

**Evaluación del Efecto Acelerador de Microorganismos
Transformadores de Materia Orgánica (TMO) en el Proceso de
Compostaje de las Deyecciones de Bovinos, Porcinos y Conejos**

Jaime Hurtado Villegas

**Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría En Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2014**

**Evaluación del Efecto Acelerador de Microorganismos
Transformadores de Materia Orgánica (TMO) en el Proceso de
Compostaje de las Deyecciones de Bovinos, Porcinos y Conejos**

Jaime Hurtado Villegas

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Director
Javier Orozco Ávila,
Candidato a Doctor en Ciencias Agrícolas**

Línea De Investigación: Biosistemas Integrados

**Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría En Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2014**

DEDICATORIA

A: Olga Lucía,
Ana Sofía, y
José Fernando

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco muy especialmente a la Universidad del Quindío y a la Facultad de Ciencias Agroindustriales, quienes a través del Programa de Desarrollo Profesional me brindaron el apoyo económico y motivaron mi participación en el estudio de esta Maestría.
- A la Granja Experimental Bengala donde se realizó el Proyecto y a su equipo de trabajo, quienes brindaron todo el apoyo económico y logístico para su desarrollo.
- A la Empresa Sobiotech, quien procuró el producto a ensayar y estuvo atenta al desarrollo del trabajo.
- A la comunidad de la región (Filandia, Quindío) y a los estudiantes del programa de Tecnología Agropecuaria de la Universidad del Quindío, con quienes se ha socializado el trabajo en campo.
- Agradezco, además a mis compañeros de la Facultad de Ciencias Agroindustriales, los cuales estuvieron pendientes y me ayudaron con sus conocimientos a terminar con éxito esta Maestría.
- Igualmente agradezco a la Universidad de Manizales, al Programa de la Maestría en general, a los todos los Tutores, muy especialmente al Profesor José Fernando Muñoz quien me acompañó siempre en el recorrido de este estudio. Igualmente al Director de la Línea: Biosistemas Integrados Dr. Jhon Fredy Betancur, y al Dr. Javier Orozco, Director del proyecto, quienes de manera incondicional y segura me guiaron en la ejecución del presente trabajo.

RESUMEN

Las empresas ganaderas enfrentan diariamente el problema de la disposición de los residuos sólidos, especialmente el de las excretas generadas en las explotaciones por cuenta de los animales. La disposición de excretas sin tratar o habilitadas parcialmente representan un peligro para el medio ambiente y para la salud pública, debido al movimiento y supervivencia en el suelo de microorganismos patógenos presentes en estos residuos. Al habilitar los estiércoles acelerando los procesos de compostaje se hace más eficiente el rendimiento de las instalaciones asegurando la maduración de las excretas generadas y por ende el acondicionamiento de las mismas para ser usadas como abonos orgánicos sin restricción medioambiental.

El trabajo propuesto se desarrolló en la Granja Experimental Bengala de la Universidad del Quindío. El trabajo demostró la acción aceleradora de los microorganismos transformadores de materia orgánica (TMO) cuando son inoculados en los procesos de compostaje realizados con las deyecciones de bovinos, porcinos y conejos. El proyecto propende por una mejor disposición de las excretas de los animales de la granja en mención, proponiendo como sistema de disposición el proceso de compostaje, agilizado con la adición del acelerador (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO). El sistema mejora sin duda los modelos de disposición tradicionales (estercoleros o disposición indiscriminada en la granja), los cuales impactan negativamente las condiciones sanitarias de las instalaciones y los potreros de las unidades productivas.

En campo se establecieron 15 tratamientos, tres de ellos (excretas de bovino, porcino y conejo) actuaron como tratamientos testigo, los cuales no se intervinieron con el producto en estudio; tres más con adición del producto: (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO) a razón de 1 l/ton de materia orgánica (excretas de bovino, porcino y conejo), otros tres tratamientos con adición del mismo producto a razón de 2 l/ton de materia orgánica (excretas de bovino, porcino y conejo), otros tres tratamientos con adición del mismo producto a razón de 3 l/ton de materia orgánica (excretas de bovino, porcino y conejo) y otros tres tratamientos con adición del mismo producto a razón de 4 l/ton de materia orgánica (excretas de bovino, porcino y conejo).

La investigación demostró claramente que los tratamientos intervenidos con el producto acelerante, acortaron el tiempo de maduración y por ende su habilitación frente a los tratamientos testigo sin adición del producto en estudio, en este sentido se destacan en el trabajo los siguientes resultados: En los compostajes realizados con Bovinaza, se redujo el tiempo de maduración en 85 días entre el tratamiento testigo sin acelerante T1B y el tratamiento T4B adicionado con 3 l/ton de biomasa. En los compostajes realizados con Porcinaza, se redujo el tiempo de maduración en 40 días entre el tratamiento testigo sin acelerante T1P y el tratamiento T4P adicionado 3 l/ton de biomasa. En los compostajes realizados con Conejaza, se redujo el tiempo de maduración en 55 días entre el tratamiento testigo sin acelerante T1C y el tratamiento T3C adicionado con 2 l/ton de biomasa.

Palabras clave: Compostaje, Deyecciones, Acelerante, Maduración, Habilitación.

ABSTRACT

The livestock enterprises face daily the problem of disposal of solid waste, especially of excreta generated in holdings, by the animals. Excreta disposal untreated or partially enabled pose a danger to the environment and public health, due to movement, and survival in soil of pathogenic bacteria present in the waste. Enabling the manure, by accelerating composting processes, performance of the facilities is streamlined ensuring maturation of generated excreta and therefore their conditioning to be used as organic fertilizer without environmental restrictions.

The proposed work was developed in Bengala Farm, the experimental farm of the University of Quindío. The work demonstrated the accelerating action of transformers microorganisms of organic matter (TOM) when they are inoculated in composting processes performed with droppings of cattle, pigs and rabbits. The project aims for better disposal of excreta of farm animals in question proposing as disposal system the composting process expedited with the addition of the accelerator (transformers microorganisms of organic matter: TOM). The system definitely improves traditional disposal models (dungheils or indiscriminate disposal on farm), which impacted negatively the health conditions of the facilities and the paddocks of productive units.

In field 15 treatments were established, three of which (droppings of cattle, pigs and rabbits) acted as control treatments without intervention of the studied product; three treatments more with addition of the product (transformers microorganisms of organic matter TOM) at a rate of 1 l/ton of organic matter (droppings of cattle, pigs and rabbits), another three treatments with addition of the same product at a rate of 2 l/ton of organic matter (droppings of cattle, pigs and rabbits), also three treatments with addition of the same product at a rate of 3 l/ton of organic matter (droppings of cattle, pigs and rabbits), and the last three treatments with addition of the same product at a rate of 4 l/ton of organic matter (droppings of cattle, pigs and rabbits).

The research study clearly demonstrated that treatment with intervention of the accelerator product, shortened maturation and hence their empowerment versus control treatments without intervention of the studied product, however stand out at work the following results:

In treatments with droppings of cattle, the maturation time was reduced in 85 days between the control treatment without intervention of the studied product T1C and the treatments T4C with addition of the product at a rate of 3 l/ton of organic matter. In treatments with droppings of pigs, the maturation time was reduced in 40 days between the control treatment without intervention of the studied product T1P and the treatments T4C with addition of the product at a rate of 3 l/ton of organic matter. In treatments with droppings of rabbits, the maturation time was reduced in 55 days between the control treatment without intervention of the studied product T1R and the treatments T3R with addition of the product at a rate of 2 l/ton of organic matter.

KEYWORDS: Compost, Droppings, Accelerator, Maturity, Rating.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	5
Abstract	6
Introducción	13
1. MARCO TEORICO	16
1.1 Historia	16
1.2 Definición	16
1.3 Factores que influyen en el proceso de Compostaje	18
1.3.1 Temperatura	18
1.3.2 Humedad	19
1.3.3 pH	19
1.3.4 Oxígeno	21
1.3.5 Relación Carbono Nitrógeno (C/N)	21
1.3.6 Población microbiana	24
1.3.7 Tamaño de partícula	25
1.4 Fases del proceso de Compostaje	26
1.4.1 Fase Mesofílica	26
1.4.2 Fase Termófila	28
1.4.3 Fase de Enfriamiento	29
1.4.4 Fase de Maduración	29
1.5 Residuos en la Actividad Agropecuaria	30
1.5.1 Estiércol	31
1.5.2 Impacto Ambiental generado por el estiércol	32
1.5.3 Propiedades de los Abonos Orgánicos	34
1.5.4 Inoculación de Microorganismos Eficaces en el proceso de Compostaje	35
1.5.5 Madurez y calidad del producto final	36
2. ANTECEDENTES	38
3. ESTRATEGIA METODOLOGICA	41
3.1. Area de estudio	41
3.2 Diseño Experimental	42
3.3 Tratamientos	42
3.3.1 Tratamientos elaborados con Bovinaza	42
3.3.2 Compostajes con Porcinaza	43
3.3.3 Compostajes con Conejaza	43
4. RESULTADOS Y DISCUSION	46
4.1 Análisis del proceso de compostaje de las deyecciones de bovino, porcino y conejo	46
4.1.1 Tiempos de compostaje del estiércol de bovino, porcino y conejo	46

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE
MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE
BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

	Pág.
4.1.2 Tratamientos con Bovinaza	47
4.1.3 Tratamientos con Porcinaza	48
4.1.4 Tratamientos con Conejaza	49
4.2 Comportamiento de la Temperatura en los compostajes	51
4.2.1 Temperatura en los Tratamientos con Bovinaza	52
4.2.2 Temperatura en los Tratamientos con Porcinaza	54
4.2.3 Temperatura en los Tratamientos con Conejaza	56
4.3 Comportamiento del pH en los compostajes	58
4.3.1 El pH en los Tratamientos elaborados con Bovinaza	58
4.3.2 El pH en los Tratamientos elaborados con Porcinaza	60
4.3.3 El pH en los Tratamientos elaborados con Conejaza	62
4.4 La Calidad de los compostajes	65
4.5 Evaluación económica de cada uno de los tratamientos establecidos	70
4.6 Protocolo para el manejo de residuos sólidos en explotaciones bovinas, porcinas y cunicolas	72
5. CONCLUSIONES	74
6. RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFIA	77
ANEXOS	90

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Análisis químico de algunos materiales utilizados para la elaboración de compostajes	23
Tabla 2. Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (como porcentaje de la materia seca)	31
Tabla 3. Composición del producto: Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica – TMO	44
Tabla 4. Tiempo de compostaje: días de maduración para los 15 tratamientos	46
Tabla 5. Menores tiempos de habilitación en los compostajes de Bovinaza, Porcinaza y Conejaza.	50
Tabla 6. Análisis de caracterización química de los 15 tratamientos establecidos	66
Tabla 7. Análisis de caracterización química de los 15 tratamientos establecidos expresados en porcentaje	66
Tabla 8. Referencia para la valoración de los elementos del análisis químico de suelos. Laboratorio de Análisis Químico de suelos de la Universidad del Quindío	67
Tabla 9. Labores Fijas y su costo durante el proceso de compostaje	70
Tabla 10. Labores que se repiten durante el proceso de compostaje, el tiempo requerido para realizarlas y el costo para cada labor	71
Tabla 11. Costo por kilogramo de compostaje para cada uno de los tratamientos establecidos en el trabajo	71
Tabla 12. Protocolo para compostar estiércol de las especies animales bovino, porcino y conejo con adición de acelerante	73

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Tiempo de compostaje de Bovinaza para los diferentes tratamientos	48
Gráfica 2. Tiempo de compostaje de Porcinaza para los diferentes tratamientos	49
Gráfica 3. Tiempo de compostaje de Conejaza para los diferentes tratamientos	50
Gráfica 4. Tratamiento con menores días de habilitación para el compostaje de los estiércoles estudiados	51
Gráfica 5. Temperatura tratamiento 1 Bovino	52
Gráfica 6. Temperatura tratamiento 2 Bovino	52
Gráfica 7. Temperatura tratamiento 3 Bovino	53
Gráfica 8. Temperatura tratamiento 4 Bovino	53
Gráfica 9. Temperatura tratamiento 5 Bovino	53
Gráfica 10. Temperatura tratamiento 1 Porcino	54
Gráfica 11. Temperatura tratamiento 2 Porcino	54
Gráfica 12. Temperatura tratamiento 3 Porcino	55
Gráfica 13. Temperatura tratamiento 4 Porcino	55
Gráfica 14. Temperatura tratamiento 5 Porcino	55
Gráfica 15. Temperatura tratamiento 1 Conejo	56
Gráfica 16. Temperatura tratamiento 2 Conejo	56
Gráfica 17. Temperatura tratamiento 3 Conejo	57
Gráfica 18. Temperatura tratamiento 4 Conejo	57
Gráfica 19. Temperatura tratamiento 5 Conejo	57
Gráfica 20. pH Tratamiento 1 Bovino	59
Gráfica 21. pH Tratamiento 2 Bovino	59
Gráfica 22. pH Tratamiento 3 Bovino	59
Gráfica 23. pH Tratamiento 4 Bovino	60
Gráfica 24. pH Tratamiento 5 Bovino	60
Gráfica 25. pH Tratamiento 1 Porcino	61
Gráfica 26. pH Tratamiento 2 Porcino	61
Gráfica 27. pH Tratamiento 3 Porcino	61
Gráfica 28. pH Tratamiento 4 Porcino	62
Gráfica 29. pH Tratamiento 5 Porcino	62
Gráfica 30. pH Tratamiento 1 Conejo	63
Gráfica 31. pH Tratamiento 2 Conejo	63
Gráfica 32. pH Tratamiento 3 Conejo	63
Gráfica 33. pH Tratamiento 4 Conejo	64
Gráfica 34. pH Tratamiento 5 Conejo	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas del compostaje	26
Figura 2. Ubicación geográfica del municipio de Filandia, Quindío	41
Figura 3. Tratamientos de compostajes	44
Figura 4. Cubierta de compostajes	44

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Ficha técnica TMO	91
Anexo 2. Análisis estadístico diferentes compostajes	92
Anexo 3. Valoración de los elementos del análisis químico de suelos	104

INTRODUCCIÓN

El crecimiento continuo de la población humana mundial influye en el aumento de la producción de alimentos. Del alimento generado por el sector agropecuario, el 40% es de origen animal. Algunos grupos ambientalistas consideran que el sector pecuario tiene gran responsabilidad en el calentamiento global por la generación de contaminantes vertidos al suelo, agua y atmósfera.

El suelo puede ser seriamente afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de nutrientes (nitrógeno, fósforo), microorganismos patógenos (*Echericha coli*), antibióticos, y compuestos que interactúen con el sistema endocrino (hormonas esteroidales, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas) (Powers, 2009). En países donde las regulaciones ambientales son laxas o no existen, el estiércol se aplica al suelo continuamente, excediendo la capacidad de captación de nutrientes por los cultivos (Dietz y Hoogevorst, 1991). Esta sobrecarga de nutrientes en el suelo ocasiona su infiltración por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas (Miner, Humenik y Overchash, 2000). Por ejemplo, las excretas bovinas frescas esparcidas en áreas de cultivo contienen nitrógeno en forma de nitratos y nitritos; la forma de acumulación de estos compuestos oxidados en el cultivo puede causar intoxicación en el ganado que los consume (Nicholson, 2007).

El impacto de los desechos de origen animal -estiércol proveniente de sistemas de pastoreo- se relaciona en gran parte con la intensidad de la producción. A mayor intensidad del sistema de producción mayor cantidad de desechos animales, por lo tanto, empiezan a ser un problema potencial, pero al mismo tiempo mayor será el potencial de manejo de los desechos animales para mantener la fertilidad del suelo y de esta manera, la productividad.

Dentro de los sistemas de pastoreo y los sistemas mixtos de mediana y baja intensidad, el impacto sobre los suelos es generalmente benéfico debido a que se mejora la fertilidad en las pasturas y en tierras cultivadas donde el ganado vacuno es alimentado con los desechos agrícolas o donde el estiércol es deliberadamente manejado como insumo fertilizante; sin embargo, aún en los sistemas de producción de baja intensidad, existe el riesgo de contaminación de las fuentes de agua superficial y subterránea, con el estiércol. Esto es un problema de contaminación directa y el resultado es la filtración o escorrentía, introduciendo compuestos nitrogenados (amoníaco, nitratos), fósforo y otros nutrientes, bacterias y agentes virales en las fuentes de agua.

El desarrollo de fuentes de agua basado en fuentes limitadas y en algunas ocasiones en fuentes estacionales de aguas superficiales y subterráneas locales resulta de la concentración por la presión de la ganadería. El impacto más evidente es sobre la vegetación debido a un sobrepastoreo localizado dando como resultado 'zonas de sacrificio' degradadas alrededor de las fuentes de agua. Sin embargo, el impacto sobre el agua se ejerce a través de la contaminación directa de las fuentes, las cuales son compartidas con frecuencia para el consumo humano y animal por su disponibilidad tan restringida. El problema principal de las fuentes superficiales de agua es su uso compartido, la contaminación directa del agua con estiércol, orina y barro aumenta de

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

manera considerable los riesgos de salud pública y del ganado (Pinos, García, Peña, Huerta, González y Tristán 2012).

Actualmente la mayoría de las empresas ganaderas a nivel mundial enfrentan diariamente el problema de la disposición de los residuos sólidos, especialmente de las excretas generadas en las explotaciones por cuenta de los animales zootécnicos dedicados a producir los recursos de origen animal en los hatos ganaderos y granjas dedicadas a la actividad pecuaria.

El ejercicio del compostaje en estos establecimientos, ha demostrado ser un mecanismo eficaz para disponer los residuos que allí se generan, porque además de acondicionar y habilitar los estiércoles como abonos potenciales, generan una actividad paralela rentable en la actividad agropecuaria. En Cuba, la utilización del compost ha ocupado un lugar importante en la agricultura.

A nivel nacional se compostan utilizando como materias primas una gran diversidad de compuestos orgánicos tales como: gallinaza, estiércol vacuno, estiércol porcino, restos de cosechas de plátano (*Musa* spp.), tallos de boniato (*Ipomoea batatas* L.) y residuos urbanos, entre otros (Morales, Rodríguez, y Valiño, 2000). En los años 2000 al 2003, una de las actividades fundamentales del MINAZ dirigida a la preservación ambiental se concentró en la fabricación de compost.

El Compostaje es una forma importante de reciclar elementos orgánicos residuales de la agricultura y la ganadería. El compostaje maduro mejora la estructura del suelo, lo que significa que va a poder trabajarse más fácilmente y tendrá una mejor aireación. En las últimas décadas se ha estado promoviendo una renovada filosofía, el uso de la agricultura orgánica y por lo tanto, la producción de alimentos no contaminados (Crespo, 2001). Una de las principales tecnologías lo es el uso de compostas que el propio productor puede elaborar en su unidad de producción, utilizando los materiales de que dispone localmente. Ello le permitirá tener un mejor manejo y conservación de su suelo, recurso principal de cualquier sistema de producción agropecuaria y forestal (De Luna y Vázquez, 2009).

Con el incremento de la actividad pecuaria bajo condiciones de confinamiento, estabulación o semiestabulación, se generan en los espacios donde permanecen los animales cantidades importantes de materias fecales, estas deben disponerse de alguna manera para evitar que se acumulen y se fomente la incidencia de problemas sanitarios en los hatos y granjas que trabajan bajo estos sistemas; las deyecciones resultantes en los programas pecuarios mencionados, son dispuestas en la mayoría de los casos de manera imprudente al regarlas directamente en los potreros, o lavándolas y por tanto contaminando los entornos propios de las instalaciones y los hilos de agua presentes y en el mejor de los casos las materias fecales generadas, se acumulan en tanques estercoleros y muy pocas veces se compostan. Este tipo de manejo de las excretas resulta entonces inapropiado medioambientalmente (Granja Bengala, 2013).

Los estiércoles manejados en esta forma pueden causar problemas ambientales; en México por ejemplo aún no han sido considerados como subproductos susceptibles de aprovechamiento, es el caso del estado de Chihuahua, donde la ganadería de bovinos lecheros es una de las principales actividades productivas, la cual genera alrededor de 312,609 toneladas de materia seca (MS) al año de estiércol (NRAES, 1999; Jurado,

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

2004), constituyéndose en un importante reservorio de contaminantes de mantos freáticos y del suelo al ocasionar un aumento en la concentración de nitratos ($N-NO_3$). Esta realidad implica un enorme daño al ambiente, o desde otra perspectiva, una potencial industria novedosa y de gran aplicación, si se toma en cuenta que contienen una gran proporción de nutrientes ingeridos por el animal; los cuales, pueden representar una fuente potencial de nutrientes disponibles para las plantas cuando son reciclados mediante el compostaje (Kowalchuk, Naumenko, Derikx, Felske, Stephen, Arkhipchenko, 1999 y Mondini, Dell' Abate, Leita, y Benedetti, 2003).

La aplicación del compost sin tratar o tratado inadecuadamente representa un peligro para el medio ambiente y para la salud pública, debido al movimiento y supervivencia en el suelo de bacterias patógenas presentes en estos biofertilizantes tales como: *Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*, *Vibrio cholerae*, *E coli* (Gómez, Yamiris, González, y Chiroles, 2004).

