

Dinámica del nitrógeno y el carbón orgánico en el proceso de descomposición de una composta con estiércol de bovino y residuos de cosecha

Dynamics of nitrogen and organic carbon in the process of decomposition of a compost with bovine manure and harvest residues

Jesús Arcadio Muñoz-Villalobos^{1*}, Erika Nava-Reyna¹, Julian Cerano-Paredes¹, Vicenta Constante-García¹, Marco Antonio Inzunza-Ibarra¹, Hilario Macías-Rodríguez¹

¹ Centro Nacional de Investigación en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas Pecuarias (CENID-RASPA-INIFAP)

*Autor para correspondencia: villalobos.arcadio@inifap.gob.mx

RESUMEN

El carbono es el elemento más abundante en la naturaleza, y junto con el nitrógeno son parte de la composición de los seres vivos, de tal forma que estos son elementos químicos muy importantes para la vida en este planeta. En el proceso de descomposición de los materiales orgánicos, el carbono es la fuente de energía para los microorganismos, mientras que el nitrógeno es asimilado para la síntesis, crecimiento y desarrollo de los mismos. Estos dos componentes se encuentran en el suelo y en la atmósfera. En la atmósfera son componentes del aire, en proporciones de un 79% de nitrógeno y menos del 1% de carbono. Actualmente se hacen trabajos de investigación con el objetivo de conocer el mejor uso de las compostas en la agricultura, además de definir su mayor potencial de aplicación en una dosis óptima para la producción de cultivos. El objetivo general que se planteó con este trabajo fue medir la dinámica del nitrógeno y el carbón orgánico en compostas elaboradas con mezclas de residuos orgánicos. Los tratamientos que se evaluaron se hicieron con estiércol de bovino y un material de base (rastrero de maíz). En este caso, los tratamientos se mezclaron en cuatro proporciones de los materiales utilizados, para lo cual se hicieron combinaciones de estiércol (E) y el rastrero de maíz (R), con combinaciones de los porcentajes 80-20, 60-40, 40-60, 20-80 y un tratamiento del 100% de estiércol. Las compostas resultantes de las mezclas con el estiércol y rastrero de maíz, mostraron diferencias estadísticas en relación a la concentración de nitrógeno y carbono en cada tratamiento. Los resultados muestran que existen diferencias significativas entre tratamientos y que la dinámica del nitrógeno en el proceso del composteo es un incremento sostenido hasta la terminación de la composta, como en el caso del tratamiento de 40% de E más 60% de R, el nitrógeno se incrementó en un 0.58%, sin embargo, el carbón orgánico se redujo desde el inicio hasta en un 11.0% para el mismo tratamiento. Las variaciones de las proporciones entre las compostas orgánicas obtenidas, fueron significativas, lo cual demuestra que esta relación entre los dos elementos, representan un indicador que define la calidad de una composta terminada.

Palabras clave: abonos orgánicos, descomposición, residuos orgánicos.

ABSTRACT

Carbon is the most abundant element in nature, and together with nitrogen they are part of the composition of living beings, in such a way that these are very important chemical elements for life on this planet. In the process of decomposition of organic materials, carbon is the source of energy for microorganisms, while nitrogen is assimilated for their synthesis, growth and development. These two components are also found in the soil and in the atmosphere. In the atmosphere they are components of air, in proportions of 79% nitrogen and less than 1% carbon. Research work is currently being carried out with the aim of knowing the best use in agriculture, in addition to defining its greatest application potential in an optimal dose for crop production. The general objective that was raised with this work was to measure the dynamics of nitrogen and organic carbon



in compost made with mixtures of organic waste. The treatments that were evaluated were made with bovine manure and a base material (corn stubble). In this case, the treatments were mixed in four proportions of the materials used, for which combinations of manure (E) and corn stubble (R) were made, with combinations of the percentages 80-20, 60-40, 40 -60, 20-80 and 100% manure treatment. Composts resulting from mixtures with manure and corn stubble showed statistical differences in relation to the concentration of nitrogen and carbon in each treatment. The results show that there are significant differences between treatments and that the dynamics of nitrogen in the composting process is a sustained increase until the completion of the compost, as in the case of the treatment of 40% E plus 60% R than nitrogen. increased by 0.58%, however, organic carbon was reduced from the beginning up to 11.0% for the same treatment. The variations in the proportions between the organic compost obtained were significant, which shows that this relationship between the two elements represents an indicator that defines the quality of a finished compost.

