.1016/j.biortech.2004.01.016
- Thomsen I, Olesen J. 2000. C and N mineralization of composted and anaerobically stored ruminant manure in different textured soils. *Journal of Production Agriculture*. 135(2):151-159. doi: <https://doi.org/10.1017/S0021859699008096>
- Van J, Reeves J, Meisinger J. 2000. Nitrogen and carbon mineralization of potential manure components. *J. Environ. Qual*. 29(5):1669-1667. doi: 10.2134/jeq2000.00472425002900050039x

- Wright C, Coleman D. 2000. Cross-site comparison of soil microbial biomass, soil nutrient status, and nematode trophic groups. *Pedobiologia*. 44(1):2-23. doi: [https://doi.org/10.1078/S0031-4056\(04\)70024-4](https://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70024-4)
- Xiujin L, Zhang R, Pang Y. 2008. Characteristics of dairy manure composting with rice straw. *Bioresour. Technol.* 99(2):359–367. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.009>
- Zhang B, Horn R, Hallet P. 2005. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69(3):864-871. doi: 10.2136/sssaj2003.0256
- Zhang M, Heaney D, Henriquez B, Solberg E, Bittner E. 2006. A Four-year study on influence of biosolids/MSW Co-compost application in less productive soils In Alberta: Nutrient Dynamics. *Compost Science and Utilization*. 14(1):68–80. doi: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2006.10702265>
- Zhang Q, Zhou W, Liang G, Wang X, Sun J, He P, Li L. 2015. Effects of different organic manures on the biochemical and microbial characteristics of albic paddy soil in a short-term experiment. *PLoS ONE*. 10(4): e0124096. doi: 10.1371/journal.pone.0124096
- Zhang X, Zhang R, Gao J, Wang X, Fan F, Ma X, Yin H, Zhang C, Feng K, Deng Y. 2017. Thirty-one years of rice-rice-green manure rotations shape the rhizosphere microbial community and enrich beneficial bacteria. *Soil Biol. Biochem.* 104:208–217. doi: 10.1016/j.soilbio.2016.10.023ref