La granja experimental Bengala de la Universidad del Quindío, lugar donde se realizó el trabajo (ubicada en el Municipio de Filandia a una altitud de 2.050 msnm, con una temperatura promedio de 18°C y un promedio anual de lluvia de 2800 mm (Alcaldía de Filandia, 2013)), no es ajena a este tipo de manejo de las excretas resultantes de su diversa actividad pecuaria, y aunque se tienen espacios físicos dispuestos para la recolección y almacenamiento como son los pozos estercoleros, estos además de no habilitar los estiércoles recolectados, se hacen insuficientes para una rotación eficiente de los mismos. Las condiciones climáticas de altitud, precipitación, clima y humedad como las de la zona descrita, hacen largos los procesos y tiempos de descomposición de la materia orgánica, es así como compostar Porcinaza en la granja experimental se demora 150 días aproximadamente para su maduración y habilitación, esto conlleva a una sobreutilización de las instalaciones y por lo tanto a una disposición imprudente de las excretas que no tienen posibilidad de almacenarse o compostarse (Granja Bengala, 2013).

Acelerar los procesos de compostaje trae sin duda beneficios a los productores que trabajan en el área pecuaria, ya que al disminuir el tiempo de acondicionamiento y habilitación de las excretas que se generan en la actividad, se descongestionan las instalaciones dedicadas al proceso, procurando una utilización más eficiente de las mismas e igualmente habrá una rotación más rápida del programa de compostaje, lo que redundará en una disponibilidad más constante del material habilitado para su uso o para su comercialización. La atenta observación de los procesos naturales de degradación y transformación de la materia orgánica y la constante experimentación, han permitido conocer la dinámica, los elementos y los procesos que intervienen en el compostaje. A lo largo del tiempo se han desarrollado varias técnicas que imitan ese proceso natural mucho más lento, en la tranquilidad de los bosques lleva años de lenta transformación, pero podemos reproducirlo en condiciones controladas y acelerarlo para que se realice en apenas unos meses (Bueno, 2003).

Como objetivo general se planteó evaluar el efecto acelerador de los microorganismos transformadores de materia orgánica (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO) para compostar las deyecciones generadas por los bovinos, porcinos y conejos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Historia

La compostación es tan vieja como el mundo, aunque solo hace poco está siendo redescubierta y potenciada con nuevos aportes biotecnológicos. El desarrollo de ésta técnica tiene su origen en la India con las experiencias hechas por el inglés Albert Howard en 1905. Su éxito consistió en combinar sus conocimientos científicos con los tradicionales de los campesinos. El método llamado Indore se basaba en fermentar una mezcla de desechos vegetales y excrementos animales y humedecerlos cada cierto tiempo para posteriormente aplicarlos a la tierra como biofertilizantes (Raspeño y Cuniolo, 1996).

La elaboración del compost a partir de desechos orgánicos no es nueva, es una práctica secular en Asia (Mayea, 1994), se conoce hace cientos de años en muchas partes del mundo. El uso de los materiales está ligado de manera histórica y directa con la fertilidad y productividad de los suelos agrícolas (ANDFIASS, 1998).

En Occidente se conoció esta técnica a partir de las observaciones del profesor F.H.King del Departamento de Agricultura de los E.E.U.U. en 1909 y los experimentos de Sir Albert Howar, inglés considerado el padre de la producción científica de compost (FAO, 1991), quien perfeccionó la técnica entre 1905 y 1934 y realizó ensayos en la región de Indore, la India, método que se aplicó por primera vez en el estado de Kingatori (Kenia) en el año 1933. La técnica produjo buenos resultados y fue adoptada por compañías, agricultores y horticultores de muchas partes del mundo. Por estos años se adquirió un entendimiento del efecto de los parámetros físicos y químicos más importantes en el compostaje, así como de las interacciones microbianas implicadas; más adelante se dieron diversos criterios sobre el compost a partir de estudios en los que se tuvieron en cuenta diferentes procesos como fermentación aeróbica y anaeróbica, procesos biológicos, bioquímicos, de síntesis y descomposición debido a la acción de diferentes microorganismos, sobre los cuales actúan diversos factores como: humedad, temperatura, aireación en condiciones controladas (FAO, 1991; Pereira y Stentiford, 1992; Kolmans y Vázquez, 1996; Leal y Madrid, 1998; Frioni y Santos, 1998).

1.2 Definición

El compostaje es la descomposición y estabilización de sustratos orgánicos de distinto origen llevada a cabo por microorganismos generalmente presentes en la biomasa, que gracias a la íntima mezcla de los variados componentes, en presencia de oxígeno atmosférico y aprovechando las condiciones de temperatura inducidas a través de la producción de calor por vía biológica, permite la obtención de compost.

El compost o mantillo se puede definir como el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo. El compost es un nutriente para el suelo que mejora la estructura y ayuda a reducir la erosión y ayuda a la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas. (Filippini, 2011).

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

El compostaje se define por diversos autores a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta diferentes criterios de acuerdo a estudios y conocimientos adquiridos. De Baca (1956) dice que el compost es una basura vegetal o animal bien descompuesta, siendo la materia orgánica la acondicionadora ideal del suelo y además la que está al alcance de todo agricultor; más adelante Steffen (1982) y Bautista (1983) plantean la formación de una sustancia viva (humus) que mejora la estructura y fertilidad de la tierra, mediante procesos biológicos y dinámicos en los que intervienen poblaciones de microorganismos; (Yágodin, Peterburgski, Asárov, Diomin, Pleshkov y Reshétnikova, 1986), se refieren a la mezcla de dos componentes desiguales por su resistencia a la descomposición microbiana; posteriormente la FAO (1991) y Stentiford y Dodds (1991) plantean que es un producto estable y saneado resultado de la degradación de los materiales orgánicos, por una población mixta de microorganismos en un ambiente cálido, húmedo y aireado; por otra parte Kolmans y Vázquez (1996) y RRCARE (1996) coinciden en que es el resultado de la descomposición de desechos orgánicos animales y vegetales, aprovechando ciertos desperdicios y convirtiéndolos en abonos ricos en nutrientes; Funes y Hernández (1996) lo consideran un material biológicamente activo producto de la descomposición bajo condiciones controladas; por último Crespo (1997) y Leal y Madrid (1998) estiman que es obtenido por proceso aeróbico y biológico de degradación en condiciones controladas y por la interacción de bacterias, hongos y numerosos insectos.

El compostaje o composting es el proceso biológico aeróbico mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia orgánica biodegradable (restos de cosechas, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener el compost, abono excelente para la agricultura (Aubert, 1998).

El compostaje es una transformación microbiana de los residuos orgánicos en condiciones controladas. Este proceso se identifica como lombricompostaje cuando participan diversas especies de lombrices. Existe la creencia de que ambos procesos biotecnológicos son excelentes para elaborar abonos orgánicos, pero que, en el caso del lombricompostaje, el material obtenido está enriquecido químicamente y biológicamente (Ferrera y Alarcón, 2001; Nogales, Cifuentes y Benítez, 2005). Los abonos orgánicos pueden satisfacer la demanda de nutrientes de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes químicos y mejorando las características de los vegetales consumidos (Rodríguez, Cano, Figueroa, Favela, Moreno, Márquez, Ochoa y Preciado, R. 2009), además los abonos orgánicos mejoran las características de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agro-químicos y su sobre-explotación (Niето, Murillo, Troyo, Larrinaga y García, 2002). Sin embargo, su composición química, el aporte de nutrientes a los cultivos y su efecto en el suelo, varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (FAO, 1991; Abawi y Thurston, 1994).

Laich (2011), define al compostaje como un proceso biooxidativo que da lugar a un producto orgánico altamente estable. Se puede definir como la mineralización y humificación parcial de las sustancias orgánicas mediante reacciones microbianas. Estas reacciones se realizan bajo condiciones óptimas durante un periodo determinado y relativamente corto. La transformación microbiana de la fracción orgánica es una oxidación aerobia, de forma que la relación superficie/volumen de las partículas y la relación aire/agua en el espacio entre partículas, tiene una influencia directa en el proceso. Los procesos Mesofílicos y Termofílicos modernos de compostaje se realizan a

intervalos de temperatura, aunque se considera que los microorganismos Mesófilos son más eficaces para la descomposición de la materia orgánica, las temperaturas más altas favorecen la eliminación de potenciales patógenos vegetales y animales, y la muerte de semillas de malas hierbas que podrían ser perjudiciales en el uso posterior del producto final. La materia orgánica se degrada en condiciones naturales adecuadas de humedad y temperatura en lapsos de 6 a 9 meses. Los procesos de descomposición no conducen como muchos creen rápidamente a la mineralización de la materia orgánica, sino que inicialmente la materia orgánica se desestabiliza o simplifica, pero luego se resintetiza conformando un compuesto nuevo, la composta, bastante estable al paso del tiempo (humus), que alberga y retiene en forma de quelatos, las sales minerales, las cuales ya no se disuelven en el agua por lo que no se lixivian, pero en forma adecuada para que las plantas puedan extraer los nutrientes presentes en forma asimilable.

Por su parte Álvarez (2006), define el compostaje como una “descomposición biológica y estabilización de la materia orgánica, bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termófilas como consecuencia de una producción biológica de calor, que da un producto final estable, libre de patógenos y semillas de malas hierbas y que aplicado al terreno produce un beneficio”.

1.3 Factores que influyen en el proceso de Compostaje

Como se ha comentado, el proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, ya que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica. Para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollar la actividad descomponedora se necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación. Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes son:

1.3.1 Temperatura

Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55°C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporados (Filippini, 2011). Los residuos orgánicos dispuestos en pilas poseen buenas propiedades aislantes, lo que facilita que se retenga el calor liberado en las reacciones de respiración y se puedan alcanzar temperaturas de 60 a 70°C dadas según FAO (1991) y Soliva y Giro (1992) por la actividad de los microorganismos. En general se considera por Funes y Hernández (1996) y ANDFIASS (1998) como pico ideal de temperatura el de 60°C ya que los microorganismos patógenos y las semillas de las malezas dañinas son destruidos. Por otra parte Stentiford y Dodds (1991) y Velarde, Sánchez, Heres y Córdova (1995) informan que la temperatura no debe ser superior a los 70°C para evitar pérdidas por oxidación de la materia orgánica y muerte de microorganismos beneficiosos.

1.3.2 Humedad

En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60%. Si el contenido de humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas, para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75-85% mientras que para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50-60% (Filippini, 2011).

La humedad está en función de la capacidad de aireación del proceso y de la naturaleza estructural de los materiales. Corominas y Pérez (1994) dicen que cuanto mayor sea el contenido de humedad de los residuos, mayor disponibilidad tienen las bacterias implicadas en la descomposición para captar el oxígeno retenido en los intersticios del material y por tanto se facilitará la descomposición aeróbica. Al respecto la FAO (1991) y Rossetti (1994) señalan que el material debe estar tan húmedo como una esponja luego de exprimida. Bautista (1983); Biddlestone, Gray y Thurairajan (1991) y MINAZ (1991) coinciden en que el contenido de humedad óptimo para los ingredientes que se destinan al compostaje es del 50-60%. FAO (1991) y Mayea (1992) plantean que la humedad apropiada para la elaboración del compost debe ser entre 40% y 60%, si la humedad decrece por debajo de 40%, la actividad microbiana cesa y se detiene el proceso de elaboración, mientras que si está por encima del 60%, además de disminuir la temperatura se producirán condiciones anaeróbicas, lo que se corrobora por Frioni (1996) y ANDFIASS (1998) al plantear que la humedad de una composta debe estar entre un 60% y 65%. En el enfriamiento y la maduración, Mayea (1992), plantea que la composta se deja secar para cosechar con un 30% de humedad. Orozco (1980) considera a la humedad como uno de los factores más importantes en el proceso de compostación, pues si ésta baja los microorganismos no se desarrollan por no tener el agua suficiente para su metabolismo, disminuyendo la actividad microbiana esencial en éste tipo de proceso y si por el contrario, es muy alta, desplaza el aire saturando de agua los intersticios dejados por el material, presentándose circunstancias propicias para el desarrollo de condiciones anaeróbicas. Se estima que para un proceso de compostación aeróbica eficiente se requiere un rango de humedad entre 40-60%, incluso un mismo contenido de humedad puede reflejar situaciones distintas dependiendo de las características físicas y químicas de los materiales orgánicos utilizados, especialmente en cuanto a porosidad y capacidad de absorción se refiere (Uribe, Estrada, Córdoba, Hernández, y Bedoya, 2001).

1.3.3 pH

Influye en el proceso debido a su acción sobre los microorganismos, en general los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia de pH, entre 6-7,5. (Filippini, 2011).

El pH es muy importante, no por su acción directa sobre la formación de humus como plantea Primavesi (1990), sino por su efecto sobre la concentración de elementos nutritivos a disposición del vegetal y la actividad microbiana. Mayea (1992) señala que al inicio de la elaboración del compost, el pH de los restos orgánicos es por lo general ligeramente ácido entre 5 y 6, lo que se corrobora por Rossetti (1994), quien plantea que

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

esto ocurre porque primero se descomponen los organismos más ácidos y luego los alcalinos, llegando a valores entre 8 y 9 hasta que comienza a bajar a valores entre 7 y 8 en el compost ya maduro como señala MINAZ (1991), permaneciendo así hasta el final del proceso cuando se descomponen las proteínas. Corominas y Pérez (1994) informan que si la pila tiene zonas anaeróbicas se forman ácidos butíricos, acético y propiónico, con la consiguiente elevación del pH. Como bien plantea la FAO (1991) poco se puede hacer para controlar el pH, sin embargo Mayea (1992) señala que por debajo de 6,5 hay que añadir carbonato de calcio para elevar el pH y proporcionar de esa manera un mejor crecimiento de los microorganismos y la FAO (1991) dice que al añadir el yeso se puede provocar la formación de amoníaco con la consiguiente pérdida de nitrógeno.

El pH es un parámetro que indica el buen desarrollo del proceso y la actividad microbiana, el pH inicial de materiales digeribles, basuras, estiércol, varía generalmente de 5,5 a 7; éste empieza a incrementarse debido a la pérdida de ácidos orgánicos a través de la volatilización (altas temperaturas), a la descomposición microbiana y a la liberación de amoníaco a través de la mineralización del nitrógeno orgánico (Ferrer, Páez y Chirinos, 1994). Después el pH se ajusta a un rango entre 7,5–8,5 y puede ser crítico si sobrepasa los niveles de 8,5 por la volatilización del amoníaco (NH_3), que genera pérdida de nitrógeno y malos olores. Se considera que un pH de 8,1 a 8,5 al final del proceso, indica la estabilización del compost y por tanto un producto apto para el uso agrícola (GIEM, 1999).

De acuerdo con Sundberg (2005), los cambios en el pH durante el proceso se deben a los cambios constantes en la composición química del sustrato. El pH en el compost está influenciado por tres sistemas ácido–base:

- El sistema carbónico, con el dióxido (CO_2) que se forma durante la descomposición y puede escapar a la atmósfera como gas o disolverse en los líquidos, formando ácido carbónico (H_2CO_3), bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}). Este sistema tiene dos constantes de disociación (pK_a): 6,35 y 10,33 a 25°C y la tendencia es a neutralizar el pH, incrementando los pH bajos y reduciendo los pH altos.
- El segundo sistema es el amonio (NH_4^+) – amoníaco (NH_3), que se forma cuando se descomponen las proteínas. Durante la fase inicial del compostaje la mayoría del nitrógeno metabolizado es usado para el crecimiento de los microorganismos, pero durante la fase de mayor actividad se libera el ión amonio. El sistema amonio tiene una constante de disociación (pK_a) de 9,24 a 25°C y de ésta forma incrementa el pH a valores cercanos a 9,24.
- El tercer sistema está compuesto por varios ácidos orgánicos en los cuales predominan el ácido acético y el ácido láctico. Este sistema puede reducir el pH a 4,14 que es la constante de disociación (pK_a) del ácido láctico a 25°C.

Estos tres sistemas se combinan para formar la curva típica del pH del compostaje, donde se presenta un descenso en la fase inicial, un aumento en la fase de máxima actividad y luego la tendencia es a la estabilización.

Los residuos orgánicos municipales tienen un pH inicial bajo, alrededor de 5, debido a los altos contenidos de ácidos grasos de cadena corta. En el compost terminado, el pH puede

estar entre 8 y 9 debido a las pérdidas de CO₂ por la respiración de los microorganismos. La presencia de ácidos orgánicos bajo condiciones de acidez y su ausencia, cuando el compost se torna alcalino, es un indicador de que ellos son un factor clave para la evolución del pH (Sundberg, 2003).

Para Sundberg, C., Smårs, S. y Jönsson, H. (2004), el pH va de la mano con la temperatura, sobre todo en el cambio de la fase mesofílica a termofílica. Ellos mostraron que la velocidad de descomposición de residuos municipales difiere muy poco en rangos de pH entre 5 y 8 a temperaturas de 36°C. Sin embargo, si la temperatura sube a 46°C disminuye la velocidad de descomposición a pH bajos, y se incrementa si el pH está por encima de 6,5. Esta diferencia se puede explicar por la sensibilidad de las comunidades de microorganismos al efecto combinado de condiciones de acidez y temperatura. Los microorganismos pueden tolerar factores ambientales extremos, por ejemplo altas temperaturas o bajos pH, pero no los dos al mismo tiempo. Otra posibilidad es la existencia de diferentes grupos de microorganismos: unos mesofílicos que son ácido tolerante y otros termofílicos, que no toleran condiciones de acidez (Grau, Sánchez, Font, Aguilera y Riba, 2002).

1.3.4 Oxígeno

El compostaje es un proceso aeróbico por lo que la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada.

El suministro de aire a la pila es según Bautista (1983), importante para abastecer de oxígeno a los microorganismos y retirar el dióxido de carbono que se produce. El MINAZ (1991) y Mayea (1992), recomiendan aireación natural mediante el volteo de la masa del compost durante el proceso de elaboración ya que el oxígeno es necesario sobre todo en la etapa termofílica porque ayuda a la degradación biológica, controla la temperatura del proceso y elimina la humedad de la masa de compost. Durante el estado termofílico Dalzul (1991), recomienda un flujo de aire de 0,6 m³ a 1,8 m³ por día por Kilogramo de sólidos volátiles, o mantener el nivel de oxígeno del 10-18%, lo cual se corrobora por Corominas y Pérez (1994). Para asegurar la ventilación, Seymour (1980) y Sugaki, Kamekawa, Sekiya y Shiga (1990), plantean atravesar los desechos con una estaca central para propiciar la aireación de la masa del compost, además no colocar la capa en contacto directo con el suelo, coincidiendo con Rossetti (1994); una aireación excesiva puede llevar a la desecación del material y consiguiente disminución de la temperatura a valores por debajo de los deseados, propiciando un efecto negativo a la actividad microbiana. ANDFIASS (1998), considera que la ausencia de aire, desarrollará diferentes tipos de microorganismos causando una putrefacción ácida del compost y emanando malos olores.

1.3.5 Relación Carbono Nitrógeno (C/N)

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica, por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica, una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, pero se pierde el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el aserrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las deyecciones animales y los residuos de matadero (Filippini, 2011).

Mayea (1992), define al proceso de elaboración del compost como una reorganización biológica de las fracciones carbonadas de la materia orgánica, transformándolas en células de millones de microorganismos, las cuales necesitan cantidades determinadas de nitrógeno y por lo tanto mientras más carbono tienen y más complejas son sus estructuras moleculares, más difíciles serán de descomponer.

Cuando la relación C/N es baja, la descomposición será más rápida, el conocimiento de la relación C/N de un material orgánico es un indicador del grado de resistencia a la descomposición; el mismo Mayea (1992) agrega que las cantidades de nitrógeno requeridas por unidades de carbono varían con los microorganismos envueltos en el proceso de descomposición, pero en general, los microorganismos emplean treinta partes en peso de carbono por cada parte de nitrógeno. ANDFIASS (1998) por su parte dice que requieren nitrógeno, una cierta cantidad de fósforo y otros elementos, pero lo esencial es que la proporción carbono-nitrógeno sea la correcta, entre 25 y 35 partes de carbono por una de nitrógeno, esto se corrobora con lo planteado por Bautista (1983), Peixoto (1988), FAO (1991), MINAZ (1991) y Rossetti (1994).

La relación carbono nitrógeno (C/N), es otro factor importante dentro del proceso de compostaje, por la necesidad de carbono por parte de los microorganismos como fuente de energía y del nitrógeno como elemento básico en la formación de proteínas y otros constituyentes del protoplasma celular (Ferrer, *et al.*, 1994)

La mayoría de los microorganismos usan 30 partes de C por cada parte de N, por lo que una relación (C/N), de 30 es la más conveniente para una fermentación eficiente, aunque se habla de compostajes eficientes con relaciones de 26:1 hasta 35:1. La proporción 20:1 debe considerarse como la mínima ya que más bajas, aunque pueden acelerar el proceso, también producen olores desagradables, pues el carbono disponible es completamente utilizado por los microorganismos generando una desestabilización del N creando excesos de éste que van a perderse en la atmósfera en forma de amoníaco. Una mezcla de materiales con una relación C/N es alta por encima de 40, y requiere de un mayor tiempo para la estabilización del compost, pues los microorganismos tienen que utilizar todo el exceso de carbono que esté presente (Gouin, Laliberty y Kay, 1992). El tipo de materia prima utilizada en el presente proyecto presenta valores iniciales muy bajos en la relación C/N debido a su alto contenido de N, y según (GIEM, 1999) tiene una leve variación durante el proceso.

Una adecuada relación C/N, favorecerá un buen crecimiento y reproducción microbiana, así: Pérez, Hermann, Alabouvette y Steinberg, (2006), mencionan que la relación C/N óptima para el inicio del compostaje en mezclas, está comprendida entre 25-35/1, esta relación se reduce a valores cercanos a 10-15/1 cuando el material está listo para ser usado.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Por eso considerando que la condición original de las materias primas a intervenir (Bovinaza, Porcinaza y Conejaza) tienen una baja relación C/N y además que por su estructura física se dificulta la entrada de aire, se recomienda entonces, utilizar materiales ricos en carbono orgánico con características de tamaño de partícula y rigidez que aporten porosidad al material de partida asegurando el suministro de oxígeno para la descomposición aeróbica, ayudando a extraer el calor producido a través de la evaporación y controlando los malos olores y la multiplicación de bacterias termofílicas asociadas con este proceso (Orozco, 1980).