Keywords: organic fertilizers, decomposition, organic waste.

INTRODUCCIÓN

En una composta aeróbica, las bacterias, hongos y otros microorganismos que llevan a cabo el proceso de descomposición de los materiales orgánicos, consiguen su energía de fuentes de carbón, tales como residuos de cosecha, rastrojos, aserrín, etc. (Kim et al. 2000). El nitrógeno que es rescatado por los microorganismos lo utilizan para el crecimiento de la población, pero el exceso de nitrógeno generará amoníaco, nitratos, nitritos en el proceso de nitrificación, lo cual significa que no todo es aprovechado y pasa a formar parte del suelo y de su atmósfera (Dalzell, et al. 1991).

Cada material orgánico tiene ciertos valores de carbono y nitrógeno en su estructura, los cuales son importantes en la definición de la calidad de una composta. Los valores de referencia en estos materiales varía entre 0.3% a 3.5% para el nitrógeno y de 8% a 50% para el carbono (Roman, et al., 2013). El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes en un compost. En el análisis de una muestra de suelo, vegetal o algún material orgánico, se mide el nitrógeno total (NT), el cual representa el valor que incluye el nitrógeno mineral en las diferentes formas (amonio, nitrato y nitrito) y el orgánicas cuando está en la estructura de algunos compuestos (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos orgánicos).

En resumen, los elementos químicos ya separados y transformados en los nutrientes orgánicos se convierten en formas inorgánicas (minerales) disponibles para las plantas, esta conversión se conoce como mineralización (Steubing et al., 2001). Estos mecanismos dependen de factores como el cultivo del que se trate, los métodos de labranza, el tipo de fertilización, el clima, entre otros; sin embargo, las comunidades microbianas del suelo representan el actor más importante, ya que a partir de su metabolismo se generan enzimas y biomoléculas directamente relacionadas con la degradación y estabilización de los compuestos de carbono y nitrógeno en el suelo.

Con la finalidad de estudiar la mineralización de abonos orgánicos que componen una composta, es necesario medir la velocidad de la descomposición de la materia orgánica a través de una simulación de los procesos que degradan estos materiales. El composteo es una técnica de transformación de residuos orgánicos que permite definir y/o determinar la velocidad de la mineralización, ya que, los abonos orgánicos presentan distintas etapas de descomposición debido a que cada uno tiene un proceso biológico a través del cual ocurre la transformación bioquímica de las moléculas orgánicas en moléculas simples e inorgánicas (Juma, 1998; Roman, et al., 2013).

El nitrógeno es un elemento nutritivo de importancia con efecto fertilizante suministrado a través de las compostas. La variabilidad de sus concentraciones al final del composteo depende de la calidad de los materiales con que se hace la mezcla inicial de la composta y su relación carbono nitrógeno (C/N) para que ocurra una descomposición bacteriana óptima (Riera et al., 2014; Rodríguez et al., 2017). El nitrógeno que es rescatado por los microorganismos lo utilizan para el crecimiento de la población, pero el exceso de nitrógeno generará amoníaco, nitratos y nitritos en el proceso de nitrificación (Dalzell, et al. 1991; Kim et al. 2002).

Los microorganismos que transforman o descomponen los materiales orgánicos en la composta, buscan carbono (C) y nitrógeno (N) como elementos importantes para su subsistencia. Estos forman parte de su estructura celular, además de que el C sirve como fuente de energía y es la base para construir más del 50% del peso de los microorganismos, mientras que el N participa en la formación de proteínas, aminoácidos necesarios para el desarrollo y multiplicación celular. Hay evidencias de que la pérdida de nitrógeno, como amoníaco de las pilas de compostaje, se produce cuando existen relaciones de carbono/nitrógeno (C/N) bajas en la mezcla inicial. Es deseable que esta relación esté en el rango de 20:1 a 40:1. Por lo tanto, el método más sencillo para ajustar la relación C:N se puede hacer una mezcla de diferentes materiales con contenidos altos y bajos de nitrógeno (Haroon et al., 2018; Chen et al., 2020).

