

Inoculación de microorganismos celulolíticos nativos en el compostaje de residuos orgánicos fibrosos

Autor: Ing. Ángel Monserrate Guzmán Cedeño; Ing. Diego Efrén Zambrano Pazmiño; Ing. Octavio Alejandro Zambrano Pazmiño

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de microorganismos celulolíticos nativos (bacteria: AO-19 y hongo: AO-8), obtenidos en el laboratorio de biología molecular de la ESPAM MFL a partir de muestras de suelo de una área orgánica del campus politécnico, que fueron usados como inóculos en el compostaje de residuos orgánicos fibrosos establecidos en cuatro variantes de mezcla: T1 (Maní + pollinaza + inóculo); T2 (Cáscara de maní + pollinaza); T3 (Cáscara de maní + inóculo); T4 (Cáscara de maní); la relación C/N inicial fue de 35.18 para la cáscara de maní y 20.37 en pollinaza. Las variantes T1 y T3 recibieron 10 L de inóculo a una concentración de 10^8 para bacteria y 10^4 de hongos por cada 100 Kg de residuo orgánico a compostar, estos se asperjaron en las capas sucesivas que conformaron la pila de compostaje, de acuerdo al método Indore. Durante el proceso se evaluaron grupos de variables ambientales, bromatológicas, fisicoquímicas, microbiológicas y de fitotoxicidad. Se encontró que los indicadores de estabilidad y madurez del compost sobresalen en la variante T1 lo que permitió ubicarlo en clase A según la norma chilena 2880, sobre todo en lo relacionado a los parámetros de pH, C/N, MO, higienización y fitotoxicidad.

Palabras claves: compost, inóculo, Celulasa, estabilidad y madurez

INTRODUCCIÓN

La población en el planeta crece exponencialmente y por ende la necesidad de producir alimentos. El reto es mayor si se considera la disminución del área cultivable en el mundo y la degradación de los recursos agro productivos. Esta realidad conduce a la búsqueda de alternativas tecnológicas, que sean consecuente con la naturaleza, accesibles desde el punto de vista técnico y económico, pero además que sea aceptada social y culturalmente.

Bajo este paradigma resurgieron los modelos de agricultura ecológica, orgánica o biológica, en todas ellas se emplean los abonos orgánicos que son resultante de los procesos del reciclaje de los residuos orgánicos, en esta recirculación de biomasa juega un rol protagónico los microorganismos heterótrofos que están

presente en todos los hábitat terrestre, aunque con mayor variabilidad y dinámica en las zonas tropicales que son ricas en microclimas más cálidos y húmedos.

Los residuos orgánicos producto de la actividad agropecuaria y agroindustrial, en la mayoría de los casos, contamina el entorno donde son depositados, generando mal olor, incremento de insectos transmisores de enfermedades, reservorio de agentes patógenos, entre otros. La creciente generación de estos materiales orgánicos de desecho hace necesario su tratamiento (Carpio *et al.* 2001).

El compostaje es un método eficiente en la eliminación de estos residuos, ya que permite, además de sanear, aprovechar el producto final para fines agrícolas (Boulter *et al.* 2000). Este proceso tiene una duración variable, dado por la calidad de los residuos, el tamaño de partícula, la disposición de la pila, la aireación, la humedad y la población biológicamente activa (Cariello *et al.* 2007).

Según Cuervo, (2010) en el compostaje de los residuos orgánicos influyen todos los parámetros que actúan sobre la actividad de la vida microbiana: naturaleza del sustrato, humedad, temperatura, nutrientes, relación C/N, pH, y los que están en relación con el proceso mismo de compostaje.

Para Cuervo, (2010) durante el compostaje, la materia orgánica, es biotransformada en condiciones aeróbicas, mediante reacciones de óxido-reducción catalizadas por enzimas microbianas. En este proceso, los microorganismos utilizan la materia orgánica como nutriente para su desarrollo, produciendo su descomposición (mineralización), hasta moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas, siendo el proceso de humificación el paso donde se crean nuevas macromoléculas, a partir de moléculas sencillas, formadas en la descomposición. El proceso en su conjunto, produce fundamentalmente calor, CO₂, H₂O y compuestos húmicos (Boulter *et al.* 2000; Cuervo, 2010).

El período de transformación de los residuos orgánicos para la obtención del producto terminado o compost es de aproximadamente 170 días (Boulter *et al.* 2000). Sin embargo se han utilizado inóculos obtenidos a partir de monocultivos de microorganismos extraídos de las pilas en compostaje, logrando un agregado significativo en el número de microorganismos para producir una bioaumentación y la reducción del tiempo de formación y maduración del compost (De Carlo *et al.* 2001).

Al respecto, Cariello *et al.* (2007) inocularon pilas de residuos orgánicos urbanos con una mezcla de microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje. Las bacterias que emplearon se identificaron como *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* y el hongo *Aspergillus fumigatus*. El inóculo fue preparado a una concentración de 1×10^7 UFC/mL para cada microorganismo. Se aplicó por aspersión a 2 L/m³ de material a compostar. Evaluaron temperatura, humedad, pH, relación C:N, materia orgánica, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico. Los resultados mostraron que las pilas inoculadas alcanzaron las características de estabilidad y madurez cuatro semanas antes de la pila control, o sea sin inoculación. Estos

resultados indicaron que el inóculo fue útil para acelerar el proceso de compostaje en residuos urbanos.

No obstante, estos residuos poseen bajos niveles de material fibroso de difícil transformación, por ello los inóculos utilizados no tienen que ser seleccionados en función de esa característica, que si se precisa para la descomposición de residuos sólidos de origen agropecuario.

La actividad microbiana controlada es la base de muchos procesos industriales. Estos procesos microbianos y su dinámica deben ser cuidadosamente estudiados para optimizar en su aplicación la eficiencia económica, las transformaciones bioquímicas, así como atenuar los impactos ambientales. Dichos procesos microbianos, en su dinámica, están condicionados por la relación actividad microbiana y las condiciones ambientales donde tienen lugar (Cuervo, 2010).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia de un inóculo microbiano nativo, conformado de una cepa de bacteria y hongo celulolíticos, en el compostaje de residuos orgánicos fibrosos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Conformación de las pilas de compostaje

El proceso de compostaje se llevó a cabo en la planta de tratamiento de desechos sólidos de la carrera de Medio Ambiente de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí- Ecuador. Las materias primas empleadas fueron residuos orgánicos relevantes de la zona: Cáscara de maní (M), triturada en partículas por debajo de dos centímetros de diámetro y una relación C/N de 35,18; y pollinaza (P) de broiler con aserrín de madera, que tuvo una relación C/N de 20,37. Con estos materiales se confeccionaron cuatro pilas de compostaje: **1** tratamiento.- mezcla de 200 kg de pollinaza + 100 kg de cáscara de maní + inóculo (MPI); **2** control.- mezcla de 200 kg de pollinaza + 100 kg de cáscara de maní (MP); **3** tratamiento.- 100 kg cáscara de maní + inóculo (MI); **4** control.- 100 kg cáscara de maní (M). Cada variante se identificó mediante rótulos con abreviaciones. Las muestras fueron procesadas y analizadas en los Laboratorios de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí y en los Laboratorio de la Escuela Superior Politécnica Nacional.