La Tabla 1. muestra la relación C/N de materiales utilizados en la elaboración de compostajes.

Tabla 1. Análisis químico de algunos materiales utilizados para la elaboración de compostajes.

Materiales	MO	C %	N%	C/N	P2O5 %	K2O %
ALGODON SEMILLAS	95,62	54,96	4,58	12/1	1,42	2,37
ESTIERCOL DE CERDOS	53,10	29,50	1,86	16/1	1,06	2,23
ESTIERCOL DE AVES	52,21	29,01	2,76	11/1	2,07	1,67
ESTIERCOL DE EQUINOS	96,19	25,50	1,67	18/1	1,00	1,19
ESTIERCOL OVINOS	82,94	46,08	1,44	32/1	0,74	1,65
ESTIERCOL BOVINOS	96,19	53,44	1,67	32/1	0,68	2,11
PLUMAS	88,20	54,20	13,55	4/1	0,50	0,30
SANGRE SECA	84,96	47,20	11,80	4/1	1,20	0,70
TORTA DE ALGODÓN	92,80	51,12	5,68	9/1	2,11	1,33
YUCA RAMAS Y HOJAS	91,64	52,20	4,35	12/1	0,72	NE
ARROZ CASCARILLA	54,55	30,42	0,78	39/1	0,58	0,49
AVENA CASCARILLA	85,00	47,25	0,75	63/1	0,15	0,53
ALGODON CASCARILLA	96,14	53,00	1,06	50/1	0,23	0,83
CAFE PULPA	71,44	30,04	0,86	53/1	0,17	2,07
HELECHO MARRANERO	95,90	53,41	0,49	109/1	0,04	0,19
PASTO GORDURA	82,20	51,03	0,63	81/1	0,17	NE
PASTO GUINEA	93,19	49,17	1,49	33/1	0,34	NE

Fuente. Paschoal (1995)

1.3.6 Población microbiana

El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos (Filippini, 2011). Existen varios tipos de microorganismos presentes en el compostaje como los hongos, bacterias fototróficas, levaduras, bacterias productoras de ácido láctico y hongos de fermentación (Bueno, 2003). Los microorganismos participan en muchos procesos microbiológicos y bioquímicos ligados a la transformación de la materia orgánica (Poincelott, 1972; De Bertoldi, Vallini y Pera, 1983 y Coleman, Vern, y Elliot, 1984), que son usados para el crecimiento celular (Stentifor y Dodds 1991), ya que se ha estimado que la materia orgánica contiene más del 50% de carbono que sirve como fuente de energía para la población microbiana encargada de descomponer los residuos (Darst y Murphy, 1990). La descomposición biológica de los materiales orgánicos como azúcares, almidón, proteínas, hemicelulosa, celulosa, lignina, ceras y lignocelulosa es llevada a cabo por los microorganismos para hidrolizar las macromoléculas anteriores e incorporar a sus células estos compuestos orgánicos que como lo manifiesta Mayea (1992) son utilizados para los procesos de síntesis, respiración y fermentación.

Los organismos que participan en el proceso de compostaje son según la FAO (1991):
Microflora: bacterias, actinomicetos, hongos, mohos y levaduras
Microfauna: protozoos
Macroflora: plantas grandes, hongos (champiñones y setas)
Macrofauna: ácaros, hormigas, termitas, miriópodos, ciempiés, arañas, escarabajos, gusanos

Mayea (1992), se refiere a la actividad que realiza la microflora en el compostaje. Los hongos (mohos y levaduras) son los responsables de la descomposición de los azúcares, y la celulosa, también intervienen en la degradación del almidón, por la acción de las enzimas amilasas, específicamente *Aspergillus oryzae*.

Las bacterias de los géneros *Erwinia*, *Bacillus* y *Pseudomonas* intervienen en la hidrólisis de la hemicelulosa dando finalmente azúcares y ácido galacturónico mediante la enzima citasa además la del género *Proteus* interviene en la hidrólisis de las proteínas, éstas constituyen menos de la mitad de la masa total de microorganismos, muchas soportan calor y sequedad formando esporas que se desarrollan cuando mejoran las condiciones.

Los actinomicetos del género *Bacillus* son también responsables de la descomposición de los azúcares, mientras que *Streptomyces* y *Nocardia* desempeñan un gran papel en la amonificación de los compuestos nitrogenados del humus, estos presentan menor desarrollo que los hongos y las bacterias, son menos activos en las etapas tempranas de compostaje y son visibles a unos 100 mm por debajo de la superficie de la masa del compost.

Existen otros organismos que se encuentran en menor número como son las algas, las que requieren luz solar para su actividad y condiciones de humedad. Los virus requieren organismos hospedantes para vivir, al pasar material infestado a través del compostaje, el número de virus causantes de enfermedades se reduce considerablemente, debido a las altas temperaturas que se alcanzan.

Se encuentran además las formas de vida animal más sencilla, los protozoos, que se alimentan de otros microorganismos (bacterias, hongos y otros protozoos pequeños), se piensa que ellos controlan el número de bacterias y tienen la característica de cambiar de forma para resistir cambios desfavorables (FAO, 1991).

La actividad microbiana tiene gran importancia ya que según Siqueira (1988), a través de la misma se realizan diferentes funciones como: descomposición de los residuos orgánicos ricos en carbono, formación, descomposición y actividad heterótrofa de la biomasa microbiana que controla el flujo de energía y el ciclo interno de nutrientes; producción y secreción de enzimas extracelulares, permitiendo la degradación de compuestos complejos y manteniendo la descomposición cuando cesa la actividad microbiana; mineralización de compuestos orgánicos que contienen N,P,K y otros elementos; síntesis y descomposición del humus; controla la dinámica, mantenimiento y actividad del carbono.

Los microorganismos se encuentran junto a la materia orgánica que descomponen y digieren, durante este proceso se libera energía calorífica y por ello se calientan las pilas. Al descomponerse la materia orgánica, la energía se va consumiendo y en esta misma medida va disminuyendo la actividad microbiana y la población de microorganismos por lo que la pila se enfría (Golveke 1972; Chefets, Hatcher, Yadar y Chen, 1996), de igual forma Musting (1987) y Mathur, Owen, Dinel, y Schnitzer, (1993), plantean que la relación de los grupos microbianos están enteramente en dependencia de la fuente de C disponible, por lo que al disminuir ésta última, disminuyen los microorganismos.

El humus formado, producto del proceso de compostaje es el alimento vegetal más confiable ya que las plantas toman de él la combinación de nutrientes que necesitan y los almacenan de forma que no se lixivien fácilmente (Kolpp, 1966; Mc Garcy y Staniforth, 1978), la mayor parte del nitrógeno derivado de los residuos vegetales según Cox (1972), quedan en el centro de las partículas de humus formadas, al aplicar al suelo el compost, los microorganismos siguen alimentándose de él, en éste momento se liberan los nutrientes del centro de las partículas en forma aprovechable por las plantas, por otra parte Mc Garcy y Staniforth (1978), coinciden en que los organismos secretan continuamente una amplia gama de compuestos orgánicos, éstas secreciones tienen en el suelo un efecto aglutinante y ayudan a mantener la cohesión de la estructura del mismo, se considera así por Shuval (1981), que los microorganismos son parte inseparable del humus.

1.3.7 Tamaño de partícula

La velocidad con que ocurren las reacciones dentro del proceso de compostaje están en dependencia del tamaño de las partículas del material original, ya que como plantean Pascuali (1980) y Corominas y Pérez (1994), mientras más pequeño sea el tamaño de las partículas más rápido es el proceso de descomposición debido a que mayor es la superficie que se encuentra disponible para el ataque de los microorganismos. Si el tamaño de las partículas es muy grande, la superficie de ataque es pequeña y la reacción ocurrirá entonces lentamente o se detendrá, por lo que se recomienda desmenuzar los materiales hasta reducirlos a un tamaño aproximado de 1 a 5 cm, esto se corrobora por la FAO (1991) y MINAZ (1991). Uno de los factores de evaluación de la calidad del compost es precisamente el tamaño de la partícula, su importancia radica en que al tener un

tamaño mediano al iniciar el proceso, permite aumentar la superficie disponible para el ataque de microorganismos, predisponiendo los materiales para la descomposición y favoreciendo una mezcla más homogénea. Generalmente se recomienda un tamaño de partícula de 1/2" para compostación mecánica y de 1-1/2" para compostación en pila (Orozco, 1980).

1.4 Fases del proceso de Compostaje

El proceso de compostaje se presenta porque existen condiciones de nutrientes, humedad y aireación que facilitan que se genere una actividad biológica progresiva, la cual ocasiona cambios de temperatura y pH durante las diferentes fases.

La Figura 1. Muestra las etapas del proceso de compostaje, las cuales se definen a continuación:

Figura 1. Etapas del Compostaje



Fuente. Laich 2011

Según Laich (2011), en el proceso de elaboración del compostaje se reconocen las siguientes etapas:

1.4.1 Fase Mesofílica

Esta primera fase se caracteriza por la presencia de bacterias y hongos; por su gran número, son los primeros microorganismos que inician el proceso, ellos se multiplican y consumen los carbohidratos más fácilmente degradables, produciendo un aumento en la temperatura, desde la temperatura del ambiente hasta unos 40°C. Cuando se inicia el proceso, las moléculas de azúcares, almidones y proteínas de rápido uso energético, sirven de sustrato inicial a los microorganismos mesófilos, cuya actividad y multiplicación van calentando los materiales orgánicos dispuestos a compostar. Hay liberación de CO₂ y H₂O, lo cual reduce el contenido de carbono (C) del compost y el porcentaje de la fracción mineral tiende a aumentar. En este inicio del proceso mesofílico hay abundancia de N-NH₄ que prima sobre el N-NO₃; dominan las bacterias y los hongos mesófilos.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Los hongos, en particular los *hongos filamentosos* o mohos, y las *bacterias mesófilas acidificantes* son las poblaciones dominantes en los residuos orgánicos frescos. Una amplia variedad de especies han sido descritas en ésta fase del proceso (Amner, McCarthy y Edwards, 1988; Beffa, Blanc, Marilley, Fischer, Lyon, y Aragno, 1996; De Bertoldi *et al.*, 1983; Fergus, 1964; Finstein y Morris, 1975; Fujio y Kume, 1991; Nakasaki, Sasaki, Shoda y Kubota, 1985a; Nakasaki, Shoda, y Kubota, 1985b; Riddech, Krammer y Insam, 2002; Strom, 1985a; Strom, 1985b; Tiquia y Michel, Jr. 2002; Waksman, *et al.*, 1993).

En este estadio la población de bacterias puede llegar a 100 millones de células por gramo de material, las bacterias descritas en ésta fase pertenecen a diferentes familias;

Alcaligenaceae, Alteromonadaceae, Bacillaceae, Burkholderiaceae, Bradyrhizobiaceae, Caryophanaceae, Caulobacteraceae, Cellulomonadaceae, Clostridiaceae, Comamonadaceae, Corynebacteriaceae, Enterobacteriaceae, Flavobacteriaceae, Flexibacteraceae, Hyphomicrobiaceae, Intrasporangiaceae, Methylobacteriaceae, Microbacteriaceae, Micrococcaceae, Moraxellaceae, Neisseriaceae, Nitrosomonadaceae, Nocardiosaceae, Paenibacillaceae, Phyllobacteriaceae, Propionibacteriaceae, Pseudomonadaceae, Pseudonocardiaceae, Rhodobacteraceae, Sphingobacteriaceae, Staphylococcaceae, y Xanthomonadaceae.

Uno de los géneros bacterianos predominantes en este estadio es *Bacillus*. La diversidad de especies de este género es alta a temperaturas de hasta 50°C, sin embargo, a medida que se incrementa la temperatura disminuyen su actividad.

Con respecto a los hongos filamentosos, una alta diversidad de especies participan en éste rango de temperatura (Hansgate, Schloss, Hay y Walker, 2005), predominando los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, seguidos de *Trichoderma*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Beauveria*, *Ulocladium*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Scopulariopsis*, *Geotrichum*, entre otros.

Los *Actinomyces* (bacterias filamentosas) se desarrollan a tasas de crecimiento inferiores a la mayoría de las bacterias y hongos y por tanto compiten ineficientemente cuando el nivel de nutrientes es alto. En esta fase predominan géneros de la familia *Nocardiaceae*. De acuerdo con Ortiz (2013), en las primeras 2 semanas de compostaje, se da un alza en la temperatura, que de no ser controlada puede alcanzar hasta unos 90°C, quemando los materiales de la composta y pudiendo reducirlos a cenizas. Este incremento en la temperatura, es producto de la altísima actividad microbiológica que se da en la composta al quemar la energía de los azúcares en el proceso de respiración de los microorganismos. En ésta etapa se presenta una población de microorganismos conocidos como termófilos, los cuales se caracterizan porque pueden sobrevivir a altas temperaturas y su función es descomponer materia orgánica y romper al máximo las cadenas de azúcares, aminoácidos y minerales para con ellos poder alimentarse. Aunado al alza de temperatura se da un incremento de la cantidad de bióxido de carbono, ya que este gas se desprende por la respiración de los microorganismos que se encuentran presentes en la composta.

1.4.2 Fase Termófila

En ésta fase, la temperatura sube de 40°C a 70°C; Los microorganismos mesófilos comienzan a disminuir su actividad rápidamente, una vez que se inicia la fase termófila. El incremento de la temperatura provoca una rápida transición de una microbiota mesófila a una termófila. Los microorganismos mesófilos son parcialmente eliminados, mueren las semillas que se encuentren allí e inician la degradación los organismos termófilos. En los seis primeros días, la temperatura debe llegar y mantenerse a más de 40°C, buscando la reducción o supresión de patógenos contaminantes del hombre y de las plantas de cultivo. Al alcanzar la etapa termofílica (>40°C), se inicia la degradación de las moléculas de más difícil descomposición como la holocelulosa (celulosa más hemicelulosa) y lignina, así como ceras, grasas, aceites y resinas. A estas temperaturas, las bacterias, hongos y *actinomicetos* termófilos o termotolerantes, incrementan su población (De Bertoldi *et al.*, 1983; Finstein y Morris, 1975; Waksman, *et al.*, 1993).

Como la actividad es máxima, se alcanzan las máximas temperaturas y también se llega a la máxima liberación de CO₂ y H₂O, lo cual reduce el contenido de carbono del compost en elaboración y hace más elevado el porcentaje de minerales con respecto a la etapa mesófila; sigue predominando el N-NH₄ sobre el N-NO₃, pero, menos marcado que en la fase mesófila de arranque.

En ésta etapa se refuerza el carácter biooxidativo del proceso: la materia se utiliza para síntesis de los microorganismos y no es totalmente oxidada; el nitrógeno amoniacal N-NH₄ de la cadena proteina – aminoácido – aminas - amonio puede o no perderse hacia la atmósfera, antes de pasar a la forma N-NO₃.

Esto es función de la relación C/N de los materiales orgánicos a compostar, se pierde N si la relación es baja y se puede llegar a pérdidas nulas con relaciones altas. En la etapa termofílica hay lugar a la formación de fitotoxinas, importantes para la eliminación de patógenos que afectan al hombre o a las plantas que se cultivan; aquí dominan las bacterias, los actinomicetos y los hongos termofílicos.

En sentido estricto, no podría hablarse del compost cuando, a pesar del proceso aeróbico no se alcanzan temperaturas mayores a 45°C, las cuales distinguen la etapa termofílica. Los microorganismos mesófilos comienzan a disminuir su actividad rápidamente, una vez que se inicia la fase termófila, el incremento de la temperatura provoca una rápida transición de una microbiota mesófila a una termófila. Los microorganismos mesófilos son parcialmente eliminados a éstas temperaturas y las bacterias, hongos y *actinomicetos* termófilos o termotolerantes incrementan su población (De Bertoldi *et al.*, 1983; Finstein y Morris, 1975; Waksman, Cordon, y Hulpoi, 1993).

Las bacterias, en especial las especies mesófilas del género *Bacillus*, sobreviven en éstas condiciones a través de la formación de endosporas. Otros géneros bacterianos son capaces de engrosar la pared celular o formar una capsula exterior, protegiéndose de las

condiciones adversas y permitiendo su “reactivación” cuando las condiciones sean favorables. En ésta fase, los microorganismos termófilos o termotolerantes incrementan su población a valores del orden de los 100-1000 millones de células por gramo.

1.4.3 Fase de Enfriamiento

La temperatura disminuye desde la más alta alcanzada durante el proceso, hasta llegar a la del ambiente; se va consumiendo el material fácilmente degradable, desaparecen los hongos termófilos y el proceso continúa por organismos esporulados y actinomicetos; cuando se inicia la etapa de enfriamiento, los hongos termófilos que resistieron en las zonas menos calientes del proceso, realizan la degradación de la celulosa.

En ésta etapa de enfriamiento, se empieza a generar una reducción de la población microbial, la cual ya no encuentra suficiente sustrato alimenticio, continúa la descomposición de los materiales más resistentes y parte del sustrato presente lo constituye la necromasa microbial. Se acentúa la formación de nitratos dominantes sobre las formas amoniacales; se sigue reduciendo, pero más atenuadamente el contenido de C de la masa en compostaje. Los nitratos ($N-NO_3$) y otras sales, así como la abundancia de K en solución, aumenta la salinidad. Empieza la degradación de las sustancias fitotóxicas (muchas de ellas ácidos orgánicos, como el acético). La población de microorganismos es dominada por bacterias mesolíticas. La formación de sustancias húmicas, sobre todo ácidos húmicos, se ve favorecida por la aireación y el pH cercano a la neutralidad. (De Bertoldi *et al.*, 1983; Finstein y Morris, 1975; Waksman, *et al.*, 1993).

1.4.4 Fase de Maduración

Puede considerarse ésta etapa como el complemento final de las fases del proceso de fermentación, disminuyendo la actividad metabólica; en ésta etapa, tiene lugar un proceso de fermentación mucho más lento y se pueden presentar aumentos de temperatura, no siendo necesario el suministro de oxígeno, porque es suficiente el que se encuentra en los espacios libres de la masa. En ésta fase, los cambios son menores día a día, pero, con aumento en el porcentaje de la fracción mineral y los nitratos y la disminución en el porcentaje de carbono, liberación de dióxido de carbono (CO_2), y amoníaco ($N-NH_4$); también se eleva la cantidad de actinomicetos, responsables del típico olor a tierra orgánica fresca y de gran parte de la antibiosis.

El grado de maduración de un compost, afecta significativamente su utilización en la agricultura. La adición de un compost inmaduro al suelo provoca una deficiencia de oxígeno, la inmovilización del nitrógeno e incrementa los problemas fitopatogénicos radiculares (Inbar, Chen, Hadar y Hoitink, 1990; Zucconi, Forte, Mónaco y de Bertoldi, 1981), sin embargo, la adición de un compost maduro beneficia la fertilidad del suelo en su estructura, e incrementa los efectos de control biológico (Dick y McCoy, 1993; Hoitink y Grebus, 1994).

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Durante la fase de maduración la diversidad y el número de *Actinomycetes* mesófilos/termotolerantes y de hongos filamentosos capaces de degradar polímeros naturales complejos (lignina, hemicelulosa, celulosa), se incrementa significativamente (De Bertoldi *et al.*, 1983; Finstein y Morris, 1975; Waksman, *et al.*, 1993). La población de bacterias termófilas disminuye 1 o 2 órdenes logarítmicos en comparación con la población presente durante la fase termogénica (10⁸-10¹⁰ UFC/g), sin embargo, la diversidad taxonómica y metabólica se incrementa.

En esta fase las bacterias representan el 80% del recuento total de microorganismos (10⁹-10¹¹ UFC/g) y una pequeña proporción corresponde a bacterias esporuladas. Los *actinomycetes* y los hongos poseen una población de 10⁷-10⁸ UFC/g (Beffa *et al.*, 1996). Estos microorganismos son importantes en la degradación de la celulosa, hemicelulosa, quitina y proteínas, la lignina es degradada principalmente por hongos filamentosos.

La mayoría de los microorganismos presentes en ésta fase e implicados en el ciclo del carbono, poseen actividad proteolítica, amonificante, amilolítica y celulolítica. Así mismo, se han descrito especies fijadoras libres de nitrógeno (*Azotobacter*, 10³-10⁵ UFC/g), denitrificadoras, y sulfato reductoras. Esta diversidad microbiana juega un papel fundamental en la estabilidad del compost (Beffa *et al.*, 1996).

Las bacterias mesófilas que permanecieron inactivas en la fase anterior y que resistieron altas temperaturas, vuelven a estar metabólicamente activas y son capaces de recolonizar el sustrato. La diversidad y cantidad de bacterias capaces de "reactivarse", depende del número de especies existentes con capacidad de formar endosporas o cápsulas.

El tamaño de la población, el número de especies y la actividad metabólica de las bacterias mesófilas se incrementa. Esta respuesta favorece la descomposición de los compuestos orgánicos, la oxidación y mineralización del nitrógeno inorgánico y los compuestos azufrados (producción de nitratos y sulfatos, respectivamente), la formación de compuestos del humus (exopolisacáridos) a través de la polimerización de compuestos orgánicos simples, la fijación del nitrógeno atmosférico, la supresión de fitopatógenos, la mineralización del hierro, manganeso y fósforo, la capacidad de intercambio catiónico y la formación de agregados minerales. Así mismo, contribuye a la degradación de compuestos orgánicos tóxicos (pesticidas) y a la disminución de la cantidad de metales pesados a través de la formación de sales insolubles (Beffa *et al.*, 1996).