Durante la descomposición de la materia orgánica una parte del carbono es devuelto a la atmósfera en forma de CO₂, mientras que otra se transforma en otros compuestos más sencillos o se almacena en las propias estructuras microbianas (Guerrero-Ortiz et al., 2012; Anwar et al., 2017). La evolución del CO₂ es un parámetro ligado al manejo de materiales

orgánicos el cual representa una medición integral de la respiración del suelo, conocida como respiración edáfica basal (mineralización del carbono a partir de diferentes compuestos del carbono de suelo y desechos), es decir, representa la estimación de la actividad microbiana (García y Rivero, 2008).

Existe una comunidad de microorganismos que participa en los procesos de descomposición y mineralización de materiales orgánicos entre los que se encuentran principalmente hongos y bacterias los cuales participan en las primeras etapas de la degradación de un material orgánico (Huxman et al., 2004; Osler y Sommerkorn, 2007). La descomposición depende del clima, de la composición química de los restos vegetales y de los microorganismos. La fragmentación y mineralización en diferentes ambientes ocurre de manera muy variada, por ejemplo, en ambientes de altas temperaturas el proceso puede ocurrir en forma más rápida que en ambientes fríos y templados. Los elementos como el viento, el agua, el calor y luz participan en la fragmentación del tejido de los restos orgánicos de plantas (Whitford, 2002). La descomposición continúa con la despolimerización de compuestos orgánicos nitrogenados, los cuales inicialmente no son biodisponibles por ser demasiado grandes, sin embargo, parte de ellos son separados por enzimas extracelulares a monómeros como aminoácidos, amino-azúcares y ácidos nucleicos (Hodge et al., 2000; Chapin et al. 2002; Govindarajulu et al., 2005).

El INIFAP ha realizado diversas investigaciones sobre el empleo de distintas enmiendas orgánicas vegetales, animales o urbanas sobre el desarrollo de los cultivos. En 2010, Figueroa-Viramontes et al., valoraron el impacto del uso de estiércol bovino lechero, crudo y compostado, sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero, concluyendo que es posible sustituir parcial o totalmente el fertilizante químico por

estiércol o compost obteniendo un rendimiento similar o mayor que con fertilizantes químicos.

El desarrollo del trabajo fue un ensayo de campo con el objetivo general de medir la dinámica del nitrógeno y el carbón orgánico en compostas elaboradas con mezclas de residuos orgánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados para hacer las compostas se analizaron en el laboratorio donde se determinaron las características químicas como carbón orgánico (CO), nitrógeno total (NT), calcio (Ca), magnesio, (Mg), fósforo (P), potasio (K) y la relación carbono nitrógeno (C/N), antes el proceso de iniciar el proceso de composteo. Con los valores de NT y CO se calculó la relación relación carbono (C) y nitrógeno (N), con el objetivo de promover una descomposición óptima, además de propiciar que la mezcla tuviera una aireación adecuada y una humedad equilibrada con la proporción de porosidad en la pila durante las primeras fases del proceso.

Se hicieron mezclas de estiércol de bovino lechero y rastrojo de maíz, para generar los siguientes tratamientos: (T1) 100% Estiércol, 0 % Rastrojo; (T2) 80% Estiércol, 20% Rastrojo; (T3) 60% Estiércol, 40% Rastrojo; (T4) 40% Estiércol, 60% Rastrojo; (T5) 20% Estiércol, 80% Rastrojo. Se evaluó la evolución de la descomposición en cuatro tiempos del proceso de composteo. El compostaje del estiércol se evaluó en pilas de aproximadamente 200 kilogramos (composteo aeróbico).