b. Preparación del inóculo

Se tomaron 500 mL de sobrenadante de cada cultivo puro de *Bacillus sp.* concentrado 10^9 y *Trichoderma sp.* con una concentración 10^4 , se vertieron en 20 litros de agua destilada que contenía el 5% de melaza en dilución. De esta mezcla se empleó 10 L/100 kg de material compostado, el cual se aplicó con una pulverizadora de espalda CP3.

c. Manejo de las pilas de compostaje

Las pilas se elaboraron sobre piso de cemento y bajo cubierta, en las mezclas MP se alteraron capas de ambos materiales. En todas las variantes se aseguró una altura de la pila de 90 cm. Los materiales se hidrataron hasta conseguir una humedad de alrededor de 65%, lo cual fue controlado durante todo el

proceso del compostaje mediante rehumedecimientos con nebulizadores; el inóculo aplicado a las pilas tratamiento fue incorporado simultáneamente con las capas de los materiales. A partir de los 30 días de compostaje se realizaron volteos periódicos cada 8 días hasta llegar a los 120 días donde se paró el proceso de compostaje para evaluar la condición de cada variante.

d. Parámetros medidos

- Ambientales.- durante los primeros 30 días de compostaje se registró diariamente la temperatura, humedad y pH, en cuatro puntos de la pila; posteriormente, cada ocho días se realizaron estas mediciones en los mismos puntos de control. La temperatura y humedad se midieron automáticamente con un Mini- termistor y el pH se determinó en laboratorio a partir de la mezcla compuesta de los cuatro puntos de muestreo.
- Físico-químicos.- cada 30 días se tomaron submuestras de cuatro puntos opuestos de la pila de compost, se homogenizó completamente y se formó dos muestras compuesta de 500 g cada una, que fueron enviadas a los laboratorios de Química Ambiental y Bromatología de la ESPAM MFL para determinar (pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica, relación C/N) y respectivamente.
- Microbiológico.- cada 30 días se tomó una muestra compuesta de 500 g de compost a partir de cuatro puntos de muestreo de la pila y se envió al laboratorio de Microbiología de la ESPAM MFL para determinar: recuento de *Bacillus sp*, recuento de Mohos y Levaduras, determinación de *Coliformes Totales* y *Fecales*.
- Fitotoxicidad.- cada 30 días se tomaba una muestra compuesta de compost a partir de cuatro puntos de referencia de cada pila y se llenaban una bandeja germinadora con capacidad de 100 cubículos, donde se depositaba una semilla de caupi (*Vigna unguiculata*), a los diez días se evaluó porcentaje de germinación.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

a. Parámetros ambientales

Temperatura

En la figura 1 se puede observar la dinámica de temperatura en los tratamientos MPI y MP. Durante los primeros 15 días hay un ascenso vertical hasta llegar a la etapa termofílica donde se registraron los promedios máximos de 62,1°C y 61,4°C, respectivamente logrando la higienización de la composta como lo sostienen Cuervo, (2010) y Perdomingo, (2003) quienes manifiestan que durante el proceso de compostaje la higienización se da cuando se alcanzan temperaturas superiores a los 55°C, durante un intervalo de tiempo determinado; que para el caso de estas dos variantes fue hasta los 21 días, a partir de allí comienza el descenso de temperatura con una tendencia, en valores, similar en ambos tratamientos, posiblemente la alta carga microbiana en la pila ejerció su efecto y colaboró en el trabajo del inóculo. Lo cual coincide a lo reportado por Tortarolo, *et al* (2008) quienes mencionan que los compostajes que recibieron inoculación alcanzaron temperaturas más altas, atribuyendo estos resultados a la actividad microbiana del inóculo que se

adapta a las condiciones de competencia con los microorganismos inicialmente presentes en el material. A los 120 días la temperatura se situó alrededor de los 35°C.

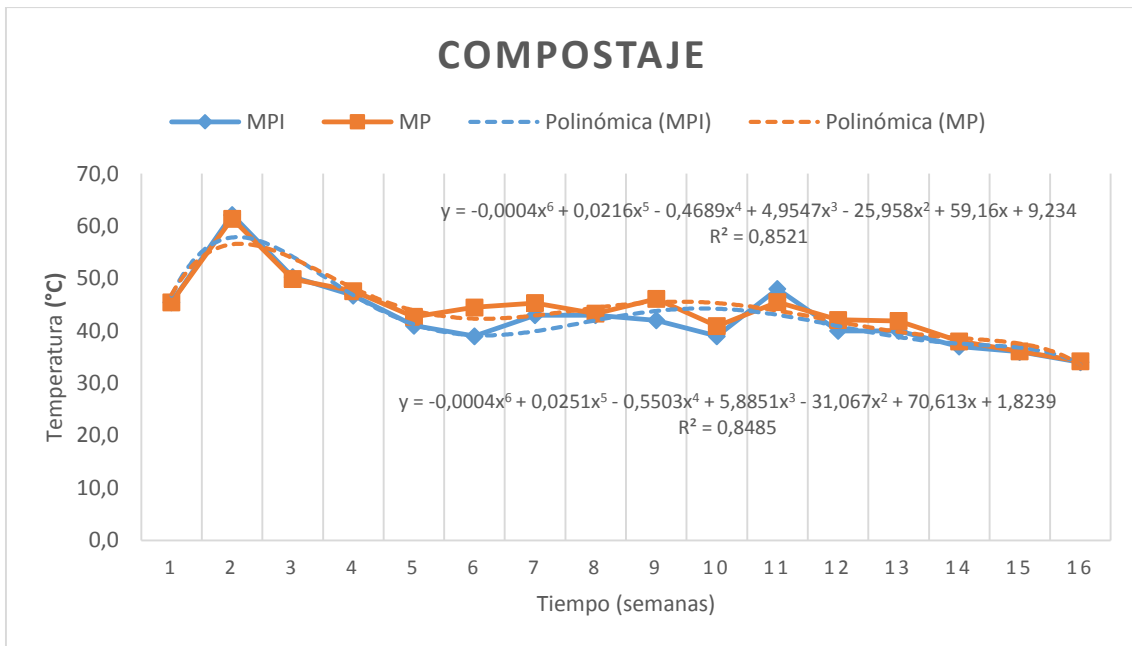


Figura 1. Temperatura registrada durante el proceso de compostaje tratamientos MPI y MP.

En cuanto a las variantes MI y M, la temperatura máxima (55°C) se alcanzó en la pila inoculada a los 15 días del proceso, dándose la higienización correspondiente, según lo manifestado por Cuervo, N. (2010) y Perdomingo, (2003). A partir de la cuarta semana hubo un descenso de temperatura, situándose en alrededor de los 30°C que se mantuvo constante hasta la semana 16 que se cosecho el compost. El hecho de no haber incluido estiércol en las pila de compostaje incidió en las bajas temperaturas, igualmente el tamaño de las partículas de la cáscara de maní posibilitó mayor aireación y por ende liberación de calor, haciendo que la temperatura disminuya en las pilas, tal como lo indica Cariello *et al.* (2007).