1.5 Residuos en la Actividad Agropecuaria

En la actividad agropecuaria, se generan una gran variedad de residuos de origen vegetal y animal. Los residuos vegetales están integrados por restos de cosechas y cultivos (tallos, fibras, cutículas, cáscaras, bagazos, rastrojos, restos de podas, frutas, etc.), procedentes de diversas especies cultivadas. El contenido de humedad de este tipo de residuos es relativo dependiendo de varios factores, características de las

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

especies cultivadas, ciclo del cultivo, tiempo de exposición a los factores climáticos, manejo, condiciones de la disposición, etc.

Entre los residuos animales, se incluyen excrementos sólidos y semisólidos (estiércoles) y líquidos purines, desechos de faena, cadáveres, sobrantes de suero y leche, etc. Los estiércoles y purines son los residuos que presentan mayor interés por la concentración espacial que alcanzan en producciones como la lechera, porcicultura, cunicultura, avicultura, entre otros y por el impacto ambiental negativo que producen en la mayoría de los casos (Sztern y Pravia 2013).

1.5.1 Estiércol

El estiércol es una descripción general de cualquier mezcla de heces, orines y desperdicios. La composición físico-química del estiércol varía de una producción agropecuaria a otra, dependiendo entre otros factores del tipo de ganado, de la dieta y de las condiciones bajo las cuales se produce el estiércol. Los purines a diferencia de los estiércoles tienen un alto contenido de agua, por lo que son manejados como líquidos. (Sztern y Pravia. 2013); Sierra y Rojas (2002), definen estiércol como las deyecciones sólidas de los animales, mientras que los purines son una mezcla de orina, estiércol y agua de lavado. Honeyman (1993), menciona que la composición química del estiércol cualquiera sea la especie, depende de las proporciones de los distintos ingredientes de la dieta y su contenido nutricional, de algunos aditivos como las enzimas, del procesamiento del alimento y la cantidad de alimento consumido; así como de la biodisponibilidad de aminoácidos y de minerales (Tabla 2). Además, la relación C/N puede variar como lo explica Abaigar (2007), debido al tipo de instalaciones en las que se encuentren los animales, el tipo de manejo del ganado y la duración del almacenamiento del estiércol ya que se produce pérdidas de nitrógeno y también de humedad debido al secado.

Tabla 2: Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (como porcentaje de la materia seca).

Nutriente	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
Materia orgánica (%)	48,9	45,3	52,8	63,9	54,1
Nitrógeno total (%)	1,27	1,36	1,55	1,94	2,38
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅ , %)	0,81	1,98	2,92	1,82	3,86
Potasio (K ₂ O, %)	0,84	0,66	0,74	0,95	1,39
Calcio (CaO, %)	2,03	2,72	3,2	2,36	3,63
Magnesio (MgO, %)	0,51	0,65	0,57	0,45	0,77

Fuente: Aso y Bustos, 1991

1.5.2 Impacto Ambiental generado por el estiércol

El estiércol generado en los sistemas ganaderos puede provocar impactos ambientales negativos si no existe un control en el almacenamiento, el transporte o la aplicación, debido a la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera, y la acumulación de micro y macro nutrientes en el suelo y en los cuerpos hídricos superficiales. En EE.UU. hay legislaciones específicas para el manejo y el depósito de excretas animales que impacten cuerpos de agua, suelo y atmósfera, las cuales son supervisadas y certificadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). En Canadá las regulaciones para manejo y depósito de excretas animales no son menos rigurosas. En Argentina, Chile, Colombia y México, la regulación y vigilancia gubernamental sobre el uso y manejo de excretas animales es escasa y confusa, ya que sólo se especifican ciertas normas sobre descargas de contaminantes al agua, restando importancia a las emisiones a la atmósfera y suelo y sin especificaciones claras relacionadas con excretas de ganado que son altamente contaminantes.

Aunque las enfermedades humanas ocasionadas por excretas animales no son frecuentes en granjas avícolas, los trabajadores pueden presentar asma, pulmonía y enfermedades oculares (irritación), cuando la ventilación en las granjas es deficiente. Otro riesgo de enfermedades para la población humana es el consumo de agua contaminada con: 1) estiércol conteniendo bacterias patógenas y la más común es *Escherichia coli* que causa diarrea y gases abdominales (LeJeune y Wetzel, 2007); 2) contenidos altos de nitratos que reducen la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, conocida como metahemoglobinemia (Miner *et al.*, 2000); 3) hormonas, principalmente estrógenos, relacionadas con una reducción en la cantidad de esperma en humanos (Sharpe y Skakkebaek, 1993).

El impacto ambiental como generación de gases de efecto invernadero, eutrofización de cuerpos de agua y sobrecarga de nutrientes en suelos de cultivo ocasionado por excretas de ganado, dependerá en gran medida de la especie pecuaria, del sistema de alimentación y del manejo del estiércol. Los estudios comparativos de impacto ambiental entre sistemas de producción animal extensivos y tecnificados son escasos. Thomassen, Van Calker, Smits, Iepema y de Boer, (2008), sugieren que los sistemas de producción de leche de tipo orgánico impactan menos al agua y al suelo, pero emiten más gases de efecto invernadero, comparados con los sistemas de producción de leche convencionales. Sin embargo, los resultados son inciertos porque en su mayoría se basan en el concepto de cantidad y no de eficiencia. Por ejemplo, los contaminantes de la cadena productiva de la industria lechera se deben evaluar considerando aquellos provenientes de la producción de cultivos y granos, producción y transporte de leche, procesamiento, empaque, distribución, venta al detalle, consumo y eliminación.

La aplicación de estiércol en tierras de cultivo proporciona un beneficio ecológico al depositar nutrientes como nitrógeno y fósforo en el suelo; el nitrógeno del estiércol se encuentra principalmente en forma de amoníaco y las plantas lo usan como nutriente (Miner *et al.*, 2000). A pesar de ello, la valoración del estiércol como fertilizante orgánico, comparada con la de fertilizantes químicos, es mínima. Por sus características orgánicas,

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

el estiércol aumenta la capacidad de retención de agua, el intercambio catiónico y la filtración de agua al subsuelo, y reduce la erosión. Además, la fracción líquida del estiércol ayuda a disminuir las pérdidas de nitrógeno, carbono y azufre en sus formas gaseosas en el suelo (Capulín, Núñez, Etchevers, y Baca, 2001), así se puede reducir el uso de fertilizantes químicos y por tanto el impacto ambiental (Bouwman y Booij, 1998).

Como se indicó, los constituyentes inorgánicos de importancia ambiental contenidos en la excretas son nitrógeno y fósforo, pero es importante conocer sus concentraciones porque el método de fertilización, la combinación con otros fertilizantes, la velocidad de descomposición y sus posibles factores de riesgo como contaminantes, dependerán de ellos (IPCC, 2006). Según ASABE (2005), los volúmenes promedio de estiércol fresco generados cada día son 0.102 Kilogramo/pollo de engorde; 0.27 Kilogramo/pavo; 4.7 Kilogramo/cerdo de engorde; 22 Kilogramo/ bovino de engorde; 38 Kilogramo/vaca seca y 68 Kilogramo/vacas lactantes.

El suelo puede ser seriamente afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de nutrientes (nitrógeno, fósforo), microorganismos patógenos (*E coli*), antibióticos y compuestos que interactúen con el sistema endocrino (hormonas esteroidales, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas) (Powers, 2009). En países donde las regulaciones ambientales son laxas o no existen, el estiércol se aplica al suelo continuamente, excediendo la capacidad de captación de nutrientes por los cultivos (Dietz y Hoogervorst, 1991). Esta sobrecarga de nutrientes en el suelo ocasiona su infiltración por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas (Miner *et al.*, 2000). Por ejemplo, las excretas bovinas frescas esparcidas en áreas de cultivo, contienen nitrógeno en forma de nitratos y nitritos; la forma de acumulación de éstos compuestos oxidados en el cultivo puede causar intoxicación en el ganado que los consume (Nicholson, 2007).

La expansión de la agricultura y ganadería intensiva se ha establecido mayoritariamente en áreas con escasas de agua. El agua es contaminada por excretas ganaderas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas, e indirectamente por escurrimientos y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo (EPA, 2006). El nitrógeno es abundante en el estiércol y está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través del suelo, mientras que el fósforo del estiércol está relacionado con la contaminación de aguas superficiales (Miller, 2001; Reddy, Kadlec, Flaig y Gale, 1999).

Debido a que el fósforo en el agua no se considera directamente tóxico, no se han establecido niveles estándares en el agua potable. Sin embargo, el fósforo tiene un impacto ambiental importante en los recursos hídricos porque vertido directamente en las corrientes o aplicado en dosis excesivas en el suelo, estimula el proceso de eutrofización el cual aumenta las plantas acuáticas, disminuye el oxígeno disuelto y varía el pH, afectando así la calidad del agua (EPA, 2000). Aunque no se ha reportado la concentración de nitrógeno y fósforo en los distintos cuerpos de agua, la cantidad de ellos lixiviados o arrastrados a mantos acuíferos depende de la precipitación (duración), la

percolación (los suelos arenosos presentan altas tasas de percolación) y la pendiente del suelo por donde se desplazan las escorrentías (Nelson, 1999).

Las descargas a la atmósfera provenientes del estiércol incluyen polvo, olores y gases producto de la digestión anaeróbica y descomposición aeróbica. El polvo se presenta principalmente en operaciones ganaderas en confinamiento en zonas áridas. Cuando la vegetación es completamente removida, se forma una capa de estiércol y el movimiento del ganado produce enormes nubes de polvo. El olor no presenta riesgos a la salud, pero la mayoría de la gente encuentra inaceptable los olores emitidos por el estiércol en zonas urbanas (Miner *et al.*, 2000).

Entre los contaminantes liberados por el estiércol hacia la atmósfera se destaca el amoníaco, así como otros gases de efecto invernadero (GEI) que incluyen metano y óxido nitroso. Las emisiones globales de metano entérico, metano de estiércol y de óxido nitroso son 113, 40 y 10 TgCO₂Eq (Gouin, Laliberty y Kay (1992); Pérez, *et al.*, (2006); EPA, 2005). México contribuye con menos de 0.04% del metano y menos de 0.008% de óxido nítrico del total mundial (SEMARNAT, 2008). El metano es un GEI 23 veces más potente que el CO₂, y el estiércol contribuye con 16% de las emisiones globales (IPCC, 2006). El metano emitido por el estiércol proviene del metano de la fermentación entérica capturado en las heces, y de la digestión anaeróbica de la materia orgánica del estiércol (De Klein, Pinares y Waghorn, 2008). El estiércol contribuye con el 50% del total de emisiones de amoníaco hacia la atmósfera, porque su tasa de volatilización es mayor a 23% (BANR Y BEST, 2003).

El óxido nitroso es 296 veces más potente que el CO₂, y México contribuye con 0.7% de emisiones de éste gas por actividades pecuarias en el mundo. El estiércol aporta cerca del 25% de las emisiones antropogénicas de óxido nitroso (IPCC, 2006), el cual se genera durante los procesos de nitrificación (oxidación biológica de amonio a nitrito y nitrato) y desnitrificación (reducción de nitrato a nitrógeno gaseoso), donde el intermediario es el óxido nitroso (Stevens y Laughlin, 1998).

1.5.3 Propiedades de los Abonos Orgánicos

Los abonos orgánicos constituyen una forma de reciclaje de nutrientes en el sistema agropecuario, estos incluyen todo material de origen orgánico utilizado para la fertilización de cultivos o como mejoradores de suelos (Soto, 2003). El compostaje es una tecnología ecológica que permite la reutilización y biotransformación de materiales orgánicos; el compost en la etapa final del proceso adquiere su madurez cuando se obtiene un producto estable (Labrador, 2001). Un compost es un recurso orgánico capaz de proporcionar cantidades notables de nutrientes esenciales, principalmente nitrógeno, fósforo y potasio al suelo o a las plantas (Gómez, 2000), estos mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Los efectos del compost sobre las propiedades físicas van dirigidos hacia tres objetivos concretos: el mejoramiento de la estabilidad estructural, la regulación del balance hídrico del suelo y el mejoramiento de las propiedades químicas. En este último aspecto, los abonos orgánicos aumentan el poder

tampón del suelo reduciendo las oscilaciones de pH; de otro lado, incrementan la capacidad de intercambio catiónico mejorando la fertilidad.

Con relación a las propiedades biológicas, los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, promoviendo una mayor actividad radicular y facilitando la dinámica de microorganismos aerobios. De esta manera, constituyen una fuente de energía para que los microorganismos se multipliquen rápidamente (Kolmans y Vásquez, 1996). La calidad del compost está afectada por la calidad del material original, como grado de digestión, contenido original de nutrientes, entre otros, y por el sistema de compostaje utilizado (Mazzarino, Laos, Satti, Roselli, Moyano, Tognetti, y Labud, 2005). Para evaluar la calidad de los materiales orgánicos, durante y al final del proceso de compostaje, se han propuesto diferentes criterios basados en la cuantificación de los parámetros físicos, químicos y biológicos (Cegarra, 1994). Estos criterios definen las características benéficas del compost y permiten recomendar su aplicación para diferentes finalidades agrícolas, siendo ésta última la forma de evaluar los efectos del producto sobre variables de rendimiento.

Las prácticas agronómicas de fertilización hacen referencia a todas aquellas técnicas que permiten mejorar la fertilidad de las tierras desde el punto de vista físico, químico y biológico (Bertsch, 2003). Dentro de éstas, el abastecimiento de nutrientes se realiza a través de fuentes minerales (fertilizantes sintéticos) y abonos orgánicos como los restos de cosecha, estiércoles, compost y vermicompost, entre otros. En las últimas décadas ha cobrado importancia el uso de fuentes orgánicas debido a los costos de los fertilizantes químicos, al desequilibrio ambiental que estos ocasionan en los suelos y a la necesidad de preservar la materia orgánica en los sistemas agrícolas, lo cual es un aspecto fundamental relacionado con la sostenibilidad de dichos sistemas (Ramírez, 2005).

1.5.4 Inoculación de Microorganismos Eficaces en el Proceso de Compostaje

Una de las alternativas que se presenta actualmente en la realización de compostajes, es la aplicación de Microorganismos Eficaces (EM), que bien utilizados puede reducir no sólo la contaminación del microambiente (control de malos olores, moscas), sino también mejorar la calidad de la materia orgánica, acelerar la estabilización del proceso y disminuir el impacto ambiental causado por las explotaciones pecuarias, pues el EM es un inoculado constituido por la mezcla de varios microorganismos benéficos (levaduras, actinomicetos, bacterias acidolácticas y fotosintéticas) que son mutuamente compatibles entre sí y coexisten en un cultivo líquido (Higa, 1997).

Aumentar la carga microbiana responsable de las fases de descomposición mesófila (<40°C) y descomposición termófila (40-60°C) que ocurren durante el proceso de compostaje de la materia orgánica, procura una actividad de descomposición de la materia orgánica más eficiente al fortalecer y potenciar el dinamismo microbiológico en las etapas mencionadas, esto conlleva a una reducción de las mismas fases y por ende un acortamiento del tiempo de compostaje. La inoculación a la pila de compostaje con Microorganismos Eficaces (EM), tiene el objetivo de disminuir el tiempo de elaboración del abono orgánico, obtener un material microbiológico y nutricionalmente mejorado (APROLAB, 2007).

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

El EM promueve la transformación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando que se liberen gases generadores de olores molestos (sulfurosos, amoniacales y mercaptanos). Adicionalmente, evita la proliferación de insectos vectores, como moscas, ya que éstas no encuentran un medio adecuado para su desarrollo. Además incrementa la eficiencia de la materia orgánica como fertilizante, ya que durante el proceso de fermentación se liberan y sintetizan sustancias y compuestos como: aminoácidos, enzimas, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles, que al ser incorporados al suelo a través del abono orgánico, mejoran sus características físicas, químicas y microbiológicas (APROLAB, 2007).

A continuación se describen algunos de los principales tipos de microorganismos presentes en el EM y su acción:

- Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* spp.)

Las bacterias ácido lácticas producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos desarrollados por bacterias fotosintéticas y levaduras. Desde tiempos antiguos, muchos alimentos y bebidas como el yogurt y los pepinillos son producidos usando bacterias ácido lácticas.

Las bacterias ácido lácticas tienen la habilidad de suprimir microorganismos causantes de enfermedades como *Fusarium*, los cuales aparecen en sistemas de producción continua. Bajo circunstancias normales, las especies como *Fusarium* debilitan las plantas cultivadas, exponiéndolas a enfermedades y a poblaciones crecientes de plagas como los nemátodos. El uso de bacterias ácido lácticas reduce las poblaciones de nemátodos y controla la propagación y diseminación de *Fusarium*, mejorando así el medio ambiente para el crecimiento de cultivos. El ácido láctico es un fuerte esterilizador, suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica. Las bacterias ácido lácticas aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa, transformando esos materiales sin causar influencias negativas en el proceso (APROLAB, 2007).

- Levaduras (*Saccharomyces* spp.)

Estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división celular activa. Sus secreciones son sustratos útiles para Microorganismos Eficaces como bacterias ácido lácticas y actinomicetos (APROLAB, 2007).

1.5.5 Madurez y calidad del producto final

La madurez del compost radica en la obtención del producto final del proceso de descomposición que como plantea Leal y Madrid (1998) es un abono orgánico altamente humificado, Funes y Hernández (1996), refieren que existen parámetros químicos (relación C/N, pH, nutrientes, materia orgánica), físicos (tamaño de partícula, talla del

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

compost, olor y color) y biológicos (actividad microbiana, patógenos, malas hierbas y respuesta a las plantas), que determinan su calidad.

Uno de los aspectos más utilizados para dar criterio de calidad es la composición química del compost maduro, usado por la FAO (1991), donde se plantea que la materia orgánica está en un rango de 25 a 80%, nitrógeno de 0,4 a 3%, fósforo de 0,1 a 1,6%, potasio de 0,4 a 1,6% y calcio de 6,0 a 11%. Corominas y Pérez (1994), obtuvieron para compost de residuos vegetales una relación C/N de 15,5:1, Stentiford y Dodds (1991), indican que cuando la relación C/N está entre 10 y 20 es porque se obtuvo un material biológicamente estable, por otra parte Mayea (1995), en un compost obtenido a las cuatro semanas, señala que éste presentó una relación C/N de 5:1, pH de 6,9, nitrógeno de 2,6%, fósforo 0,9%, potasio 0,8%, calcio 8,3%, magnesio 1,6% y la materia orgánica de 24%. Kolmans y Vázquez (1996), realizaron un compost donde encontraron 0,5% de nitrógeno e igual cantidad de fósforo y potasio, con 0,3% de magnesio y 2,5% de calcio; la FAO (1997), muestra los siguientes criterios relación C/N de 15–20, materia orgánica de 7–10,3%, nitrógeno 0,30%, fósforo 0,20% y potasio 0,30%. Dentro de los parámetros físicos, MINAZ (1991), define que la velocidad de pérdida de peso debe ser del 2% diario, siendo el peso final entre el 40 y 50% del inicial, en tanto Mayea (1992), señala que el compost está maduro cuando la pila ha bajado un tercio de su tamaño, igualmente García, Hernández, Costa y Ayuso (1992) y Frioni (1996), plantean que debe bajar de un 20 a un 60% o 1/6. El material adquiere un color oscuro, olor agradable a bosque y se pierde la humedad hasta llegar a un 35% con temperatura igual a la ambiental. Kolmans y Vázquez (1996), indican que el material debe ser suelto, sin terrones, de color marrón oscuro, si tiene mal olor con buenas condiciones de manejo, quiere decir que la degradación de los materiales por las bacterias no ha concluido, el olor a barro guardado indica la presencia de moho y un pH muy ácido es consecuencia de mala aireación y exceso de humedad. Dentro de los parámetros biológicos para evaluar la calidad del compost se encuentra el porcentaje de germinación de las plantas; al respecto Mayea (1995), obtuvo un 97,5%, planteando que siempre que se usó compost, el mismo fue mejor.

2. ANTECEDENTES

Cariello, Castañeda, Riobo y Gonzalez, (2007), realizaron el trabajo “Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos”. El objetivo de éste estudio fue acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos, donde se inocularon pilas de material con una mezcla de microorganismos endógenos. Las bacterias se identificaron como *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* y un hongo, *Aspergillus fumigatus*. Se preparó un inóculo con una concentración de 1×10^7 UFC/ml para cada microorganismo y se aplicó por aspersión, 2L m⁻³. Se evaluaron los siguientes parámetros: aspecto físico, 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 sin inoculación. Estos resultados indicaron que el inóculo fue útil para acelerar el proceso de compostaje en residuos urbanos.

Olivares, Hernández, Vences, Jáquez, Ojeda (2012), en su trabajo “Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo”, comentan que el estiércol de ganado vacuno no tratado, constituye un importante reservorio de contaminantes, al situarse entre las principales fuentes de contaminación de mantos freáticos y del suelo. Los autores, evaluaron la aplicación de composta y lombricompostado obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno lechero después de un período de almacenamiento, en la asimilación de nutrientes por el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Un segundo objetivo fue cuantificar los cambios en las características fisicoquímicas del suelo para reducir el uso de fertilizantes químicos y mejorar sus características. Se establecieron 6 tratamientos: fertilización con lombricomposta, composta, urea, urea + lombricomposta, urea + composta y el testigo. Se evaluó el contenido de macro y micronutrientes tanto en el tejido foliar de lechuga como en el suelo, en el cual se incluyó la determinación de MO y pH. Los resultados mostraron que el contenido nutricional de N foliar en plantas de lechuga tratadas con composta y lombricomposta, fue similar respecto a la aportación equivalente del fertilizante nitrogenado inorgánico. Se observaron diferencias en el contenido de Ca, Mg, Zn y Mn foliar en las diferentes técnicas de fertilización. Se obtuvieron las mejores condiciones de MO y en la concentración de macronutrientes en los suelos con fertilización a base de lombricomposta y composta.