El procedimiento que se siguió fue el de colocar en una capa una capa de rastrojo de maíz, más una capa de estiércol de vaca. Esta mezcla se hizo en una proporción 1:1 en base a volumen. En seguida estas capas se mezclaron hasta formar un montículo (conocido como "pila de composteo"), operación que normalmente se hace sobre un área plana de suelo desnudo, cubierto con plástico o en una placa de cemento. Cuando se tiene formada la pila se cubre con un

plástico, con la finalidad de evitar la liberación de malos olores, la procreación de insectos y evita que absorba exceso de humedad o pierda agua por evaporación directa, y mantener las temperaturas (Nieto-Garibay, et al., 2002). La mezcla se humedeció hasta que la humedad alcanzó niveles óptimos entre el 50% y 60%. Cuando esta mezcla alcanzó una humedad uniforme se observó un color oscuro en toda la pila de material. Esto se comprobó al tomar con la mano un puño del sustrato y apretarlo hasta que el agua comience a escurrir ligeramente entre los dedos de la mano. En ese momento se dejó de agregar agua ya que el sustrato alcanzó un porcentaje de humedad con la que los microorganismos pueden trabajar en forma aeróbica.

Los pasos siguientes, están relacionados con el tiempo de composteo lo cual ocurrió entre los 45 y 60 días (de 1 a 2 meses en el verano), dependiendo del origen de las enmiendas orgánicas y de la temperatura del ambiente (la riqueza en nitrógeno del estiércol). Se dice que la composta está madura cuando el sustrato se observe homogéneo, café oscuro y desmenuzado y tiene un olor a tierra humedad.

Localidad

El trabajo se estableció en terrenos del Centro Nacional de Investigación en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (INIFAP; CENID-RASPA). Se establecieron pilas de las mezclas antes mencionadas para desarrollar el composteo aeróbico al aire libre sobre una superficie de terreno cubierta con una película de plástico. Las pilas se taparon con cubiertas de plástico con el objetivo de proteger las compostas del agua de lluvia y evitar que se alteraran los contenidos de humedad y afectar las temperaturas alcanzadas en su momento.

Se hizo una distribución en el terreno con un diseño de bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Se conformaron 20 pilas de 200 kg

aproximadamente, en base seca, con variaciones en la composición de acuerdo con las relaciones de la mezcla de cada uno de los materiales. Se incluyeron dos testigos (100% E y 100% R) para comparar el tiempo de respuesta en la descomposición de las enmiendas orgánicas.

Durante la operación del trabajo, se midieron las siguientes variables en las pilas que se sometieron a un control periódico:

Temperatura

Se registrarán en tres puntos de la pila utilizando un termómetro de vara, que registra la temperatura. Se sacó un promedio de la suma de los cuatro puntos muestreados. La temperatura interna de la pila corresponde a la medición en el centro de ésta.

pH

Se obtuvo a partir de muestras recolectadas en cuatro puntos de la pila, los que se mezclaron para obtener una muestra homogénea. Se agregaron 50 ml de agua destilada a 10 g de muestra, paso siguiente mezclar y dejar reposar la muestra por 10 minutos; luego de los cuales se medirá el pH con un potenciómetro.

Humedad

Se midió a partir de una muestra homogénea, obtenida de cuatro puntos diferentes de la pila, se determinará el porcentaje de humedad por el diferencial entre el contenido al momento del muestreo y después del secado a 65°C, hasta peso constante.

Patógenos

La concentración de microorganismos patógenos se determinó a partir de muestras tomadas en el centro de la pila, a través de los indicadores coliformes totales y fecales. También se midió la concentración de Salmonella y Helmintos. Los procedimientos usados en estas mediciones serán los que recomiendan las NOM y EPA

Cuando las compostas estuvieron terminadas se tomaron muestras de cada tratamiento para analizarlas en el laboratorio y determinar los contenidos de nitrógeno total (NT) y carbón total (CT) para determinar su relación carbono/nitrógeno (C/N).