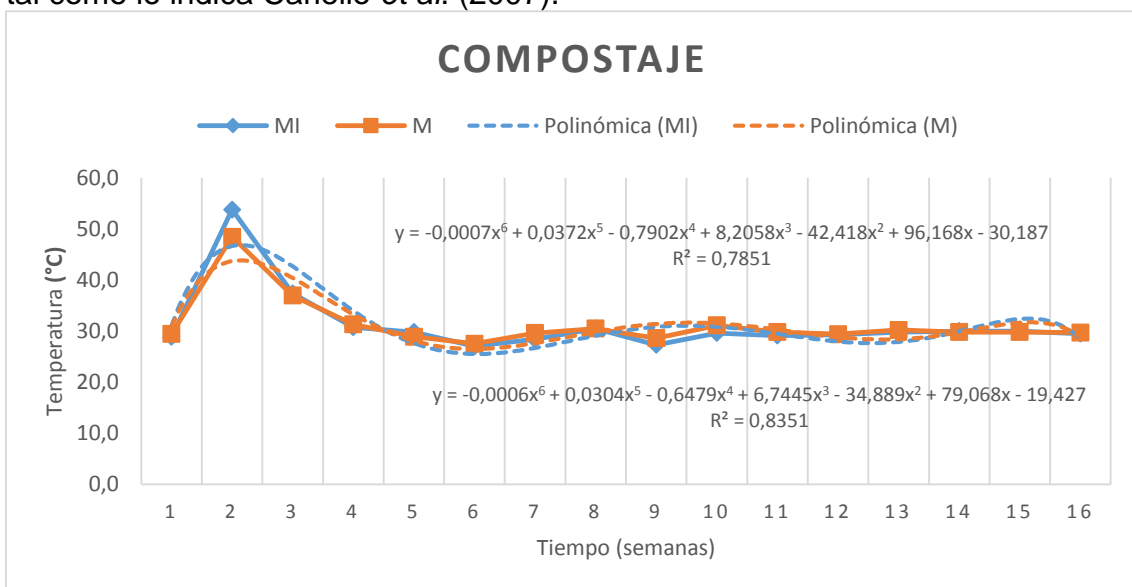


Figura 2. Temperatura durante el proceso de compostaje para los tratamientos MI y M

Humedad

En la figura 3 se observa que la humedad, al inicio del proceso, en los tratamientos MPI, MP, empezó con promedios de 68,1 y 64,5%, respectivamente; lo que coincide con lo propuesto por Chang, *et al.* (2006) quienes plantean que el contenido inicial de humedad, en los materiales a compostar, debe estar entre el 50 y el 65% para evitar anaerobiosis, lo cual produciría putrefacción de los residuos compostados. En términos generales el contenido de humedad, durante el proceso de compostaje, estuvo alrededor del límite alto del rango considerado óptimo; al final del proceso la humedad bajó al 40%, coincidiendo con el rango de humedad para el compost final (30-45%) establecido por la norma chilena 2880.

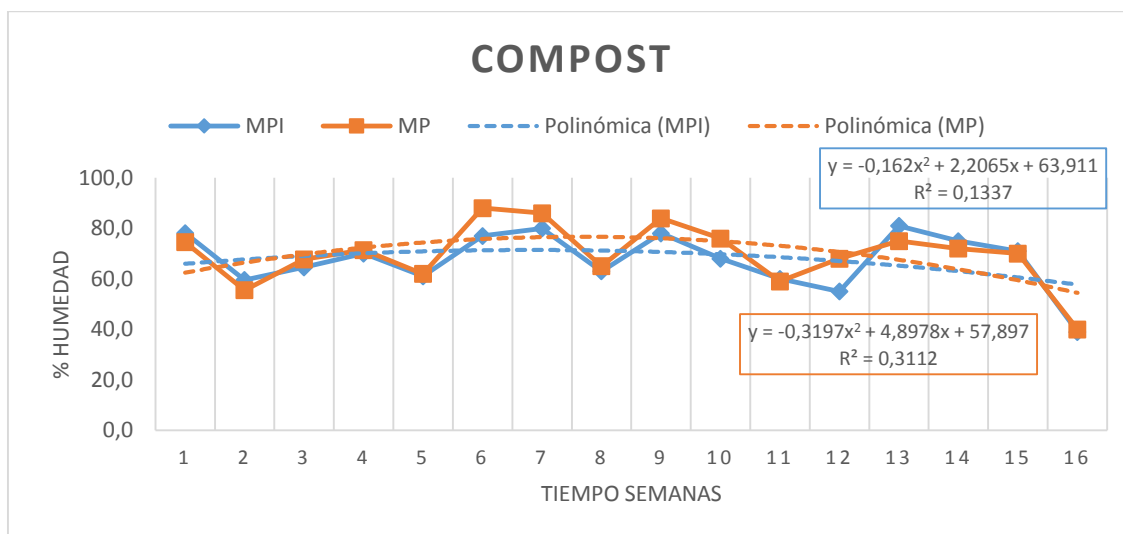


Figura 3. Humedad durante el proceso de compostaje en los tratamientos MPI y MP

El contenido de humedad en las variantes MI y M (Figura 4) estuvo dentro de los límites óptimos descritos por Chang *et al* (2006), quienes señalan que si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. Al final del proceso la humedad del compost estuvo dentro del rango establecido por la norma chilena 2880, ya que los valores fueron del 38% para MI y 35%, para M; en correspondencia con lo manifestado por Acosta, *et al* (2006) quienes sostienen que el contenido de humedad depende de las materias primas empleadas, sin embargo los valores finales de humedad en el compost deben estar entre el 35 y 38%.

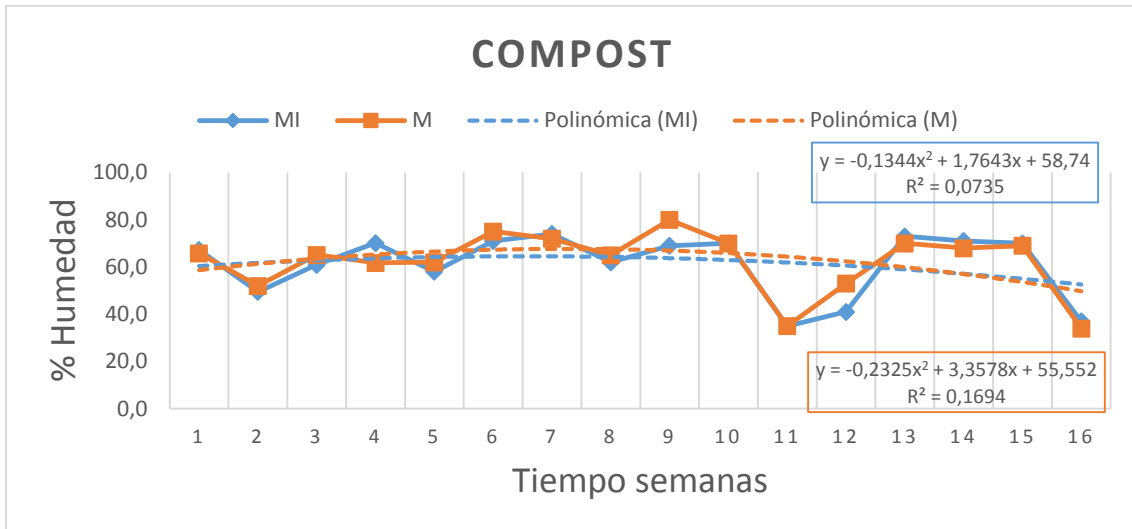


Figura 4. Humedad durante el proceso de compostaje en los Tratamientos MI y M.

b. Parámetros fisicoquímicos

Potencial hidrógeno (pH)

En la figura 5 se puede observar que las variantes MPI y MP inician el compostaje con valores de pH de 9.21 y 9.16, respectivamente. Sin embargo hay un descenso marcado en las siguientes tres semanas producto de la actividad metabólica de los microorganismos haciendo que el pH baje y se estabilice durante el proceso de compostaje, al final las variantes tuvieron un pH de 8.40 y 8.41 en su orden, que los ubica como compost de clase B, según la norma chilena 2880 que considera un rango de 6.5 – 8.5 para compost terminado, en esta categoría.