Escobar, Mora y Romero (2013), con base en un compostaje de material orgánico en mezcla (pulpa de café, residuos de banano, gallinaza y bovinaza), proveniente de fincas cafeteras ubicadas en el departamento de Cundinamarca, determinaron y compararon indicadores químicos y biológicos. Además, mediante un bioensayo, usando dos especies con alto potencial alimentario y forrajero: maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*), se evaluó el efecto del compost sobre parámetros agronómicos y productividad en ambos cultivos. Siete tratamientos fueron evaluados: Abono químico (Q), Mezcla 1 (Mz1), Mezcla 2 (Mz2), Mezcla 3 (Mz3), Testigo sin fertilización (SF), Abono orgánico comercial (AOC)], con base en la determinación de parámetros químicos (MO, macro y micronutrientes). En el bioensayo con maíz (*Zea mays*), Q y Mz1 obtuvieron los parámetros más altos durante la etapa vegetativa; en la etapa de floración la Mz3 obtuvo los mejores valores en los parámetros. En frijol (*Phaseolus vulgaris*), en la etapa

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

vegetativa, los tratamientos Q y Mz1 fueron los mejores sin presentar diferencias significativas entre sí; en las etapas de floración y rendimiento Mz2 fue la que obtuvo mejor respuesta. En conclusión, los abonos orgánicos son una alternativa viable y sostenible probada bajo condiciones de campo.

Sandemonte, García y Valencia (2011), evaluaron la tasa de descomposición de la hojarasca de caña de azúcar mezclada con un abono orgánico tipo compost, usando un acelerador finito (melaza) y un acelerador infinito (microorganismos eficientes), demostraron que la melaza es un acelerador de la descomposición de los residuos de hoja de caña, pues muestra una marcada influencia en la tasa de descomposición inicial de dichos residuos, pero una vez consumidos los carbohidratos que la constituyen, la tasa de descomposición se disminuye ostensiblemente. Se evidencia entonces el potencial de los residuos de hoja de caña como elementos para el mantenimiento y/o mejoramiento del capital biofísico en el sistema productivo de la caña, debido a su alta eficiencia fotosintética.

De Vega, García, Rodríguez, Corona, Aceves, Escalante y Vázquez (2013), realizaron la evaluación de diferentes compostas tipo bocashi elaboradas con estiércol de bovino, cerdo, ovino y conejo, en el trabajo se plantea que la excreta de diferentes especies animales, pueden ser utilizadas en la elaboración de composta tipo bocashi, y comprobar que el contenido de nutrientes no se ve afectado. La investigación se llevó a cabo en el centro universitario de ciencias biológicas y agropecuarias, con el objetivo de evaluar la factibilidad de producir composta con estos desechos y comparar las características de cada una. Se evaluaron cuatro tratamientos, estiércol de cerdos, bovinos, ovinos, porcinos y conejos. Las variables medidas fueron: materia orgánica, pH, nitratos, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, cobre, hierro, manganeso, zinc, boro, carbonatos y sulfatos. Los resultados de este estudio indican que la composta con mayor cantidad de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y manganeso fue la que se elaboró con excreta de cerdo; esto se debe al mayor contenido de nutrientes en la dieta (por ejemplo, la proteína requerida por un bovino en producción es de 18% y la de un cerdo es de 20–22%). La edad del animal (etapa productiva) también influye, puesto que los requerimientos y aportación de nutrientes también varían, sin embargo, esto no descarta que las excretas de las otras especies puedan utilizarse para realizar compostas, puesto que también aportan beneficios, tanto nutricionales como ambientales, ya que a la larga, dichos residuos se transformaran en fuentes de contaminación de no tratarse.

Castrillón, Bedoya y Montoya, (2006), evaluaron el efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos en sistemas de compostaje con aireación pasiva y sin aireación. El proceso de compostaje se realizó en campo con dos pilas que se llevaron hasta la etapa de maduración. Las muestras se recolectaron y se incubaron en caldo enriquecido BHI y con pH ajustado a 5, 6, 7, 8 y 9. A las 24 horas se sembraron para el recuento de bacterias y mohos y levaduras. También se tomó una muestra a pH de campo y se realizó conteo de microorganismos. El autor comprobó que el efecto del pH es significativo en el crecimiento de bacterias, mohos y levaduras. Para las bacterias el pH de 5 fue el de mayor influencia en ambas pilas y para los mohos y levaduras el pH 8 y 9 en pilas aireadas.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Naranjo (2013), realizó el trabajo de investigación titulado “Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost”, con el propósito de evaluar el efecto de los microorganismos capturados en la zona de estudio (P1) y del Compost Treet (P2), aplicados en tres (10 D1, 20 D2 y 30 D3 cc/10L de agua, respectivamente). Los tratamientos fueron siete, producto de la combinación de los factores en estudio más el testigo que no recibió aplicación de microorganismos. Se efectuó el análisis de variancia (ADEVA), pruebas de significación de Tukey al 5%, para diferenciar entre tratamientos, factor dosis e interacción; pruebas de Diferencia Mínima Significativa al 5% para el factor productos y polinomios ortogonales con cálculo de correlación y regresión para el factor dosis. El análisis económico de los tratamientos se realizó mediante el cálculo de la relación beneficio costo (RBC). Con la utilización de Compost Treet (P2) como aporte de microorganismos benéficos, para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost, se alcanzaron los mejores resultados, al reducirse el tiempo a la cosecha y obtener compost de mejor calidad, obteniéndose en los tratamientos de éste producto: menor tiempo a la obtención del compost (90,67 días), mayor número de colonias (espirilos, cocos, bacilos), (8,44/g de compost), con mejor contenido nutricional, al registrar mayor contenido de fósforo (339,66 ppm) y buen contenido de nitrógeno, potasio y materia orgánica, por lo que es el producto apropiado para acelerar la descomposición de los materiales orgánicos, obteniéndose el compost en menor tiempo, con mejor contenido nutricional. La aplicación de los microorganismos en la dosis de 30 cc/10L de agua (D3), causó el mejor efecto en el proceso de descomposición, acelerando el tiempo a la cosecha del compost y obteniéndose mejor calidad en su contenido nutricional, por cuanto los tratamientos que recibieron aplicación de esta dosis reportaron: menor tiempo en la obtención del compost (86,50 días), mayor número de colonias (espirilos, cocos, bacilos), (8,33/g de compost), con mejor contenido de nitrógeno (1,13%), como también de fósforo (219,99 ppm) y potasio (0,72%), reportando el mayor porcentaje de materia orgánica (24,63%); por lo que es la dosis de aplicación adecuada de los microorganismos, para mejorar su calidad final y acortar el tiempo a la obtención del abono. La dosis de 20 cc/10L de agua (D2), reportó buenos resultados especialmente con el segundo mejor contenido de fósforo (186,54 ppm) y de potasio (0,69%) y el mejor contenido de materia orgánica (24,66%). Del análisis económico se deduce que, el tratamiento P2D3 (Compost Treet, 30 cc/10L de agua), alcanzó la mayor relación beneficio costo de 0,19 en donde los beneficios netos obtenidos fueron 0,17 veces lo invertido, siendo desde el punto de vista económico el tratamiento de mayor rentabilidad.

3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

3.1 Área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en la Granja Experimental Bengala de la Universidad del Quindío (figura 2), ubicada a una altitud de 2.050 msnm, con una temperatura promedio de 18°C y un área aproximada de 13 ha, en las cuales se desarrollan actividades agrícolas y pecuarias tales como ganadería, porcicultura, avicultura, cunicultura, piscicultura, cultivos permanentes y transitorios; el promedio anual de lluvia es de 2800 mm, en la región se presentan 4 meses de intensa lluvia: Febrero y Marzo con una precipitación media de 248 mm y Noviembre y Diciembre con promedio de 386 mm (www.filandia-quindio.gov.co 2013)

La granja pertenece geográficamente a la vereda Cruces del municipio de Filandia, el cual se encuentra ubicado al norte del departamento del Quindío a los 4 grados 41 segundos de latitud Norte y en los 75 grados 40 segundos de longitud Oeste, en los ramales occidentales de la cordillera Central, el municipio se encuentra a una altura de 1.923 msnm y a una temperatura promedio de 18°C, limita por el Norte con el departamento de Risaralda, por el Sur con el municipio de Circasia, por el Oriente con el municipio de Salento y por el Occidente con el municipio de Quimbaya, tiene una extensión territorial de 10.053 ha y una población de 15.710 habitantes (Alcaldía de Filandia 2013).

Figura 2. Ubicación geográfica del municipio de Filandia, Quindío.



3.2 Diseño Experimental

El modelo para cada uno de los tres renglones (Bovinaza, Porcinaza y Conejaza) es de un FACTORIAL con cinco (5) niveles, así: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$
Donde:

- i : i ésima observación, $i = 1, \dots, 60$ (partiendo del hecho que se registra diariamente los datos y que el proceso está estimado para aproximadamente dos meses)
- j : j ésimo tratamiento: $j = 1, \dots, 5$ (los tratamientos son: estiércol solo y estiércol con 1,2,3 o 4 litros de acelerador)
- μ : representa el efecto común de todas las observaciones (T° promedio, pH promedio de los compostajes en las cinco (5) condiciones)
- τ_i : el efecto del tratamiento utilizado
- ε_{ij} : el error aleatorio dentro de cada tipo de sustrato a compostar
- Las variables respuesta son: T° y pH

3.3 Tratamientos

En la granja experimental descrita, se establecieron 15 tratamientos con 3 repeticiones elaborados de la siguiente manera:

3.3.1 Tratamientos elaborados con Bovinaza

Se establecieron 5 compostajes con estiércol de Bovino elaborado y denominado de la siguiente manera:

- Tratamiento 1 Bovino (T1B), elaborado únicamente con estiércol de bovino.
- Tratamiento 2 Bovino (T2B), elaborado con estiércol de bovino adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 1 litro de producto por tonelada de estiércol.
- Tratamiento 3 Bovino (T3B), elaborado con estiércol de bovino adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 2 litros de producto por tonelada de estiércol.
- Tratamiento 4 Bovino (T4B), elaborado con estiércol de bovino adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 3 litros de producto por tonelada de estiércol.
- Tratamiento 5 Bovino (T5B), elaborado con estiércol de bovino adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador

de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 4 litros de producto por tonelada de estiércol.

3.3.2 Compostajes con Porcinaza

Se establecieron 5 compostajes con estiércol de porcino elaborados y denominados de la siguiente manera:

- Tratamiento 1 Porcino (T1P), elaborado únicamente con estiércol de porcino.
- Tratamiento 2 Porcino (T2P), elaborado con estiércol de porcino adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 1 litro de producto por tonelada de estiércol.
- Tratamiento 3 Porcino (T3P), elaborado con estiércol de porcino adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 2 litros de producto por tonelada de estiércol.
- Tratamiento 4 Porcino (T4P), elaborado con estiércol de porcino adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 3 litros de producto por tonelada de estiércol.
- Tratamiento 5 Porcino (T5P), elaborado con estiércol de porcino adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 4 litros de producto por tonelada de estiércol.

3.3.3 Compostajes con Conejaza

Se establecieron 5 compostajes con estiércol de conejo elaborados y denominados de la siguiente manera:

- Tratamiento 1 Conejo (T1C), elaborado únicamente con estiércol de conejo.
- Tratamiento 2 Conejo (T2C), elaborado con estiércol de conejo adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 1 litro de producto por tonelada de estiércol.
- Tratamiento 3 Conejo (T3C), elaborado con estiércol de conejo adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 2 litros de producto por tonelada de estiércol.
- Tratamiento 4 Conejo (T4C), elaborado con estiércol de conejo adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 3 litros de producto por tonelada de estiércol.

- Tratamiento 5 Conejo (T5C), elaborado con estiércol de conejo adicionado con el producto (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), como acelerador de la descomposición de la materia orgánica, a razón de 4 litros de producto por tonelada de estiércol.

Figura 3. Tratamientos de compostajes



Figura 4. Cubierta de compostajes



El producto que se utilizó en el proceso de compostaje como acelerante en los tratamientos descritos, se denomina: microorganismos transformadores de materia orgánica – TMO (Anexo 1, ficha técnica). Este producto fue elaborado con la finalidad de proporcionar microorganismos capaces de acelerar el compostaje y otros procesos de transformación de materia orgánica para la producción de acondicionadores o mejoradores de suelo. El grupo de microorganismos que lo conforman son: microorganismos ácido lácticos y levaduras; la Tabla 3, registra su composición.

Tabla 3. Composición del producto: Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica – TMO

Composición	
Concentración mínima por cada microorganismo	30x10 ⁷
Pureza microbiológica mínima	95%
pH	6.5

Fuente. Sobiotech (2013)

Para efectos de aplicación, cada tratamiento tuvo una muestra de 50 kilogramos con una humedad aproximada del 60%. El producto acelerador se adicionó en la cantidad proporcional al peso de la muestra (50 kilogramos) y de acuerdo al tratamiento correspondiente. Se utilizó el sistema de montón o pila para realizar los compostajes; para proteger el proyecto de la intemperie, todos los tratamientos se ubicaron bajo un galpón tipo invernadero dispuesto para el trabajo en la granja experimental Bengala de la Universidad del Quindío, además cada uno se cubrió con plástico en forma de ruana como lo muestran las figuras 2 y 3.

Después de instalados los tratamientos, se hizo un seguimiento de las características físicas y químicas observando el comportamiento, registrando diariamente la temperatura

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

y el pH como determinantes del proceso, hasta que se obtuvieron los compostajes ya maduros y habilitados.

Para la medición del pH, se utilizó un potenciómetro para suelos y sustratos, el cual se colocaba diariamente en cada uno de los tratamientos. Para la medición de temperatura se utilizaron termómetros análogos de mercurio con escala de 1 a 100 grados centígrados; en éste caso se adquirieron termómetros para cada pila de compostaje, de tal manera que se monitoreara la temperatura constantemente.

Es importante señalar que los volteos que se hicieron a los compostajes con el fin de procurarles aireación, se realizaron de acuerdo al comportamiento que se registraba en la temperatura de las pilas.

Es importante mencionar que los estiércoles de porcino y conejo, deben acondicionarse físicamente antes de comenzar el proceso en cuanto a: tamaño de la partícula, humedad y relación C/N. En nuestro caso se rompió la materia fecal del porcino alcanzando partículas de 1,5 a 2 centímetros de diámetro aproximadamente, esto con el fin de favorecer la aireación de la biomasa a compostar; la relación C/N del estiércol de porcino está estimada en 16:1 (Tabla 1), y como se ha mencionado esta debe aproximarse a 30/1, lo que sugiere la adición de una materia prima con un contenido de carbono que mejore la relación en este sentido. El estiércol de porcino utilizado en el ensayo provenía de un galpón que tenía una cama de cascarilla de arroz, este material presenta una relación C/N 39:1 (Tabla 1), la cual mezclada adecuadamente corrige este aspecto, elevando la relación C/N a un nivel de 30:1, aproximadamente.

Es importante advertir que la cascarilla de arroz mejora la estructura física del abono orgánico, facilitando la aireación de la humedad de la filtración de nutrientes en el suelo, también favorece el incremento de la actividad macro y microbiológica del abono y de la tierra y al mismo tiempo estimula el desarrollo uniforme y abundante del sistema radical de las plantas. La cascarilla de arroz es una fuente rica en sílice, lo que confiere a los vegetales mayor resistencia contra el ataque de plagas insectiles y enfermedades. A largo plazo, se convierte en una constante fuente de humus. En la forma de cascarilla carbonizada, aporta principalmente fósforo y potasio y al mismo tiempo ayuda a corregir la acidez de los suelos (Rodríguez, 1994).

La partícula de materia fecal del conejo, se ajusta por su forma y tamaño para iniciar el proceso de compostajes, sin embargo, su relación carbono/nitrógeno 20/1 debe ajustarse, para lo cual se utilizaron los forrajes que se desperdician en los momentos de la alimentación, los cuales al mezclarse adecuadamente con las materias fecales aumentan la relación C/N al nivel requerido, 30:1 aproximadamente.

Para medir la calidad de los compostajes propuestos, se realizaron análisis de caracterización química a cada uno de los 15 tratamientos, en el Laboratorio de Análisis Químico de Suelos de la Universidad del Quindío; dicho análisis determinó el valor de elementos mayores y menores (N, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, Cu, Zn, Mn); además, se determinó la materia orgánica (MO) y el pH.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis del proceso de compostaje de las deyecciones de bovino, porcino y conejo

A continuación se registran e ilustran los resultados obtenidos en campo para cada uno de los tratamientos establecidos:

4.1.1 Tiempos de compostaje del estiércol de bovino, porcino y conejo

Utilizando los microorganismos transformadores de materia orgánica (TMO) en diferentes dosificaciones, se tuvieron en cuenta los datos recolectados de T° y pH en campo y la observación diaria de las características físicas (olor, color y textura) y se pudo determinar en que momento los compostajes quedaron debidamente habilitados (Tabla 4).

Tabla 4. Tiempo de compostaje: días de maduración para los 15 tratamientos

Tratamiento	Tiempo de compostaje en días de habilitación
COMPOSTAJE DE ESTIERCOL DE BOVINO	
T1B TRATAMIENTO 1 BOVINO Compostaje de Bovinaza	135 días
T2B TRATAMIENTO 2 BOVINO Compostaje de Bovinaza adicionada con 1 litro de acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	120 días
T3B TRATAMIENTO 3 BOVINO Compostaje de Bovinaza adicionada con 2 litro de acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	60 días
T4B TRATAMIENTO 4 BOVINO Compostaje de Bovinaza adicionada con 3 litro de acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	50 días
T5B TRATAMIENTO 5 BOVINO Compostaje de Bovinaza adicionada con 4 litro de acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	50 días
COMPOSTAJE DE ESTIERCOL DE PORCINO	
T1P TRATAMIENTO 1 PORCINO Compostaje de Porcinaza	130 días
T2P TRATAMIENTO 2 PORCINO Compostaje de Porcinaza adicionado con 1 litro de acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	115 días
T3P TRATAMIENTO 3 PORCINO Compostaje de Porcinaza adicionado con 2 litro de acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	110 días

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Tabla 4 (Continuación)

Tratamiento	Tiempo de compostaje en días de habilitación
T4P TRATAMIENTO 4 PORCINO Compostaje de Porcinaza adicionado con 3 litro de acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	90 días
T5P TRATAMIENTO 5 PORCINO Compostaje de Porcinaza adicionado con 4 litro de acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	90 días
COMPOSTAJE DE ESTIERCOL DE CONEJO	
T1C TRATAMIENTO 1 CONEJO Compostaje de Conejaza	145 días
T2C TRATAMIENTO 2 CONEJO Compostaje de Conejaza adicionado con 1 litro de Acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	120 días
T3C TRATAMIENTO 3 CONEJO Compostaje de Conejaza adicionado con 2 litro de Acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	90 días
T4C TRATAMIENTO 4 CONEJO Compostaje de Conejaza adicionado con 3 litro de Acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	80 días
T5C TRATAMIENTO 5 CONEJO Compostaje de Conejaza adicionado con 4 litro de Acelerante (TMO) por Tonelada de Biomasa	75 días

De acuerdo a la Tabla 4, se pueden destacar lo siguiente:

Puede evidenciarse claramente que el tiempo de maduración de los tratamientos de compostaje se acortan al adicionar el producto ensayado (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO) y esa disminución de tiempo se destaca en los tratamientos 3, 4, y 5 adicionados con 2, 3 y 4 litros del producto acelerante por tonelada de biomasa en los compostajes con los tres estiércoles (Bovinaza, Porcinaza y Conejaza), y donde el tiempo de compostaje de los mismos es muy similar (Tabla 4), sin embargo, al realizar el análisis estadístico, análisis de varianza y la prueba de Duncan (ver anexo 2), se encontró que para compostar las tres materias fecales estudiadas, se debe adicionar el producto ensayado en las siguientes cantidades: Bovinaza 3 l/ton de biomasa, Porcinaza 3 l/ton de biomasa y Conejaza 2 l/ton de biomasa.