Los muestreos de las compostas para analizar en el laboratorio se hicieron en cuatro tiempos (cada cuatro semanas); al inicio del composteo o tiempo cero (T0) y después cada 28 días de composteo. Se tomaron muestras en cada mezcla o tratamiento y se analizaron en el laboratorio para determinar los contenidos de nitrógeno total y carbono orgánico para hacer el cálculo de la relación C/N y así correlacionarlo con las diferentes fases en proceso de composteo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La discusión de los resultados de este estudio se hace alrededor de los valores de nitrógeno total (NT) y como se mencionó en la introducción, este valor incluye el nitrógeno mineral en las diferentes formas (amonio, nitrato y nitrito) y orgánicas cuando está en la estructura de algunos compuestos (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos orgánicos). Es posible que se puedan confundir las apreciaciones, porque hay trabajos donde se ha medido la pérdida del nitrógeno en algunas formas en proceso del composteo como es el caso del amonio en forma de amoniaco. Por eso se menciona esta precisión con el objetivo de mantener la atención en que es el NT lo que se midió en las muestras de estos tratamientos.

Se analizaron los datos obtenidos durante cuatro tiempos (cuatro muestreos en el periodo de tiempo que duró el composteo). El tratamiento con proporción 40% estiércol (T4), tuvo una mayor duración de la fase de descomposición, mientras que el tratamiento con proporción 100% estiércol (T1), alcanzó la fase de maduración en menor tiempo, pero con registros de

temperaturas más bajas dentro de la etapa termo-génica. Se observó que existen diferencias significativas en los contenidos de nitrógeno total (NT) y carbono orgánico (CO) entre los tratamientos de composteo. Se recomienda un estudio posterior con mayor cantidad de materiales para las mezclas de compostas para contar con un mayor soporte de los resultados.

Los porcentajes de nitrógeno y de carbono variaron significativamente entre los tiempos de muestreo ($P < 0.001$ y $P < 0.05$ respectivamente). Sin embargo, de acuerdo al contenido de nitrógeno total, la prueba Tukey ($P < 0.01$) agrupó las medias correspondientes a los materiales con el menor porcentaje de estiércol y rastrojo en las mezclas. En cuanto al carbono, a través de la misma prueba de Tukey ($P < 0.01$) se formaron dos grupos de medias, los cuales dependieron de un menor o mayor porcentaje de rastrojo de maíz y/o estiércol. Los resultados demuestran que las cantidades de estiércol influyen en la calidad de la composta regulando las concentraciones del nitrógeno lo que permitiría obtener compostas con porcentajes de NT entre 1.5 y 1.8% (Polprasert, 1989).

En la Tabla 1 se muestran los valores de nitrógeno total (NT) y carbono orgánico total (CO) que se obtuvieron a través de los análisis de laboratorio. Estos valores muestran que existe una relación inversamente proporcional entre los dos elementos. Si se observan los números que se registraron desde el primer muestreo (T0) hasta el último muestreo (T4) se ve la tendencia del NT incrementándose de un muestreo a otro hasta el final en todos los tratamientos formados por las mezclas y el estiércol. En el caso del CO, se aprecia una disminución del valor inicial en el T0 hasta una disminución importante hasta de un 14% en el tratamiento de la mezcla con 20% de estiércol y un 80% de rastrojo de maíz.

Tabla 1. Concentrado de datos de nitrógeno total Kjeldhal (NT) y carbono orgánico (CO) para los tratamientos de composteo con mezclas de estiércol y rastrojo de maíz.

		Nitrógeno Total				
No. Trat.	Tratamientos	T0	T1	T2	T3	T4
1	100 E + 0 R	1.31	1.46	1.53	1.70	1.77
2	80 E + 20 R	1.31	1.61	1.46	1.68	1.80
3	60 E + 40 R	1.50	1.51	1.65	1.73	1.77
4	40 E + 60 R	1.26	1.44	1.53	1.67	1.84
5	20 E + 80 R	0.92	1.16	1.24	1.41	1.50

		Carbón Orgánico				
No. Trat.	Tratamientos	T0	T1	T2	T3	T4
1	100 E + 0 R	34	30	28	26	26
2	80 E + 20 R	37	33	30	27	27
3	60 E + 40 R	37	35	32	28	29
4	40 E + 60 R	40	38	35	30	29
5	20 E + 80 R	45	41	38	32	31