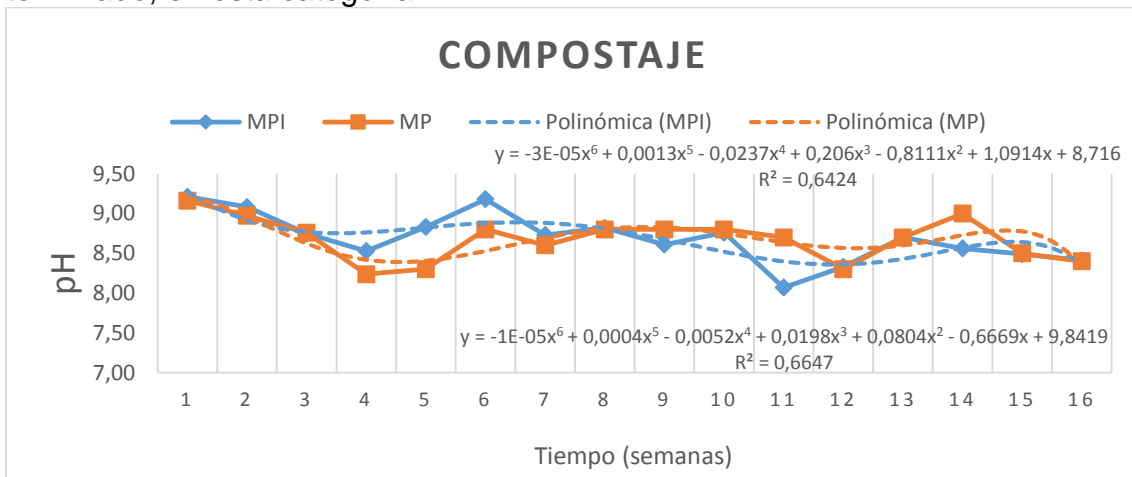


Figura 5. pH durante el proceso de compostaje en los Tratamientos MPI y MP

Las variantes MI y M iniciaron con un pH de 8.5, la segunda semana del proceso de compostaje el pH bajo alrededor de 7.0 y se mantuvo relativamente estable hasta la semana 16 que fue de 7.7 en ambos tratamientos, por lo cual el compost terminado se ubica en categoría A, de acuerdo a la norma Chilena 2880 que establece valores entre 7-8 para este rango (Figura 6).

Como puede apreciarse en las figuras 5 y 6 el potencial hidrogeno depende del tipo de material que se composte, lo cual coincide con los resultados de los trabajos desarrollados por Escobar *et al* (2012) que al compostar mezcla de materiales orgánicos, con pH inicial entre 5-10, obtuvo compost terminado con pH entre 5 y 8, atribuyendo los valores altos a las mezclas de materiales orgánicos con mayor contenido de carbono. Por otra parte Torres *et al* (2007) obtuvieron valores finales de pH de 6.5 y 7.4 en compostaje a partir de biosólidos, residuos de mercado y podas. En cambio Acosta *et al* (2006) al compostar lodo residual, estiércol de chivo y residuo del procesamiento industrial de sábila obtuvieron valores finales de pH en el compost de 7.85.

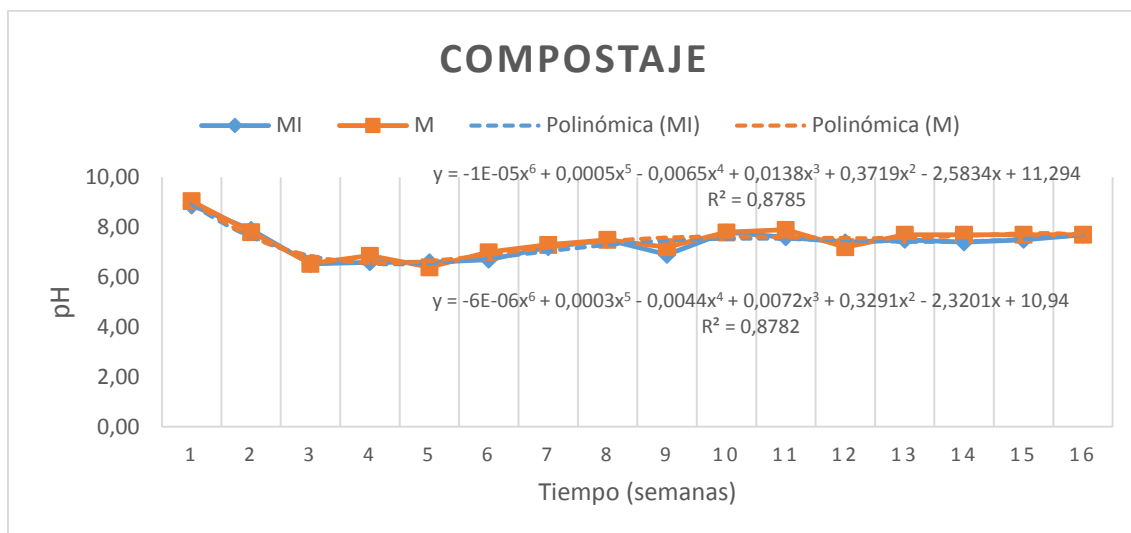


Figura 6. pH durante el proceso de compostaje en los Tratamientos MI y M

Conductividad eléctrica (CE)

En la figura 7 se muestra los resultados de la conductividad eléctrica, el valor inicial para los tratamientos MPI y MP fue de 3.04 y 3.11 dSm^{-1} respectivamente, aumentando a los 60 días en el caso de MPI debido a un mayor dinamismo en la degradación de los materiales orgánicos empleados, en el control disminuyó la CE a casi 1.0 dSm^{-1} . A los 90 días se presentó una situación inversa, disminución para MPI y aumento en el caso de MP, finalizando a los 120 días con una conductividad para MPI de 3.33 y para MP de 2.82 dSm^{-1} . Comparando estos resultados con la Norma Chilena 2880, que indica una conductividad menor o igual a 5 dSm^{-1} para compost terminado de clase A.