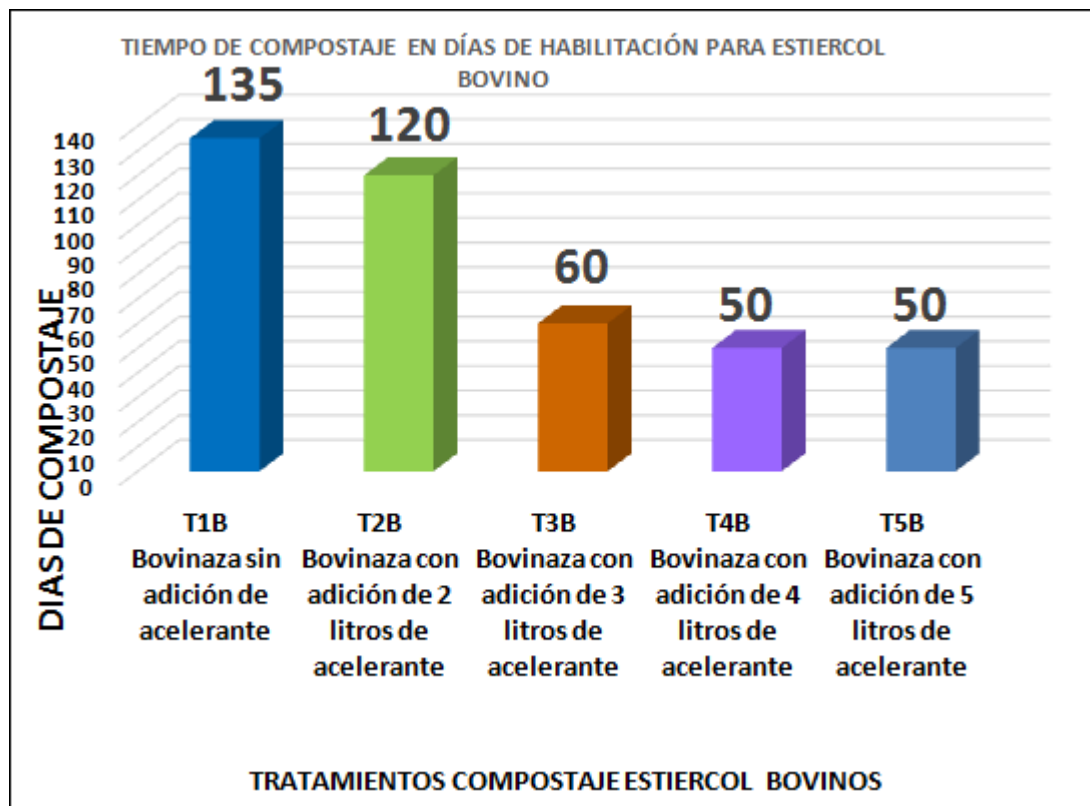
4.1.2 Tratamientos con Bovinaza

La gráfica 1, muestra la acción efectiva del producto ensayado como acelerante del proceso de compostaje, se destaca el tiempo que necesita para madurar y habilitar la biomasa, el cual se disminuye en un 50% entre los tratamientos T2B y T3B, y se observó como al adicionar 3 y 4 litros de producto (TMO) a la biomasa, el tiempo de proceso es igual, lo que confirma que agregando 3 o 4 litros del producto acelerante es lo correcto para obtener un compostaje habilitado en un tiempo menor.

4.1.3 Tratamientos con Porcinaza

En la gráfica 2, se muestra el desempeño del producto acelerador (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), cuando se adiciona a las pilas de estiércol de porcino; se destaca en la gráfica claramente la reducción del tiempo de habilitación y maduración cuando se agrega a la biomasa 3 o 4 l/ton de estiércol.

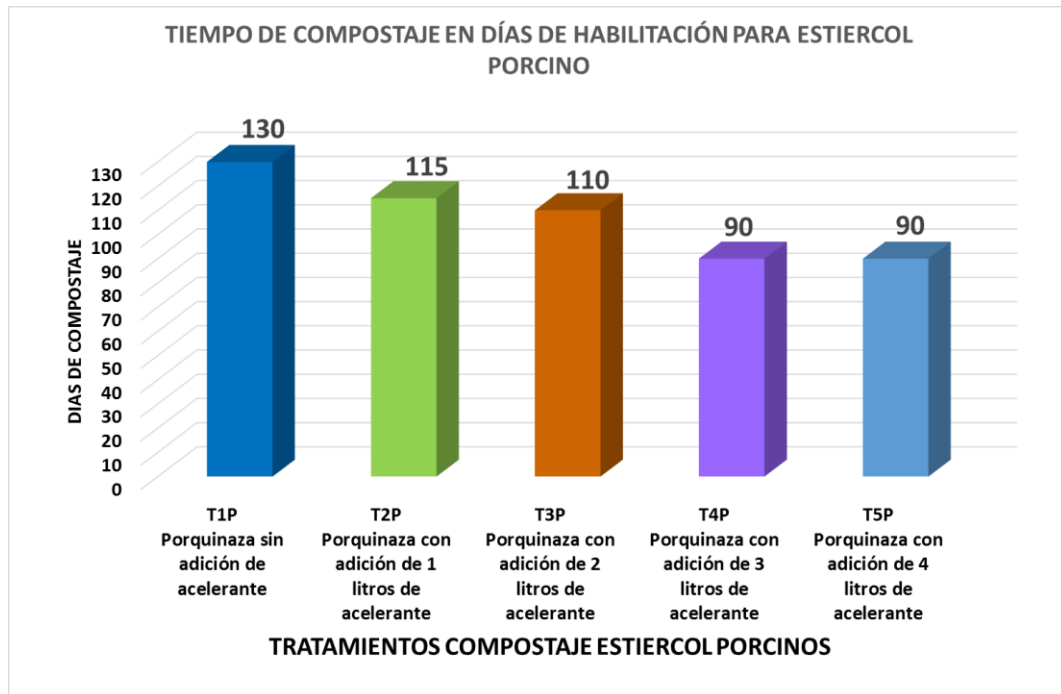
Gráfica 1. Tiempo de compostaje de Bovinaza para los diferentes tratamientos



Existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, la prueba de similitudes múltiples de Duncan mostró que éstas diferencias se presentaban entre los tratamientos T1B y los tratamientos T2B, y los tratamientos T3B y T4B, lo cual indica que el mejor tratamiento es T4B (50 días).

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Gráfica 2. Tiempo de compostaje de Porquinaza para los diferentes tratamientos



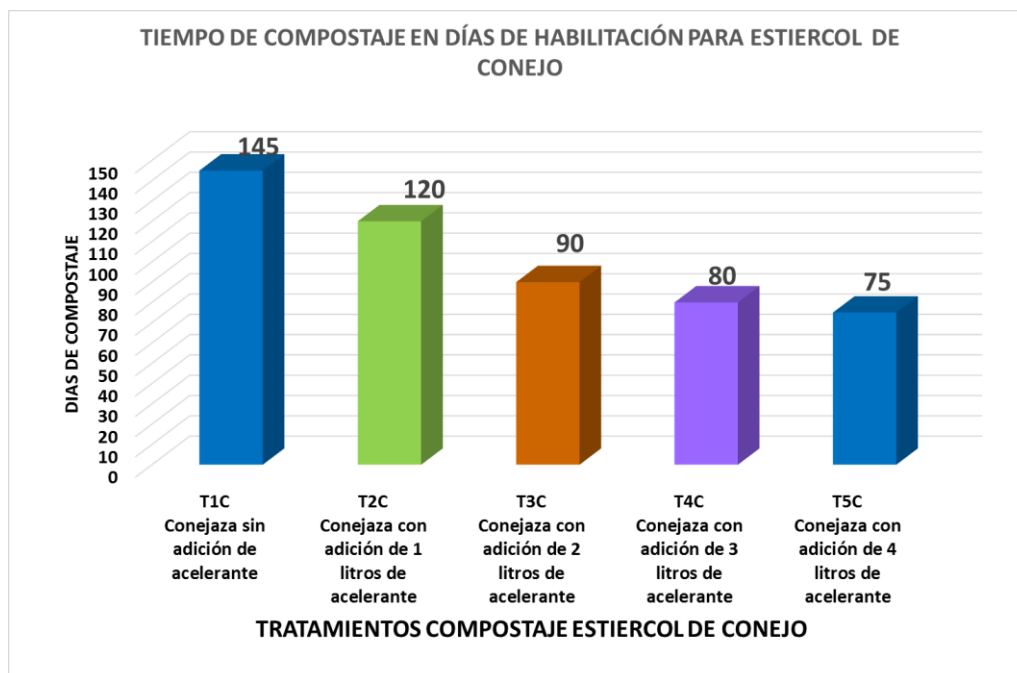
Existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, la prueba de similitudes múltiples de Duncan mostró que éstas diferencias se presentaban entre los tratamientos T1P y los tratamientos T2P, y los tratamientos T4P y T5P, lo cual indica que el mejor tratamiento es T4P (90 días).

4.1.4 Tratamientos con Conejaza

Según la gráfica 3, el estiércol de conejo cuando se compostaba, responde también de manera efectiva cuando se adiciona el producto acelerador (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), encontrándose una mejor respuesta en las pilas de compostaje de Conejaza que se adicionaron con 2, 3 y 4 litros del producto por tonelada de biomasa.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Gráfica 3. Tiempo de compostaje de Conejaza para los diferentes tratamientos



Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, y de acuerdo con la prueba de Duncan, las diferencias se presentan en los 4 tratamientos, siendo el T3C con 2 litros el que producen aceleración del proceso de compostada (90 días).

De acuerdo a la ilustración de las gráficas anteriores y con base en los tiempos que se demoran para compostarse las 3 excretas en estudio, se definen los tratamientos que se habilitaron en menor tiempo. La Tabla 5 registra los tiempos más cortos de habilitación durante el proceso de compostaje para las tres excretas en estudio (Bovinaza, Porcinaza y Conejaza)

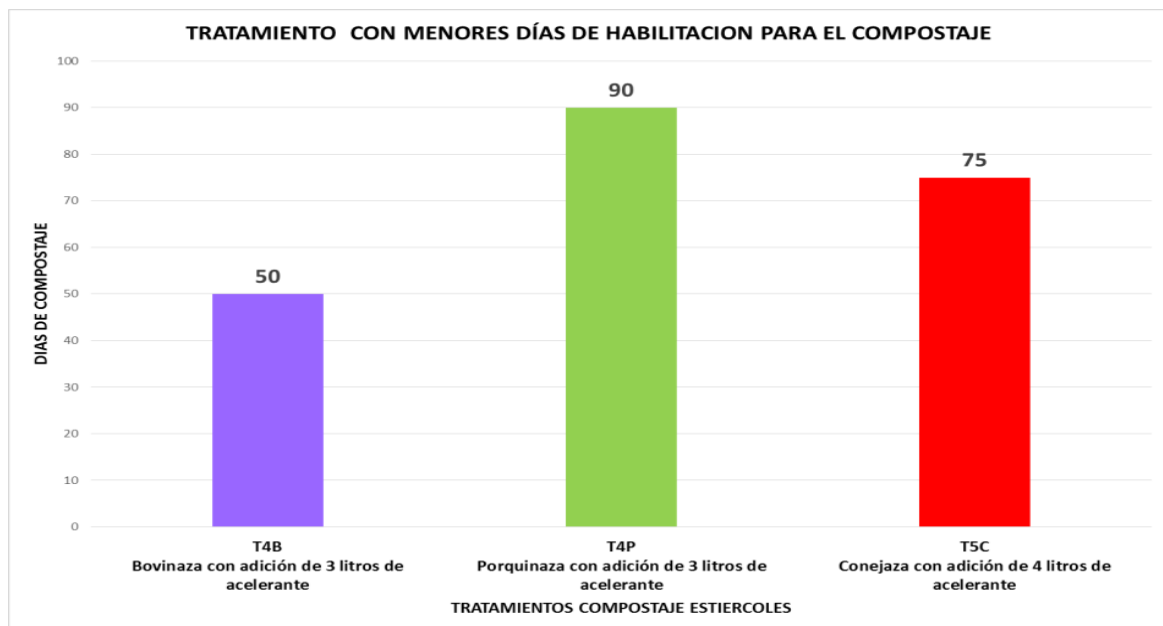
Tabla 5. Menores tiempos de habilitación en los compostajes de Bovinaza, Porcinaza y Conejaza

Tratamiento	Días de habilitación
T4B (TRATAMIENTO 4 BOVINO) Compostaje de Bovinaza adicionado con 3 litros de acelerante (TMO) por tonelada de biomasa compostada	50
T4P (TRATAMIENTO 4 PORCINO) Compostaje de Porcinaza adicionado con 3 litros de acelerante (TMO) por tonelada de biomasa compostada	90
T5C (TRATAMIENTO 5 CONEJO) Compostaje de Conejaza adicionado con 4 litros de Acelerante (TMO) por tonelada de biomasa compostada	75

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

La gráfica 4 ilustra el tiempo que requieren los compostajes que se habilitaron en menor tiempo en los tratamientos realizados con los tres estiércoles compostados (Bovinaza, Porcinaza y Conejaza)

Gráfica 4. Tratamiento con menores días de habilitación para el compostaje de los estiércoles estudiados.



De los tres estiércoles estudiados, el estiércol de bovino (Bovinaza), resulta ser el compuesto más apropiado para adelantar procesos de compostaje; sus condiciones naturales físicas, de humedad y estructura son bastante buenas y el valor de la relación C/N 30/1 (Tabla 1), son ideales para impulsar el proceso sin necesidad de realizar ajustes mecánicos o químicos al sustrato; lo anterior sumado a la adición del producto ensayado (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), hace que la habilitación de éste sustrato se realice en 50 días, mientras que el mejor tratamiento para compostar Porcinaza se realizó en 90 días y el tiempo más corto en los tratamientos con Conejaza se logró en 75 días.

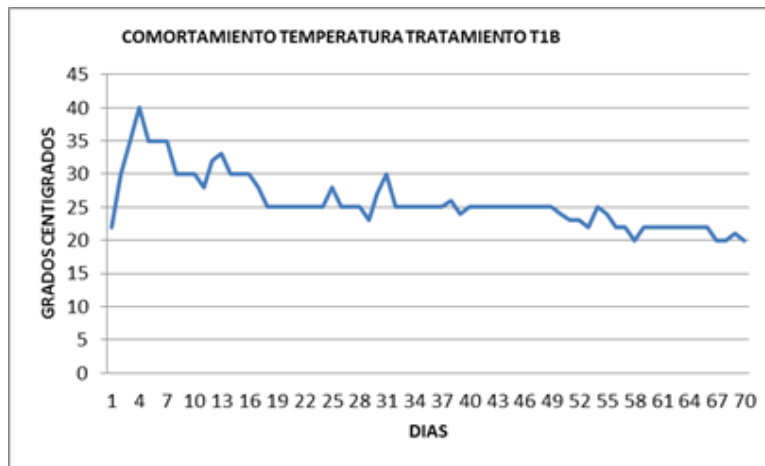
4.2 Comportamiento de la Temperatura en los compostajes

Como lo expresa la metodología, durante el proceso de compostaje de los 15 tratamientos en estudio, se monitoreó diariamente el comportamiento de la temperatura; a continuación se comenta sobre éste comportamiento en los tratamientos con los tres estiércoles compostados (Bovinaza, Porcinaza y Conejaza):

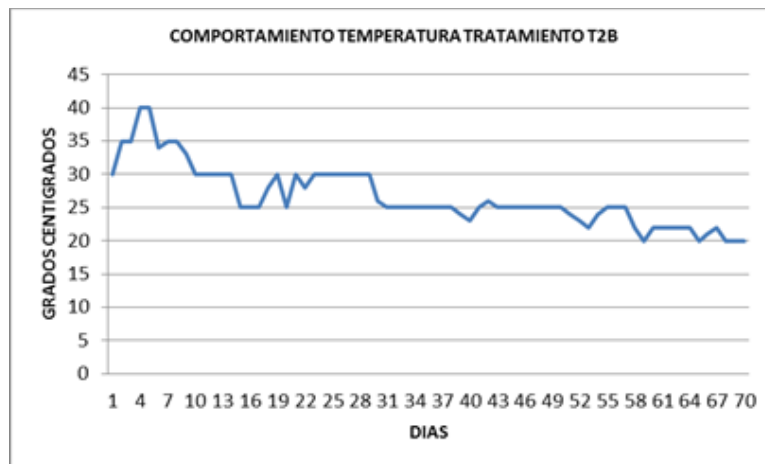
4.2.1 Temperatura en los Tratamientos con Bovinaza

Las gráficas 5, 6, 7, 8, y 9 ilustran el comportamiento de la temperatura en los compostajes que se realizaron con estiércol de bovino en sus distintos tratamientos con el producto (Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica TMO). De acuerdo con las gráficas, se observa como en todos los tratamientos al inicio del proceso de compostaje hay un aumento inmediato de la temperatura, alcanzando picos en la primera semana, para luego descender de manera paulatina y estabilizarse en todos los tratamientos en un rango de 18 a 20°C. Es importante destacar los picos más altos de temperatura (48–50°C), que coinciden con los tratamientos donde se adicionó el producto ensayado (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), más exactamente en los tratamientos T4B y T5B donde se adicionaron 3 y 4 l/ton de biomasa, respectivamente.

Gráfica 5. Temperatura Tratamiento 1 Bovino

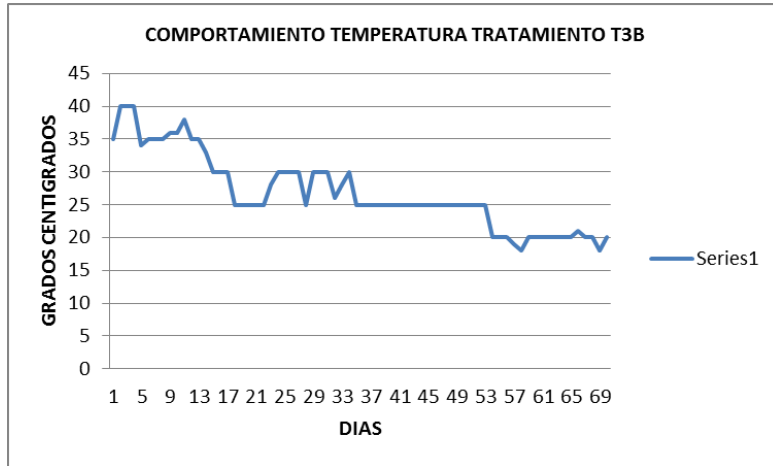


Gráfica 6. Temperatura tratamiento 2 Bovino

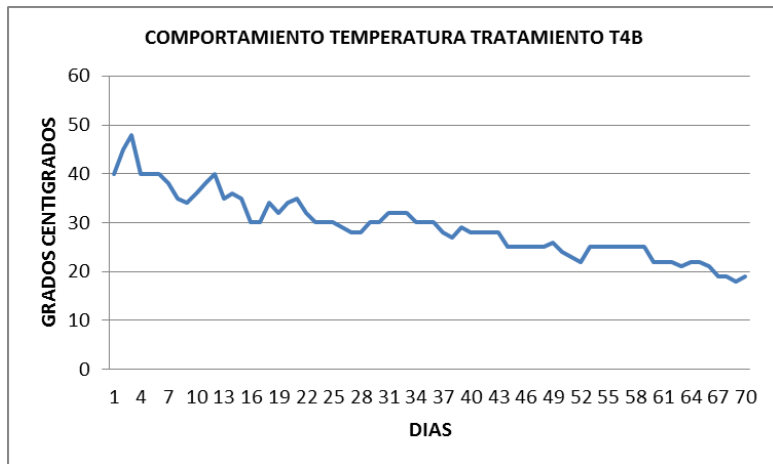


EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

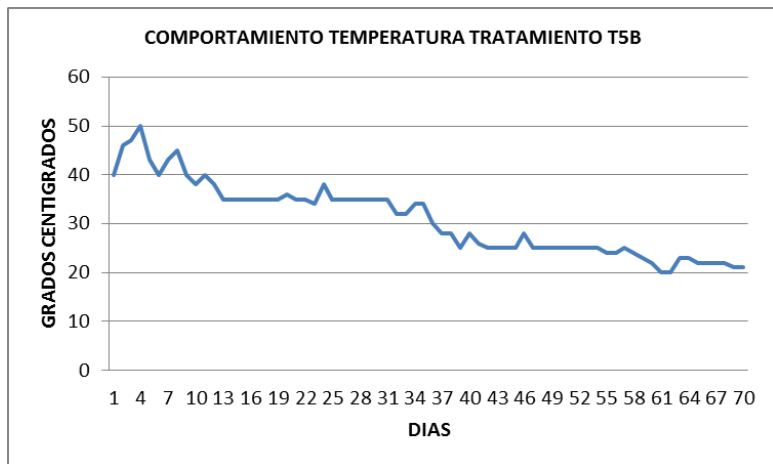
Gráfica 7. Temperatura tratamiento 3 Bovino



Gráfica 8. Temperatura tratamiento 4 Bovino



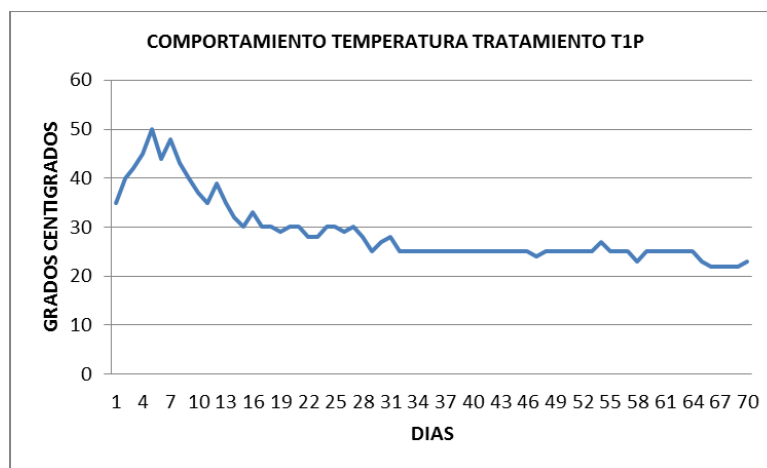
Gráfica 9. Temperatura tratamiento 5 Bovino



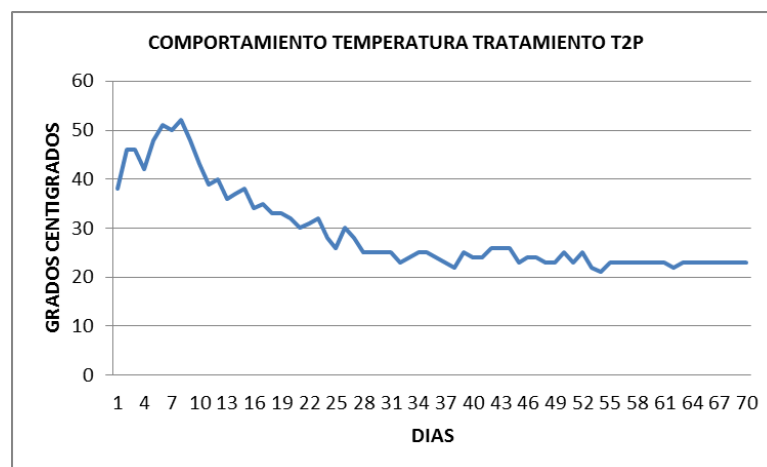
4.2.2 Temperatura en los Tratamientos con Porcinaza

Para el caso de la Porcinaza las gráficas 10, 11, 12, 13, y 14 muestran claramente un incremento inicial rápido de la temperatura, se evidencian picos más altos de temperatura en todos los tratamientos con este sustrato, alcanzando rangos entre 50–65°C, y al igual que en los tratamientos con Bovinaza, los picos de temperatura más elevados se observan en los tratamientos T4P y T5P los cuales fueron adicionados con 3 y 4 litros respectivamente con el producto ensayado (Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica – TMO).