*E: Estiércol; R: Rastrojo de maíz; T: Tiempo de muestreo

Las variaciones en las cantidades de los materiales de base para el composteo influyen en la dinámica de los dos elementos que se están estudiando en este trabajo (NT y CO). En la Figura 1 se observa una clara tendencia de incremento del NT en todos los tratamientos, inclusive en el tratamiento que se hizo con un menor porcentaje de estiércol (T5 con 20% de E) como fuente de nitrógeno. En este tratamiento el NT se incrementó en un 0.58% desde el contenido inicial hasta la terminación de la composta. Esta misma tendencia se observó en el tratamiento de 40% de E más 60% de R el cual mantuvo un incremento sostenido hasta de alcanzar 1.84%.

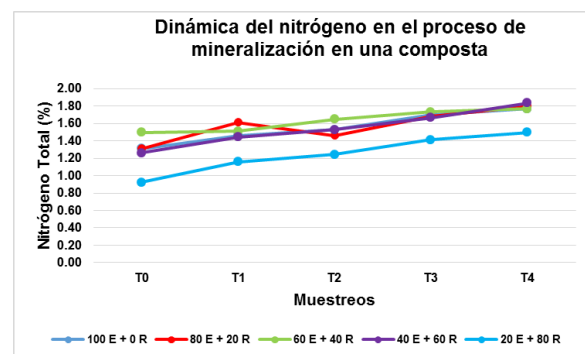


Figura 1. Dinámica del nitrógeno total durante el proceso de composteo de los tratamientos con mezclas de estiércol de bovino y rastrojo de maíz.

En la Figura 2, se observa que el carbón orgánico se reduce del valor inicial que se midió en las mezclas de composteo evaluadas en este trabajo de investigación. En el análisis sobre la dinámica del carbón orgánico en las diferentes compostas, se observó una disminución sostenida durante el proceso de composteo, y se debió primero por la mineralización y por la pérdida de carbono en forma de CO₂. El tratamiento de la mezcla con un 20% de E y un 80% de R sufrió una mayor pérdida de CO₂ llegó hasta un 14 % del valor inicial hasta el último muestreo (García, A. y C. Rivero. 2008). La disminución de materia orgánica ocurrió en todos los tratamientos, conservándose los materiales más resistentes como las ligninas, para dar origen a los compuestos húmicos (Guerrero-Ortiz *et al.*, 2012; Anwar *et al.*, 2017).

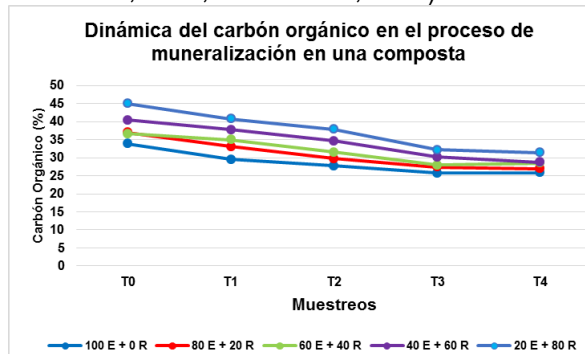


Figura 2. Dinámica del carbón orgánico durante el proceso de composteo de los tratamientos con mezclas de estiércol de bovino y rastrojo de maíz.

CONCLUSIONES

En este trabajo cuando se evaluó el nitrógeno total (NT) en las muestras de composta, se contabilizan o se incluyen todas sus formas minerales (nitrito, nitrato, amonio) y orgánicas (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos orgánicos), entonces el nitrógeno total se incrementa al finalizar la composta.

Los valores de NT y CO muestran que existe una relación inversamente proporcional entre los dos elementos. Si se observan los números que se registraron desde el primer muestreo (T0) hasta el último muestreo (T4) se ve la tendencia del NT incrementándose de un muestreo a otro hasta el final en todos los tratamientos formados por las mezclas y el estiércol. En el caso del CO, se aprecia una disminución del valor inicial en el T0 con una disminución importante hasta de un 14% en el tratamiento de la mezcla con 20% de estiércol y un 80% de rastrojo de maíz.