Se determina que el compost de las dos variantes pertenecen a la categoría A, según la norma chilena; coincidiendo con trabajos realizados por Acosta, *et al* (2006) en el compostaje de una mezcla de lodo residual producto del tratamiento de aguas servidas, estiércol de chivo y residuo del procesamiento industrial de sábila, donde encontraron valores finales de conductividad del compost de 2,95 dSm^{-1} . Igualmente Cuervo, (2010) en su estudio con bagazo de agave tequilero encontraron valores finales de conductividad eléctrica en compost de 1.51 dSm^{-1} . Esto nos demuestra que la CE del material orgánico utilizado en el compostaje incide en el valor final del compost.

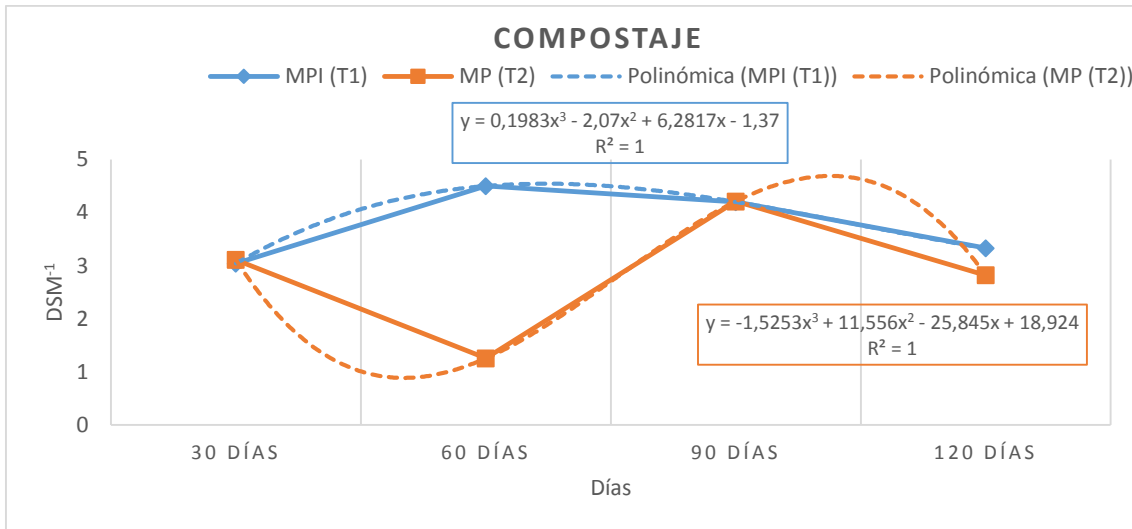


Figura 7. Dinámica de la CE durante el proceso de compostaje en los tratamientos MPI y MP

Se observa en la figura 8 que la conductividad eléctrica inicial para los tratamientos MI y M fue de 0.796 y 1.037 dSm⁻¹ respectivamente, aumentando a los 60 días en el caso de MI y disminuyendo en M. A los 90 días se presentó una situación inversa similar a lo ocurrido en el compostaje de las variantes MPI y MP, finalizando con una conductividad de 0.445 y 0.475 dSm⁻¹, para MI y M, en su orden. Comparando estos resultados con la norma Chilena 2880, el compost se lo ubica en clase (A) por cuanto se expresa que el compost tiene que finalizar con una conductividad menor o igual a 5 dSm⁻¹.

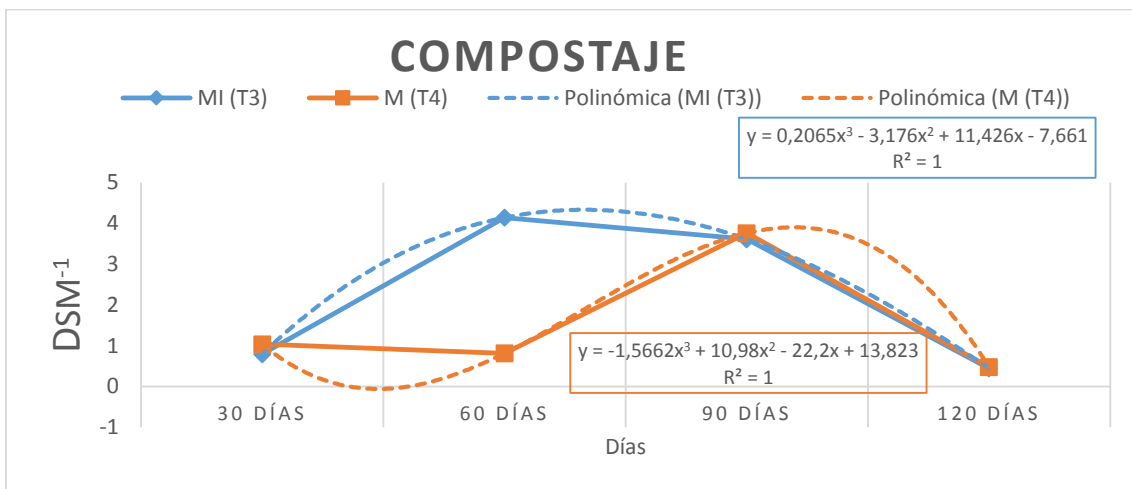


Figura 8. Dinámica de la CE durante el proceso de compostaje en los tratamientos MI y M.

Relación carbono nitrógeno (C/N)

Se aprecia en el gráfico 9 que la relación C/N, de los tratamientos MPI, MP al empezar el proceso de compostaje fue de 30/1 y 25/1, respectivamente. Al final del proceso de compostaje se obtuvo una relación de 15.10 y 23.17, en su orden; encontrándose dentro del rango de referencia (C/N menor a 25) señalados en la norma chilena 2080 para los compost de clase A. Se resalta el valor de la pila inoculada porque se acerca al óptimo señalado para abonos orgánicos.

En estudios realizados por Tortarolo, *et al* 2008 mencionan que los tratamientos que fueron inoculados con microorganismos alcanzaron la madurez en periodos de tiempos menores al testigo, independientemente del material inicial. Vásquez, *et al.* (2010) mencionan que su investigación permitió demostrar, experimentalmente, que es posible acelerar el proceso de compostaje empleando microorganismos nativos.