Gráfica 10. Temperatura tratamiento 1 Porcino

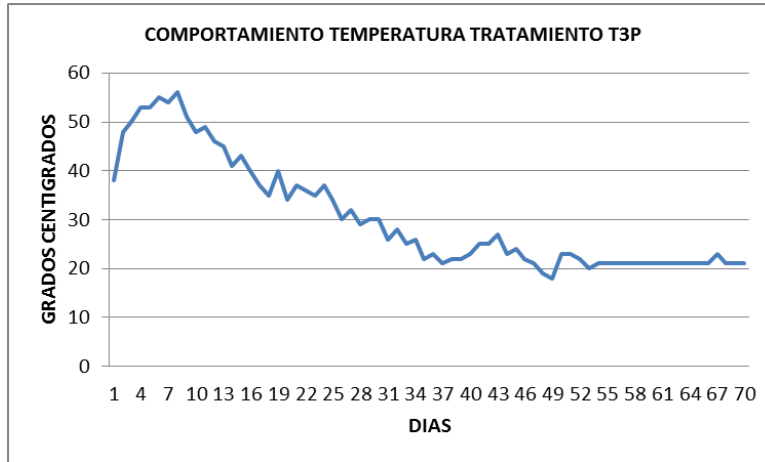


Gráfica 11. Temperatura tratamiento 2 Porcino

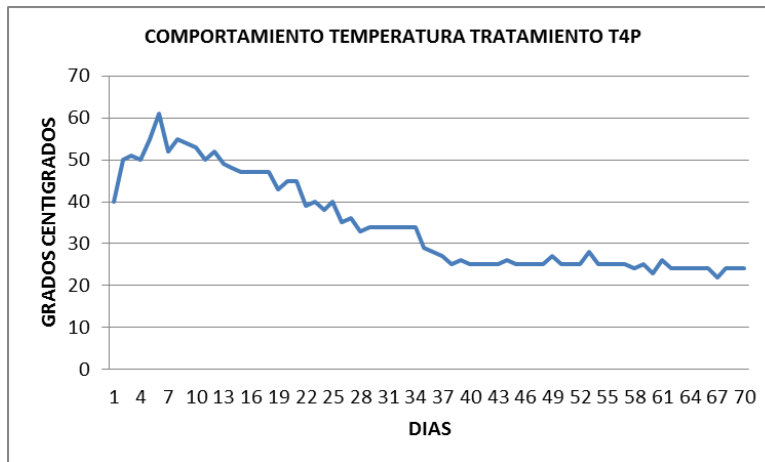


EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

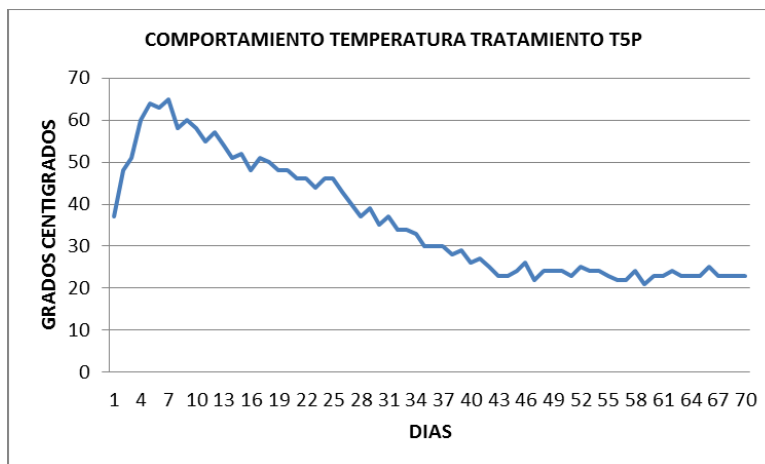
Gráfica 12. Temperatura tratamiento 3 Porcino



Gráfica 13. Temperatura tratamiento 4 Porcino



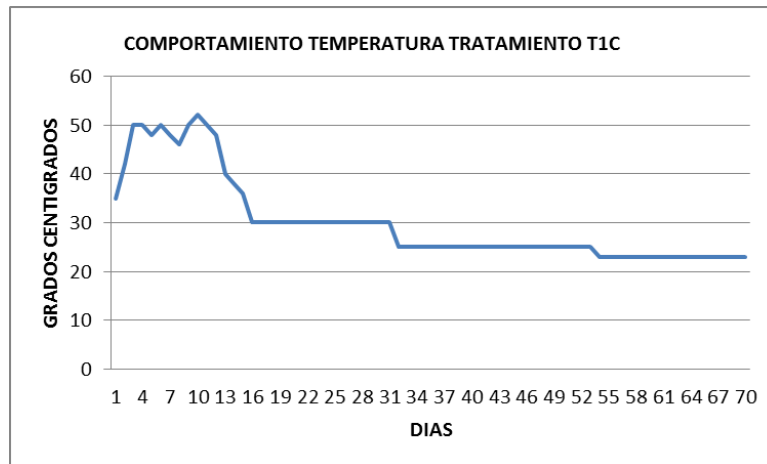
Gráfica 14. Temperatura tratamiento 5 Porcino



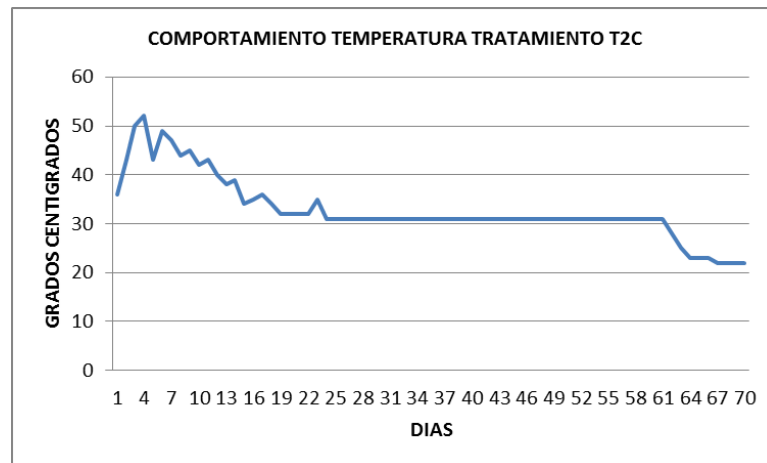
4.2.3 Temperatura en los Tratamientos con Conejaza

Las gráficas 15, 16, 17, 18, y 19 muestran el comportamiento de la temperatura en los compostajes elaborados con Conejaza; al igual que los tratamientos con estiércol de Bovino y Porcino, se registra un aumento inicial rápido de temperatura en cada uno de los tratamientos, alcanzando picos entre 55 y 65°C. Además se observa que los tratamientos adicionados con el producto ensayado (Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica – TMO) son los que logran aumentos de temperatura más importantes.

Gráfica 15. Temperatura tratamiento 1 Conejo

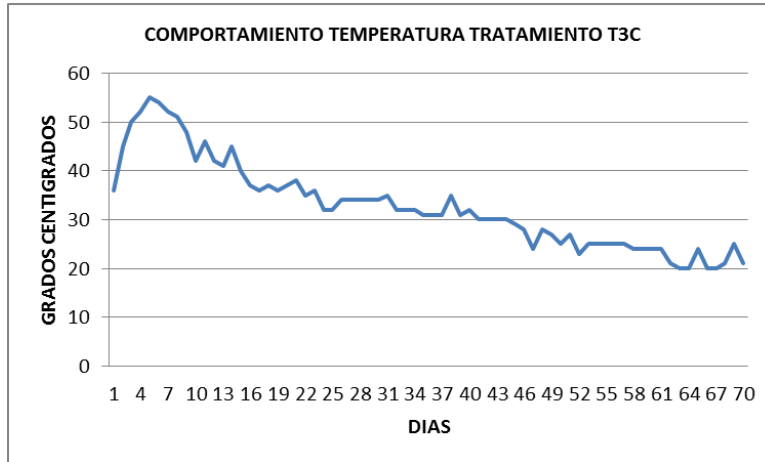


Gráfica 16. Temperatura tratamiento 2 Conejo

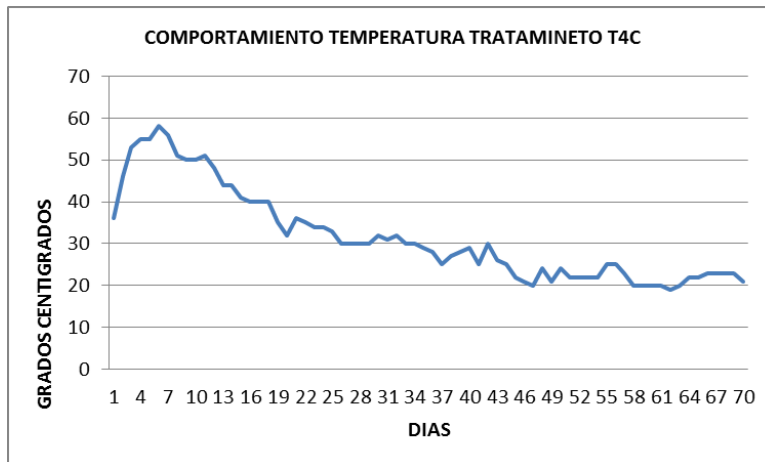


EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

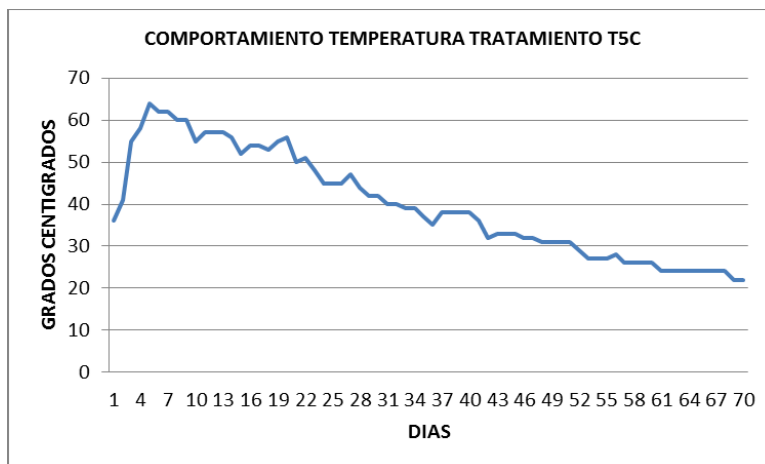
Gráfica 17. Temperatura tratamiento 3 Conejo



Gráfica 18. Temperatura tratamiento 4 Conejo



Gráfica 19. Temperatura tratamiento 5 Conejo



Analizando las gráficas de temperatura para los 15 tratamientos en conjunto, se deduce que el comportamiento de éste parámetro es acorde al dinamismo normal de la temperatura en los procesos de compostaje, y que los picos de temperatura alcanzados en los tratamientos inoculados con el producto ensayado (Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica – TMO), comprueban la importancia que adquiere la actividad microbiana en la elevación de la temperatura, éste comentario se sustenta con la explicación de Laich (2011), quien expresa que la presencia de bacterias y hongos en gran número, son los primeros microorganismos que inician el proceso; ellos mismos se multiplican y consumen los carbohidratos más fácilmente degradables, produciendo un aumento en la temperatura. Lo anterior también se soporta con lo afirmado por Ortiz (2013), quien expresa que en las primeras 2 semanas de compostaje, se da un alza en la temperatura, que de no ser controlada puede alcanzar hasta unos 90°C, quemando los materiales de la composta reduciéndolos a cenizas. Menciona Ortiz (2013), que éste incremento en la temperatura, es producto de la altísima actividad microbiológica que se da en la composta al quemar la energía de los azúcares en el proceso de respiración de los microorganismos, lo que concuerda con el comportamiento de la temperatura encontrado en los tratamientos del trabajo.

Después del pico más alto de temperatura en cada uno de los tratamientos viene un descenso paulatino en cada uno de ellos como se observa en la ilustración de las gráficas, alcanzando valores alrededor de los 20°C, temperatura en la cual todos los sustratos se enfrían, maduran y habilitan completamente. Lo anterior se constata con lo argumentado por De Bertoldi *et al.*, (1983), Finstein y Morris, (1975) y Waksman, *et al.*, (1993), quienes observan que la temperatura disminuye, desde la más alta alcanzada durante el proceso, hasta llegar a la del ambiente; se va consumiendo el material fácilmente degradable, desaparecen los hongos termófilos y el proceso continúa por organismos esporulados y actinomicetos. Cuando se inicia la etapa de enfriamiento, los hongos termófilos que resistieron en las zonas menos calientes del proceso, realizan la degradación de la celulosa, ésta etapa de enfriamiento se empieza a generar por una reducción de la población microbial, la cual ya no encuentra suficiente sustrato alimenticio, continúa la descomposición de los materiales más resistentes y parte del sustrato presente lo constituye la necromasa microbial.

4.3 Comportamiento del pH en los compostajes

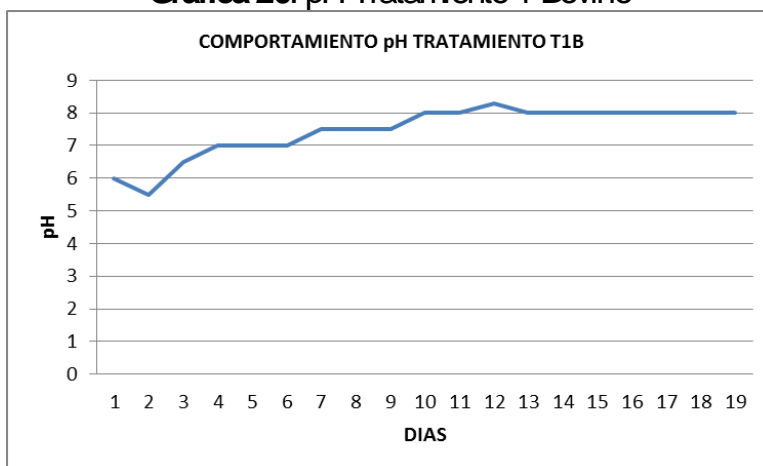
Igual que la temperatura, durante el proceso de compostaje de los 15 tratamientos en estudio, se monitoreo diariamente el comportamiento del pH. A continuación se comenta sobre éste comportamiento en los tratamientos con los tres estiércoles compostados (Bovinaza, Porcinaza y Conejaza)

4.3.1 El pH en los Tratamientos elaborados con Bovinaza

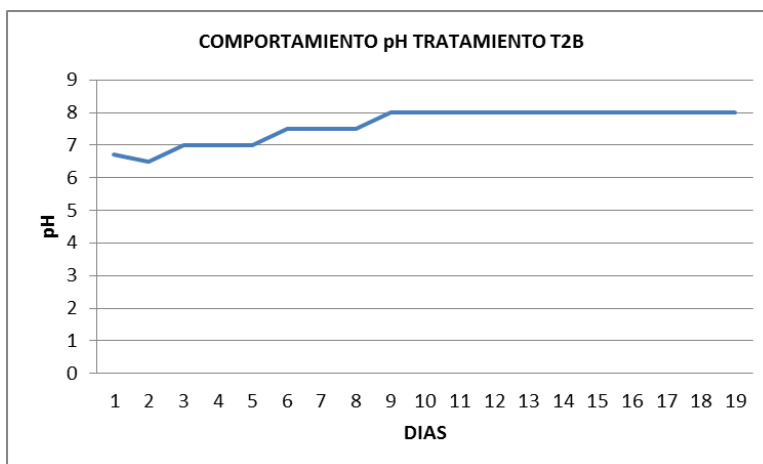
Las gráficas 20, 21, 22, 23, y 24, ilustran el comportamiento del pH durante el proceso de los compostajes de estiércol de bovino.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

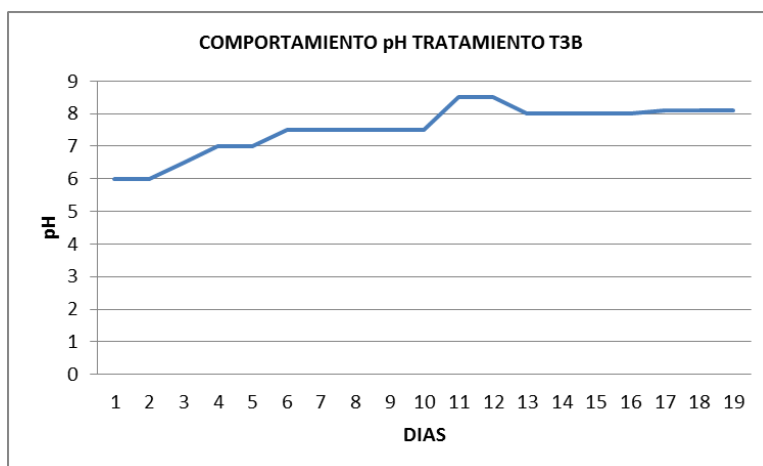
Gráfica 20. pH Tratamiento 1 Bovino



Gráfica 21. pH Tratamiento 2 Bovino

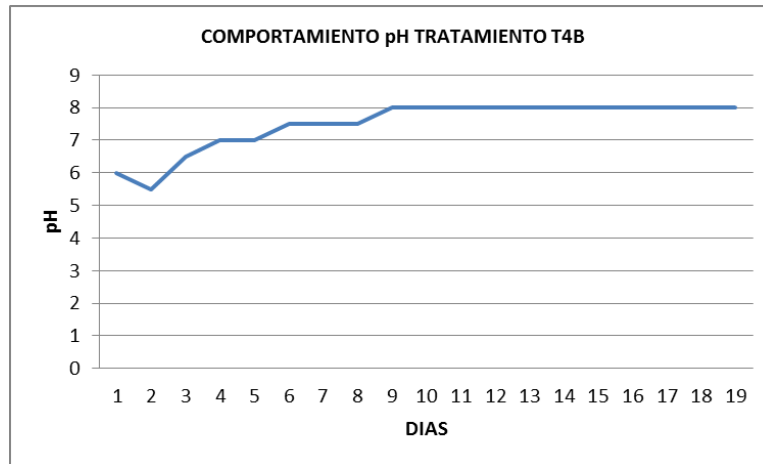


Gráfica 22. pH Tratamiento 3 Bovino

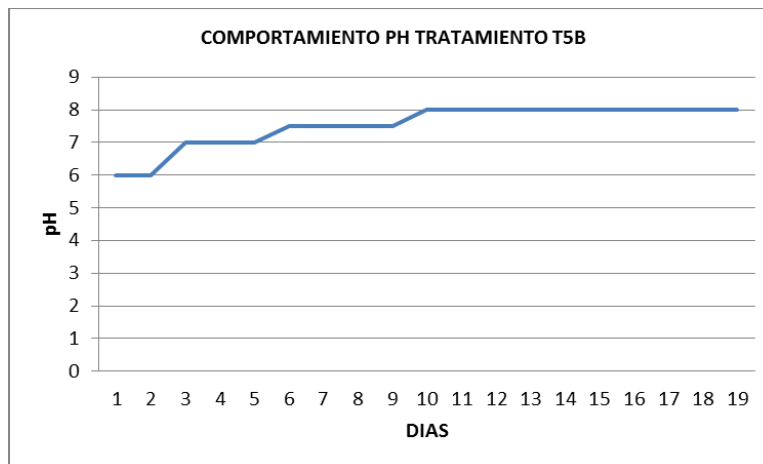


EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Gráfica 23. pH Tratamiento 4 Bovino



Gráfica 24. pH Tratamiento 5 Bovino



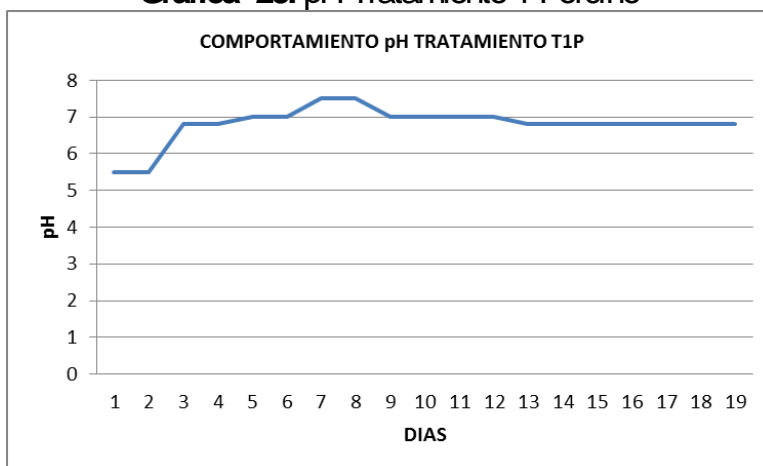
Dichas gráficas registraron los valores del pH monitoreado en campo durante el recorrido del proceso de compostaje realizado con el estiércol de bovino en sus cinco tratamientos. Se observa en las gráficas que independientemente del tratamiento con o sin adición del producto ensayado (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), el dinamismo es muy similar, iniciando con un valor de pH ligeramente ácido alrededor de 6, el cual se incrementa constantemente alcanzando un valor de 8 donde todos los tratamientos se estabilizan y maduran hasta lograr la habilitación.