Los resultados demuestran que las cantidades de estiércol influyen en la calidad de la composta regulando las concentraciones del nitrógeno lo que permitiría obtener compostas con porcentajes de NT entre 1.5 y 1.8%.

LITERATURA CITADA

- Anwar Z., M. Irshad., M. Bilal., F. Hafeez., U. Irshad., and G. Owen. 2017. Changes in availability of plant nutrients during composting of cow manure with poplar leaf litter. *Compost Sci. Utilization*. 25:242–50. doi:10.1080/1065657X.2017.1300547.
- Chapin, F. S., P. A. Matson, and H. A. Mooney. 2002. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer. New York, NY, USA.
- Chen H., K. Sanjeev A., T. Liu., Y. Duan., X. Ren., Z. Zhang., A. Pandey., and A. Kumar M. 2020. Effects of microbial culture and chicken manure biochar on compost maturity and greenhouse gas emissions during chicken manure composting. *J. Hazard. Mat.* 9 p.
- Haroon B., A. Abbasi M., P. Faridullah, A. Pervez, and M. Irshad. 2018. Chemical characterization of cow manure and poultry manure after composting with Privet and Cypress residues. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 49: 2854-2866. DOI: 10.1080/00103624.2018.1546873.
- Jiang J., X. Liu, Y. Huang, and H. Huang. 2015. Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing



- nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. *Waste Manage.* 39: 78-85. DOI: [org/10.1016/j.wasman.2015.02.025](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.025).
- Dalzell, H.W., A. Biddlestone, K. Gray y K. Thurairajan. 1991. Manejo del suelo, producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. *Boletín Suelos* 56. FAO. Roma. 178 p.
- Figueroa-Viramontes, U., Cueto-Wong, J. A., Delgado, J. A., Núñez-Hernández, G., Reta-Sánchez, D. G., Quiroga-Garza, H.M., Faz-Contrera, R., y Márquez-Rojas, J. L. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*. 28(4): 361-369.
- García, A. y C. Rivero. 2008. Evaluación del carbono microbiano y la respiración basal en respuesta a la aplicación de lodo papelerero en los suelos de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 34: 215-229.
- Govindarajulu, M., P. E. Pfeffer, H. Jin, J. Abubaker, D. D. Douds, J. W. Allen, H. Bucking, P. J. Lammers, and Y. Shachar-Hill. 2005. Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Nature* 435: 819-823.
- Guerrero-Ortiz, P. L.; Quintero-Lizaola R; Espinoza-Hernández V; Benedicto-Valdés G. S; Sánchez-Colín M. de J. 2012. Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de lupinus. *Terra Latinoamericana*. Vol. 30. Núm. 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. pp. 355-362
- Huxman, T.E., Snyder, K.A., Tissue, D., Leffler, A.J., Ogle, K., Pockman, W.T., Sandquist, D.R., Potts, D.L., Schwinning, S., 2004. Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. *Oecologia*. 141, 254±268.
- Hodge, A., D. Robinson, and A. Fitter. 2000. Are microorganisms more effective than plants at competing for nitrogen?. *Trends Plant Sci.* 5: 304-308.
- Juma, N. G. 1998. The pedosphere and its dynamics: A systems approach to soil science. Quality Color. Press Inc. Edmonton, Canada.
- Kim, K.H.; Lee, S.S.; Jeon, B.T.; and Kang, C.W. 2000. Effects of the pattern of energy supply on the efficiency of Nitrogen utilization for microbial protein synthesis in the non-lactating cows consuming grass silage. *Asia Australasian Journal of Animal Science*. 13: 962-966.
- Osler, G. H. R. and M. Sommerkorn. 2007. Toward a complete soil C and N cycle: incorporating the soil fauna. *Ecology* 88: 1611-1621.
- Polprasert, C. 1989. Organic wastes Recycling. Environmental Engineering Division Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand. John Wiley & Sons. 357 pp.
- Riera N., I., V. Della T., P. Rizzo F., Butti M., F. Bressan M., C. Zarate N., D. Weigandt. y C. Crespo. 2014. Evaluación del proceso de compostaje de dos mezclas de residuos avícolas. *Rev. Fac. Cienc. Agrarias* 46: 195 - 203.