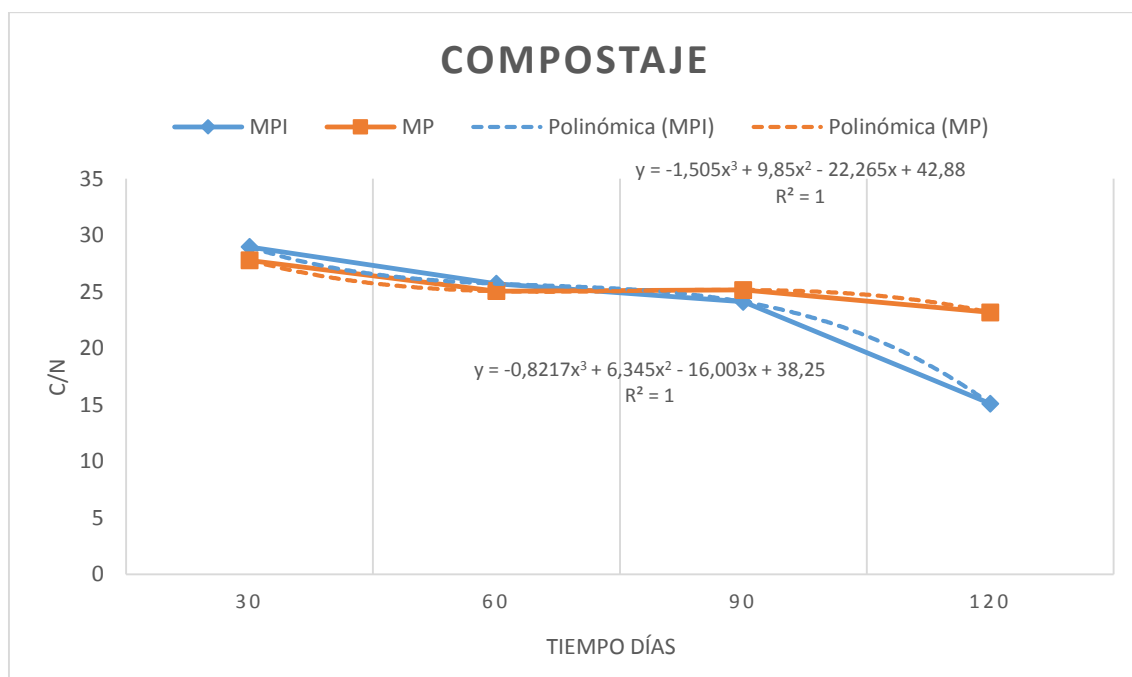


Figura 9. Evolución de la relación C/N en los tratamientos MPI y MP

En la figura 10 se aprecia que el tratamiento MI obtuvo al final del proceso una relación C/N de 17.27/1 encontrándose dentro del rango de referencia señalados en la Norma Chilena 2080 por lo que se ubica en clase A; al contrario el tratamiento M registró una relación C/N alrededor de 26/1 que lo ubica en clase B de acuerdo a la norma Chilena, esto significa que el compost se encuentra en estado inmaduro.

El tratamiento que alcanzó en menor tiempo la estabilización fue el MPI, le sigue el MI, y por último los testigos MP y M. Estos resultados tienen correspondencia con los estudios realizados por Escobar, *et al* (2012) quienes manifiestan que una relación inicial C/N=25 en la pila de compostaje mostraron mejores características físicas, químicas y microbiológicas en el compost maduro; igualmente Torres, *et al* (2007) obtuvieron valores entre 6.1 y 7.1 para la relación de C/N en compostajes elaborados a partir de biosólidos, residuos orgánicos de la plaza de mercado, de poda y viruta; así mismo Acosta, *et al* (2006) realizando un compost a partir de una mezcla de lodo residual producto del tratamiento de aguas servidas, estiércol de chivo y residuo del procesamiento industrial de sábila, obtuvieron compost con valores finales de C/N de 19.69. Todo esto demuestra que el origen de los residuos orgánicos incide sobre el valor final de la relación C/N del compost y que el tiempo para alcanzar la estabilidad depende de la dinámica poblacional de microorganismos descomponedores.

				0				0				0
MPI	1.0 1	0.8 7	1.1 2	0.9 8	0.1 2	0.1 7	0.1 8	0.3 0	10.0 5	6.8 5	6.6 0	6.0 0
MP	0.9 8	1.0 9	1.1 4	0.9 9	0.1 0	0.1 6	0.1 8	0.1 5	8.70	7.3 0	5.7 5	5.3 5
MI	0.7 0	0.6 8	1.1 0	1.0 6	0.0 5	0.0 6	0.2 0	0.0 3	2.55	6.4 5	6.2 5	1.4 5
M	0.7 1	0.6 4	1.0 0	0.8 4	0.0 5	0.0 5	0.1 9	0.0 4	3.15	1.5 0	5.2 0	1.2 5

Materia orgánica

En la figura 11 se observan la evolución del valor de la MO, la tendencia natural en disminuir con el tiempo, la dinámica depende de la actividad microbiana para degradar los compuestos químicos que caracterizan a los materiales de partida; al respecto, marca diferencia la pila que recibió el inoculo (MPI) ya que a los 120 días registró valores menores al 25% de MO, con lo cual se ubica en clase A, según la norma chilena 2880 que señala valores por debajo de 25% para ser considerados en esta categoría. Este resultado coincide con el trabajo de Gordillo, *et al* (2011) quienes manifiestan que durante el proceso de compostaje con desechos agroindustriales inoculados con microorganismos nativos se redujo la materia orgánica en un 50% en referencia al valor inicial. Igualmente se asemejan a los resultados de Torres, *et al* (2007) quienes obtuvieron valores finales de materia orgánica entre 16.7 y 22.4 en compostajes elaborados a partir de biosólidos y de residuos orgánicos de la plaza de mercado, poda y viruta inoculada.

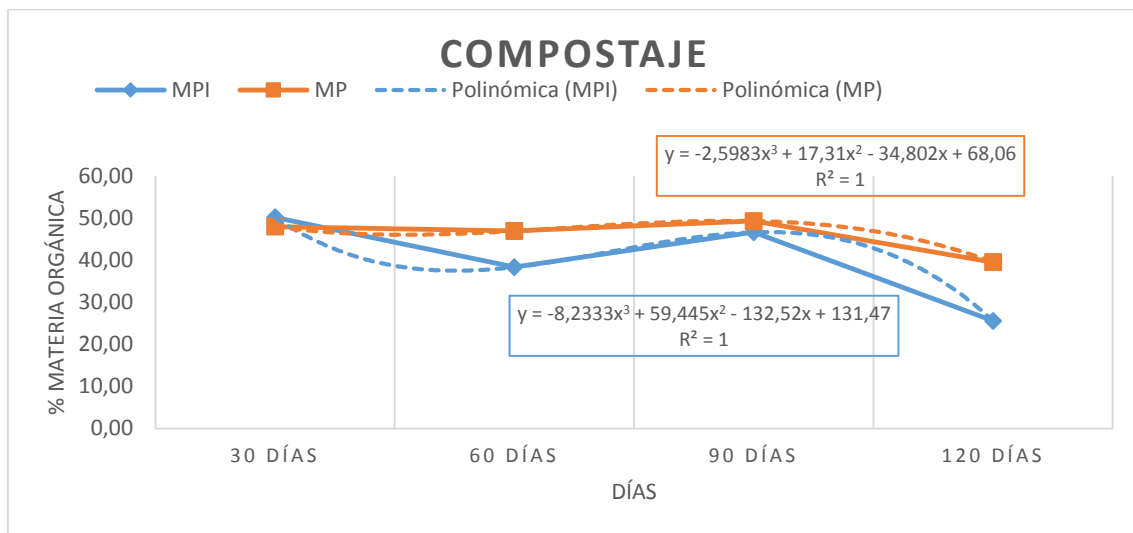


Figura 11. Dinámica de la degradación de la materia orgánica en los tratamientos MPI y MP

Los tratamientos MI y M alcanzaron porcentajes de materia orgánica al final del proceso de compostaje de 31.84 y 37.84, respectivamente (Figura 12); que comparándolo con la norma chilena 2880, se ubican en categoría B, ya que se indica que cuando el contenido de materia orgánica es mayor al 25% el compost es de segunda clase.

Indudablemente el contenido final de MO en un compost será consecuencia del valor inicial de la materia orgánica, de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el tratamiento, por la acción microbiana (Soliva, y López, 2004).

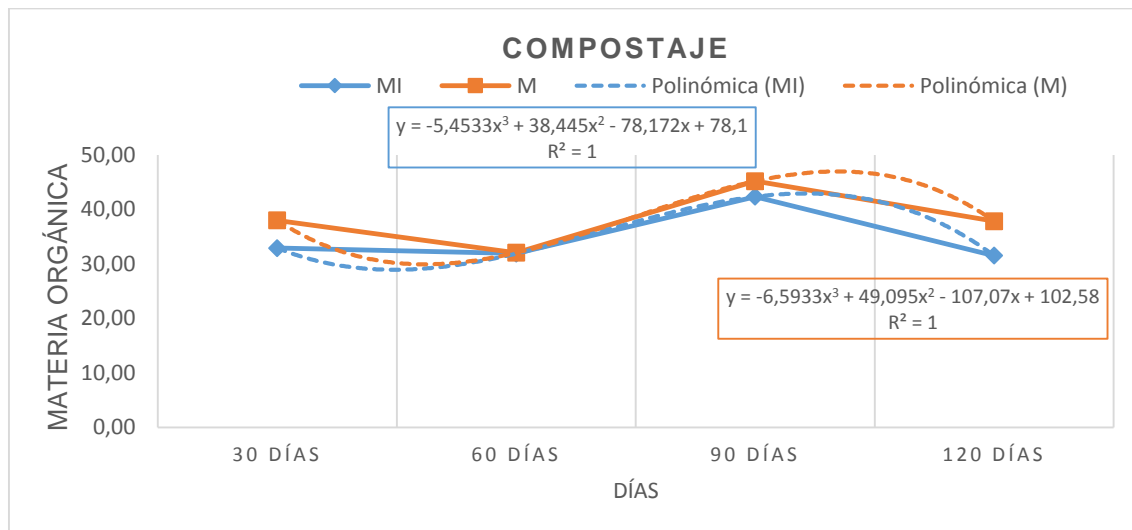


Figura 12. Dinámica de la degradación de la materia orgánica en los tratamientos MI y M.

c. Parámetro microbiológicos

En el cuadro 2 se muestra el recuento de *Coliformes fecales*, los valores para las variantes MPI y MP, al finalizar el proceso de compostaje, se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma chilena 2880, que señala un valor límite de <1000 UFC/g. mientras que las normas TULAS (2006) establecen como límites permisibles para los lixiviados producidos en compost de <1000 UFC/mL *Coliformes fecales* y <5000 UFC/mL para *Coliformes totales*. En los tratamientos MI y M los valores superan las 1000 UFC/g de *Coliformes fecales* al finalizar el proceso. Es importante resaltar la recolonización de *Bacillus sp* y *levaduras*.

Cuadro 3. Microorganismos en el compost

Días	Bacillus sp	Mohos y Levaduras	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
30(T1)	4,0X10 ⁶	<1,0X10 ³	2,1X10 ³	<3*
60(T2)	1,0X10 ⁷	<1,0X10 ³	<1,0X10 ²	<3*
90(T3)	1,2X10 ⁶	<1,0X10 ³	<1,0X10 ²	<3*
120(T4)	2,1X10 ³	<1,0X10 ³	4,0X10 ²	9,0X10 ²
30(T1)	1,8X10 ⁷	<1,0X10 ³	7,0X10 ²	<3*
60(T2)	<10,0X10 ³	<1,0X10 ³	2,5X10 ⁴	<3*
90(T3)	<10,0X10 ³	1,2X10 ³	4,5X10 ³	<3*
120(T4)	<10,0X10 ³	<1,0X10 ³	7,0X10 ²	<3,0X10 ²
30(T1)	1,0X10 ⁷	>1,0X10 ³	1,3X10 ³	1,5 X10 ²
60(T2)	1,2X10 ⁷	<1,0X10 ³	<1,0X10 ²	<3*

90(T3)	$1,0 \times 10^6$	$<1,0 \times 10^3$	$<1,0 \times 10^2$	$<3^*$
120(T4)	$6,0 \times 10^5$	$1,2 \times 10^5$	$1,7 \times 10^3$	$4,0 \times 10^2$
30(T1)	$7,0 \times 10^6$	$>1,3 \times 10^4$	$7,0 \times 10^2$	$4,3 \times 10^2$
60(T2)	$<10,0 \times 10^3$	$1,8 \times 10^3$	$2,0 \times 10^4$	$<3^*$
90(T3)	$<10,0 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$	$3,6 \times 10^3$	$<3^*$
120(T4)	$2,3 \times 10^6$	$<1,0 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$	$9,0 \times 10^2$

d. Variables de fitotoxicidad

En la figura 13 se muestra el porcentaje de germinaron de las semillas de frijol durante el proceso de compostaje, se puede observar que a medida que avanza el proceso se consiguen porcentajes de germinación cercanos a lo establecido por la norma chilena 2880, ya que se menciona que en todas las clases de compost, deben prosperar al menos 90% de las semillas sembradas en el sustrato evaluado con respecto al testigo. Según Wu, y Martínez (2000); y Ross, *et al* (2006) durante el proceso de compostaje el índice de geminación va aumentando, lo atribuyen a que los compuestos fitotóxicos van desapareciendo a medida que madura el compost en el tiempo.

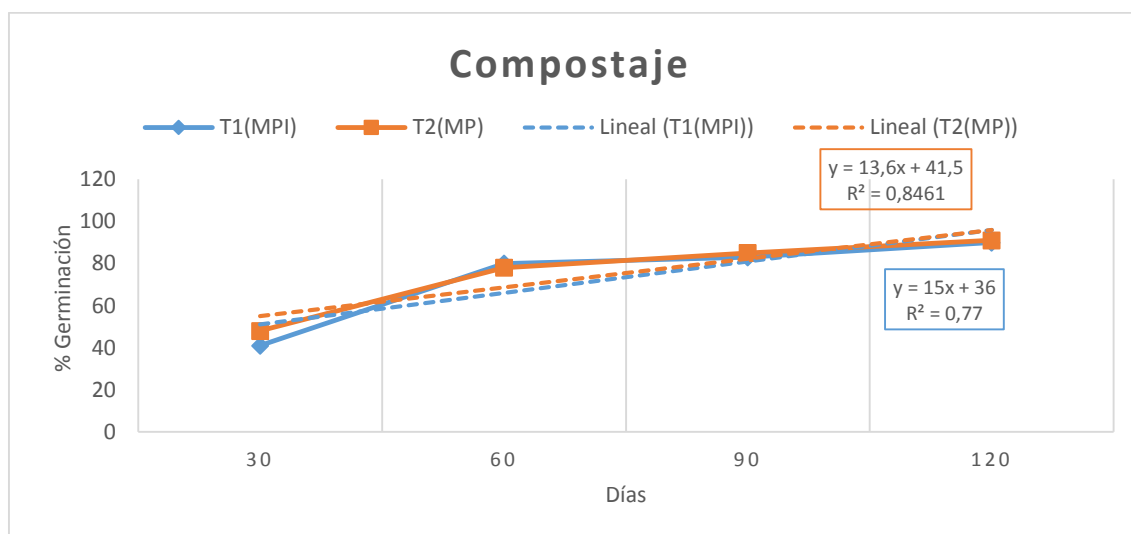


Figura 13. Porcentaje de germinación de frijol en los tratamientos MPI y MP

En las variantes MI y M la tendencia de germinación de las semillas (Figura 14) es similar a los tratamientos anteriores, aunque los porcentajes son ligeramente inferiores, sin embargo hay una pequeña ventaja con el compost inoculado. Esta prueba corresponde con lo anotado por Varnero, *et al* (2007) quienes señalan que la madurez de un compost se puede establecer mediante bioensayos de germinación con especies sensibles a metabolitos fitotóxicos. Igualmente Soto, y Meléndez, (2004) indican que uno de los ensayos empleados para determinar la madurez del compostaje es la prueba de germinación. Al respecto Zeng *et al.* (2009) encontraron que al inocular al microorganismo lignocelulítico, *Phanerochaete chrysosporium*, indujo cambios significativos en todos los parámetros de.

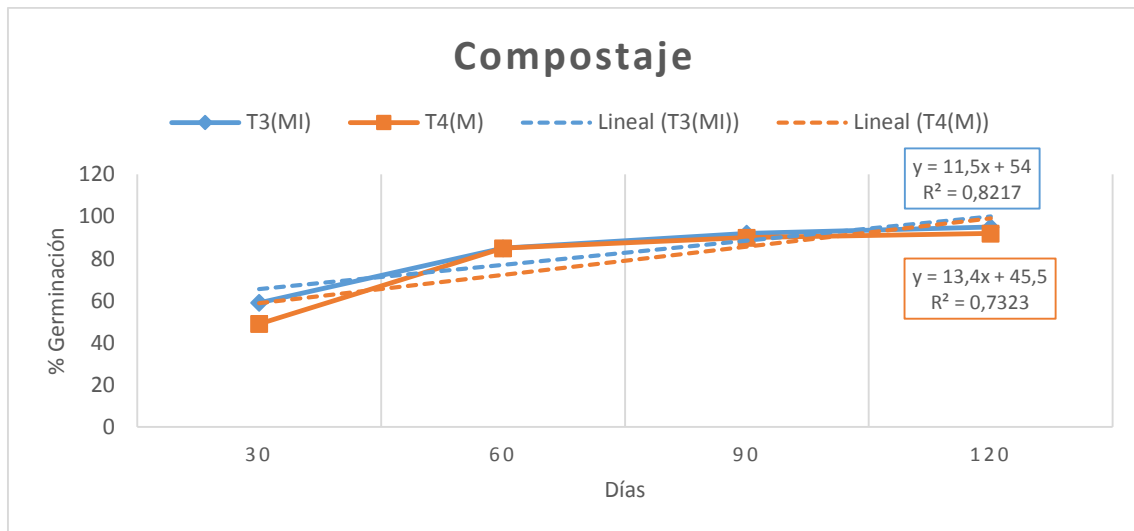


Figura 14. Porcentaje de germinación de frijol en los tratamientos MI y M

CONCLUSIONES

1. La dinámica de descomposición de los residuos orgánicos está en función de los materiales orgánicos de partida y participación microbiana.
2. La calidad del compost fue superior en las pilas inoculadas que sin inocular, sobre todo en lo relacionado a indicadores de estabilidad y madurez del abono orgánico (pH, C/N, MO, higienización, fitotoxicidad).
3. El compost de la variante MPI (cascara de maní + pollinaza + inoculo) se ubicó en categoría A de acuerdo a la norma chilena 2880.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, Y. Cayama, J. Gómez, E. Reyes, N. Rojas, D. García, H. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. Vol. 6(3). P 220-227. Universidad del Zulia. Venezuela.

Boulter J. I., Bolaand G. J., Trevors J. T. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease; World Journal of Microbiology & Biotechnology, 16: 115- 134.

Cariello, M; Castañeda, L; Riobo, I; González, J; 2007. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. Scielo. Vol. 7 n. 3. Pág. 26-37.

Carpio A., de Carlo E., Rosa A., Cariello M., Castañeda L., Figoni E., Grasso N., Ruiz A., Mascheroni F. 2001. Optimización de técnicas para la obtención de un compost regional y su utilización por la comunidad como mejorador de suelos. Rev. Ciencia docencia y tecnología-UNER, 15, (8): 25-42.

Cuervo, N. 2010. Estudio del proceso de compostaje de los lodos producidos en la operación de pelambre en la industria del curtido de pieles.

Chang, J. I. Tsai, J. J. Wu, K.H. 2006. Thermophilic composting of food waste. *Biorresourse tecnol.* Vol. 97. P 116-122.

De Carlos E. B., Rosa A. T., Benintende S., Cariello M., Castalleda L., Figoni E., Graso N., Ruiz A. y Mascheroni F. 2001. Estudio de la población microbiana en las etapas iniciales del compostaje. *Revista Ceres*,48, (280): 699-715

Escobar, F. Sánchez, J. Azero, M. 2012. Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. Vol. 5. P 390-410.

Gordillo, F. Peralta, E. Chávez, E. Contreras, A. Campuzano, O. 2011. Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *saccharum officinarum* (caña de azúcar) revista de investigaciones agropecuaria. Vol. 37(2). P 140-149. Argentina.

Norma Chilena de compost 2880. Instituto Nacional de Normalización (INN). 2004. Compost, clasificación y requisitos. P 23.

Perdomingo, A. 2003. Gestión ambiental en el feedlot. Guía de buenas prácticas. La Pampa Argentina.

Ross M., García C. y Hernández T. (2006). A full-scale study of treatment of pig slurry by composting: Kinetics changes in chemical and microbial properties. *Waste Manage.* Vol. 26. P1108-1118.

Soliva, M. López, M. 2004. Calidad de compost: influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Escola Superior d' Agricultura de Barcelona. P 1-19.

Soto, G., & Meléndez, G. (2004). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. Costa Rica: Hoja Técnica # 72. P 91-97.

Tortarolo, M. Pereda M. Palma, M. Arrigo, N. 2008. Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. Vol. 26. P 41-50.

Torres, P. Pérez A. Escobar, J. Uribe, I. Imery, R. 2007. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. Vol. 27. P 267-275. Eng. Agríc. Jaboticabal.

TULAS (Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente). 2006. Decreto Ejecutivo N° 1584, publicado en el RO 320 de julio 25/2006. Ecuador

Varnero M, M. T., Rojas A, C., & Orellana R, R. (2007). Índices De Fitotoxicidad En Residuos Orgánicos durante El Compostaje. Chile: Universidad de Chile.

Vásquez, M. López, A. Fuentes, B. Cote, E. 2010. Aceleración de proceso de compostaje de residuos de post-cosecha (pulpa) de café con la inoculación de microorganismos nativos. Revista CENIC. Vol. 41. P 1-7. Cuba.

Wu L., Ma L.Q. y Martinez G.A. 2000. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. J. Environ. Qual. Vol. 29(2). P 424-429.

Zeng GM, Huang HL, Huang DL, et al. 2009. Effect of inoculating white-rot fungus during different phases on the compost maturity of agricultural wastes. Process Biochemistry. Vol. 44(4). P 396-400.