4.3.2 El pH en los Tratamientos elaborados con Porcinaza

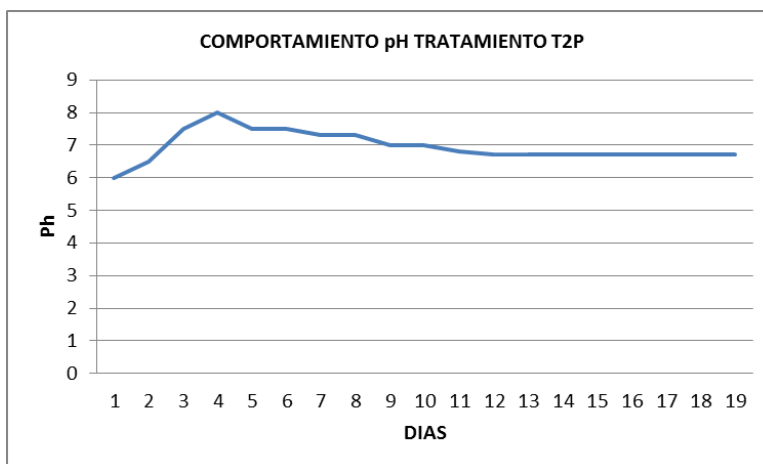
Las gráficas 25, 26, 27, 28, y 29, ilustran el comportamiento del pH durante el proceso de los compostajes de estiércol de porcino.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

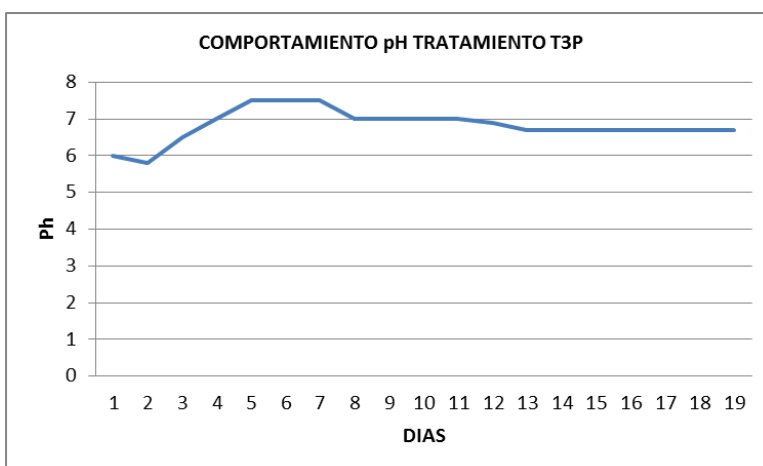
Gráfica 25. pH Tratamiento 1 Porcino



Gráfica 26. pH Tratamiento 2 Porcino

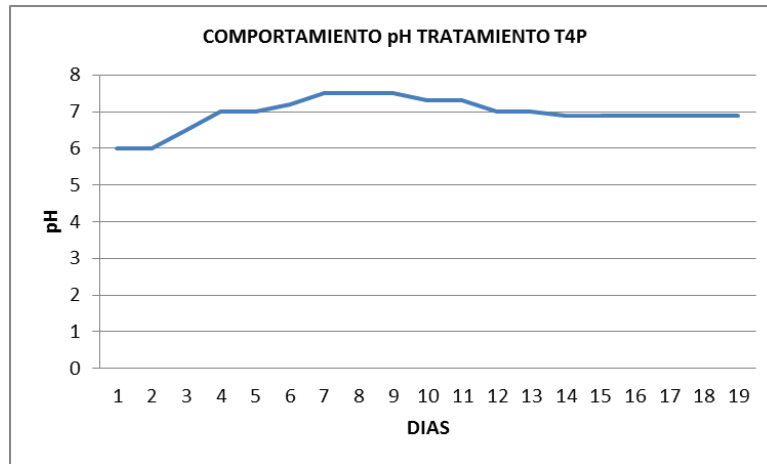


Gráfica 27. pH Tratamiento 3 Porcino

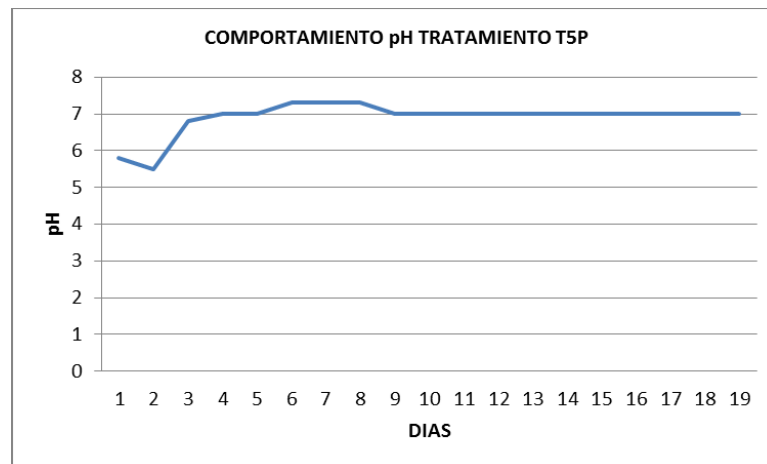


EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Gráfica 28. pH Tratamiento 4 Porcino



Gráfica 29. pH Tratamiento 5 Porcino



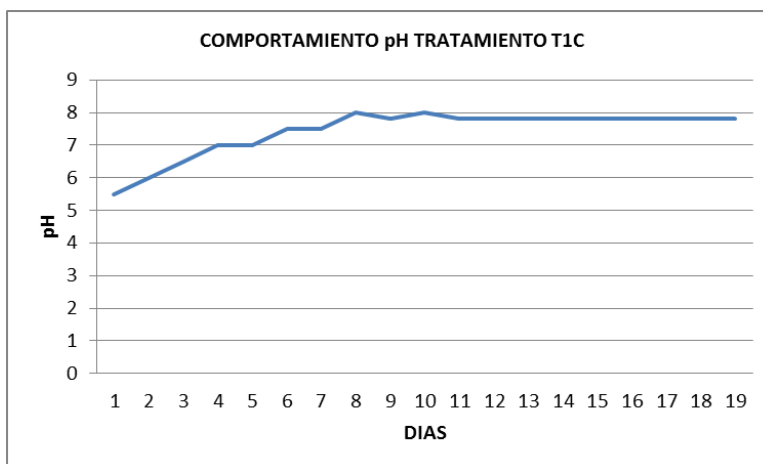
Estas gráficas registran los valores del pH monitoreado en campo durante el recorrido del proceso de compostaje realizado con el estiércol de porcino en sus cinco tratamientos, se observa en las gráficas que independientemente del tratamiento con o sin adición del producto ensayado (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), el dinamismo es muy similar iniciando con un valor de pH ligeramente ácido alrededor de 6; a diferencia de los compostajes elaborados con Bovinaza, los compostajes elaborados con Porcinaza van alcanzando valores de pH con tendencia a la neutralidad y a una ligera alcalinidad, paulatinamente sin mostrar picos muy altos, para luego estabilizarse en valores de pH que rondan la neutralidad entre 6,8 a 7,0, donde todos los tratamientos se estabilizan y maduran hasta lograr la habilitación.

4.3.3 El pH en los Tratamientos elaborados con Conejaza

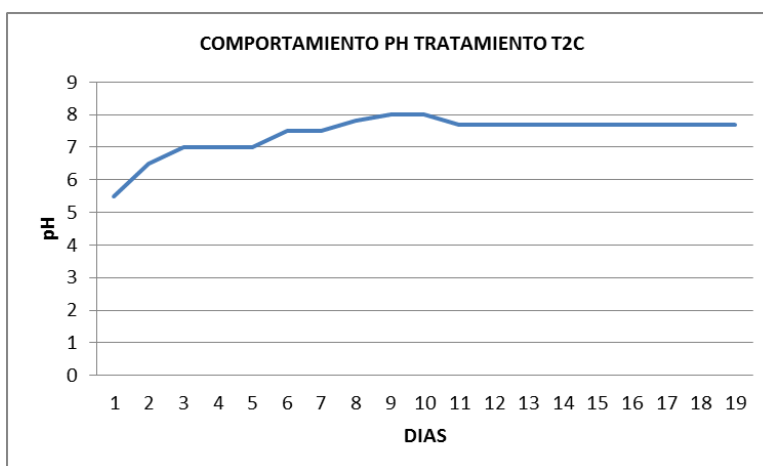
Las gráficas 30, 31, 32, 33, y 34, ilustran el comportamiento del pH durante el proceso de los compostajes de estiércol de conejo.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

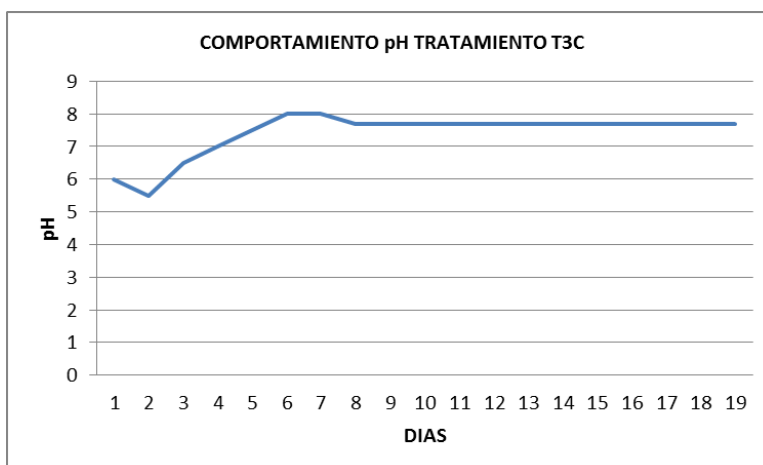
Gráfica 30. pH Tratamiento 1 Conejo



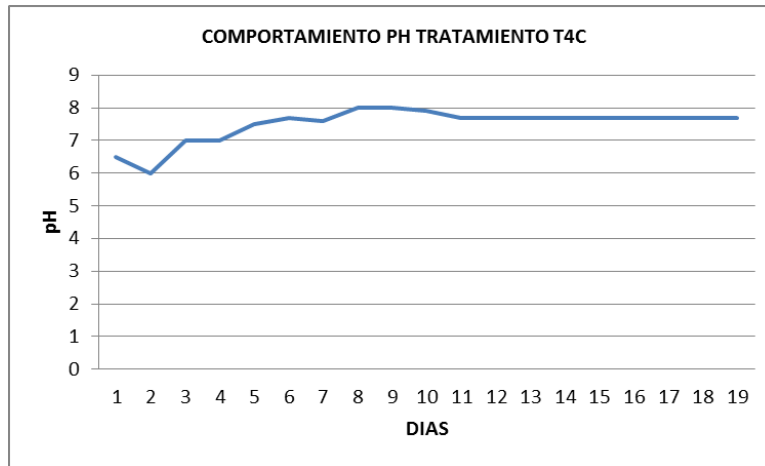
Gráfica 31. pH Tratamiento 2 Conejo



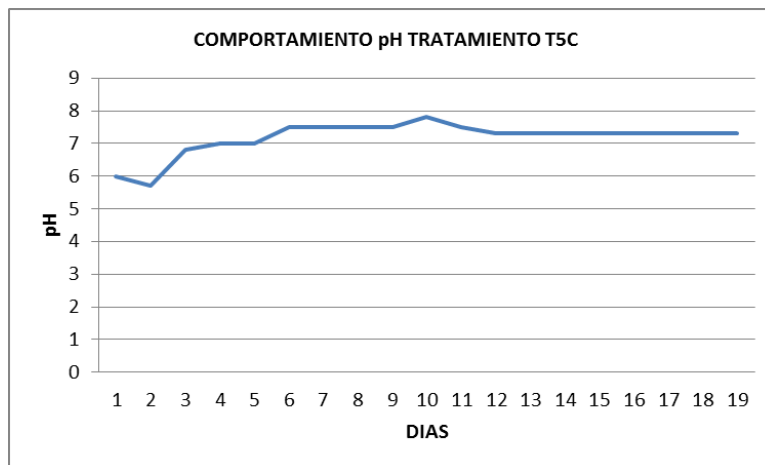
Gráfica 32. pH Tratamiento 3 Conejo



Gráfica 33. pH Tratamiento 4 Conejo



Gráfica 34. pH Tratamiento 5 Conejo



Estas gráficas registran los valores del pH monitoreado en campo durante el recorrido del proceso de compostaje realizado con el estiércol de conejo en sus cinco tratamientos, se observa en las gráficas que independientemente del tratamiento con o sin adición del producto ensayado (microorganismos transformadores de materia orgánica TMO), el dinamismo es muy similar iniciando con un valor de pH ligeramente ácido alrededor de 6 el cual se incrementa constantemente alcanzando un valor por debajo de 8 donde todos los tratamientos se estabilizan y maduran hasta lograr la habilitación.

Analizando las gráficas del comportamiento del pH para los 15 tratamientos en conjunto, se deduce que el comportamiento de este parámetro es acorde al dinamismo normal del pH en los procesos de compostaje, lo monitoreado en campo se corrobora con lo expuesto por Mayea (1992), quien señala que al inicio de la elaboración del compost, el pH de los restos orgánicos es por lo general ligeramente ácido entre 5 y 6, valores encontrados al inicio del trabajo en campo y esto ocurre como lo plantea Rossetti (1994),

porque primero se descomponen los organismos más ácidos y luego los alcalinos llegando a valores entre 8 y 9, hasta que comienza a bajar a valores entre 7 y 8 en el compost ya maduro como señala MINAZ (1991), permaneciendo así hasta el final del proceso cuando se descomponen las proteínas. Es importante añadir que el pH es un parámetro que indica el buen desarrollo del proceso y la actividad microbiana. El pH inicial de materiales digeribles, basuras, estiércol, varía generalmente de 5,5 a 7; éste empieza a incrementarse debido a la pérdida de ácidos orgánicos a través de la volatilización (altas temperaturas), a la descomposición microbiana y a la liberación de amoníaco a través de la mineralización del nitrógeno orgánico (Ferrer, *et al.*, 1994). Después, el pH se ajusta a un rango entre 7,5–8,5, y puede ser crítico si sobrepasa los niveles de 8,5 por la volatilización del amoníaco (NH_3), que genera pérdida de nitrógeno y malos olores. Se considera que un pH de 8,1 a 8,5 al final del proceso indica la estabilización del compost y por tanto un producto apto para el uso agrícola (grupo interdisciplinario de estudios moleculares (GIEM, 1999)).

Lo anterior se sustenta también de acuerdo con Álvarez (2013), quien advierte que el pH de la masa durante el proceso de maduración también sufre una variación similar en casi todos los sustratos. Hay un descenso inicial en el pH (fase I) que coincide con el paso de la fase Mesofílica a la fase Termofílica; ésta fase se denomina Acidogénica. Se da una gran producción de CO_2 y liberación de ácidos orgánicos. El descenso de pH favorece el crecimiento de hongos (cuyo crecimiento se da en el intervalo de pH 5,5-8) y el ataque a lignina y celulosa. Durante la fase Termofílica se pasa a una liberación de amoníaco como consecuencia de la degradación de aminas procedentes de proteínas y bases nitrogenadas y una liberación de bases incluidas en la materia orgánica, resultado de estos procesos se da una subida en el pH y retoman su actividad las bacterias a pH 6-7,5 (fase de alcalinización). Tras este incremento del pH se da una liberación de nitrógeno por el mecanismo anteriormente citado y que es aprovechado por los microorganismos para su crecimiento, dando paso a la siguiente fase de maduración. Finalmente se da una fase estacionaria de pH próximo a la neutralidad en la que se estabiliza la materia orgánica y se dan reacciones lentas de policondensación.

Estos comentarios además de sustentar el dinamismo normal del pH encontrado en los procesos de compostaje establecidos, le otorgan confiabilidad a los compostajes madurados obtenidos en la intención de utilizarlos de manera segura en la actividad agrícola.

4.4 La calidad de los compostajes

Como se menciona en la metodología establecida, se realizaron los análisis de caracterización química para los 15 tratamientos en el Laboratorio de Análisis Químico de Suelos de la Universidad del Quindío.

Las Tablas 6 y 7. Registran los datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Químico de Suelos de la Universidad del Quindío.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Tabla 6. Análisis de caracterización Química de los 15 tratamientos establecidos

	pH	m.o.	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	Zn	Mn
Lote*		%	ppm	meq/100	meq/100	meq/100	meq/100	ppm	ppm	ppm	ppm
T1B	8,0	30,6	140	41,16	33,9	21,13	0,0	19	19	270	291
T2B	8,0	32,1	140	45,12	38,5	19,29	0,0	23	20	272	292
T3B	8,1	32,4	140	46,41	35,6	20,78	0,0	20	19	270	300
T4B	8,0	31,5	140	49,24	34,0	19,36	0,0	20	17	256	291
T5B	8,0	32,1	140	45,43	36,2	20,73	0,0	21	17	253	306
T1C	7,8	30,4	140	39,87	42,0	14,25	0,0	51	8	218	119
T2C	7,7	31,3	140	43,00	50,0	14,52	0,0	50	7	234	137
T3C	7,7	32,1	140	45,27	47,0	16,00	0,0	48	8	232	149
T4C	7,8	30,9	140	42,22	43,0	14,26	0,0	50	8	220	134
T5C	7,3	31,4	140	43,36	50,5	16,0	0,0	42	11	308	156
T1P	6,8	31,6	140	41,42	37,2	11,5	0,0	100	19	439	192
T2P	6,7	33,2	140	34,86	32,4	10,0	0,0	123	17	448	195
T3P	6,7	33,5	140	25,48	32,4	10,9	0,0	124	15	438	178
T4P	6,9	33	140	30,98	38,7	9,3	0,0	88	19	448	173
T5P	7,0	33	140	38,24	43,0	8,3	0,0	86	21	499	183

Lote*: esta columna hace referencia a los distintos tratamientos (compostajes).

Fuente: Laboratorio de Análisis Químico de Suelos de la Universidad del Quindío.

Tabla 7. Análisis de caracterización química de los 15 tratamientos establecidos. Expresados en porcentaje

	MO	N	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	Zn	Mn
Lote*	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
T1B	30,6	0,81	0,14	1,61	0,68	0,26	0	0,0019	0,0019	0,027	0,029
T2B	32,1	0,82	0,14	1,76	0,77	0,23	0	0,0023	0,0020	0,027	0,029
T3B	32,4	0,82	0,14	1,81	0,71	0,25	0	0,0020	0,0019	0,027	0,030
T4B	31,5	0,81	0,14	1,93	0,68	0,23	0	0,0020	0,0017	0,026	0,029
T5B	32,1	0,82	0,14	1,78	0,72	0,25	0	0,0021	0,0017	0,025	0,031
T1C	30,4	0,81	0,14	1,56	0,84	0,17	0	0,0051	0,0008	0,022	0,012
T2C	31,3	0,81	0,14	1,68	1,00	0,18	0	0,0050	0,0007	0,023	0,014
T3C	32,1	0,82	0,14	1,77	0,94	0,19	0	0,0048	0,0008	0,023	0,015
T4C	30,9	0,81	0,14	1,65	0,86	0,17	0	0,0050	0,0008	0,022	0,013

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Tabla 7. Continuación

	MO	N	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	Zn	Mn
T5C	31,4	0,81	0,14	1,70	1,01	0,19	0	0,0042	0,0011	0,031	0,016
T1P	31,6	0,81	0,14	1,62	0,74	0,14	0	0,0100	0,0019	0,044	0,019
T2P	33,2	0,83	0,14	1,36	0,65	0,12	0	0,0123	0,0017	0,045	0,020
T3P	33,5	0,83	0,14	1,00	0,65	0,13	0	0,0124	0,0015	0,044	0,018
T4P	33	0,83	0,14	1,21	0,77	0,11	0	0,0088	0,0019	0,045	0,017
T5P	33	0,83	0,14	1,50	0,86	0,10	0	0,0086	0,0021	0,050	0,018

Lote*: esta columna hace referencia a los distintos tratamientos (compostajes).
Fuente: Laboratorio de Análisis Químico de Suelos de la Universidad del Quindío

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 6, y comparando los valores de cada uno de los elementos evaluados con la Tabla de referencia (Tabla 8), se observa que los valores de cada uno de los elementos, están por encima del rango superior; de acuerdo a lo anterior y realizando una comparación general de los valores obtenidos con la Tabla de referencia de valoración, tenemos:

Tabla 8. Referencia para la valoración de los elementos del análisis químico de suelos. Laboratorio de Análisis Químico de Suelos de la Universidad del Quindío

Análisis	Unidades	Niveles de referencia		
		Calificación (cal):		
pH		bajo	medio	Alto
fósforo	Ppm	<20	20,0 - 40,0	>40,0
potasio	meq/100	<0,2	0,2 - 0,4	>0,4
calcio	meq/100	<3,0	3,0 - 6,0	>6,0
magnesio	meq/100	<1,5	1,5 - 2,5	>2,5
aluminio	meq/100	<0,24	0,24 - 0,48	>0,48
hierro	Ppm	<25	25,0 - 50,0	>50,0
Cobre	Ppm	<1,5	1,5 - 3,0	>3,0
Zinc	Ppm	<1,5	1,5 - 3,0	>3,0
manganeso	Ppm	<5,0	5,0 - 10,0	>10,0
Boro	Ppm	<0,2	0,2 - 0,4	>0,4
Azufre	Ppm	<10,0	10,0 - 20,0	>20,0
Textura				

Fuente: Laboratorio Análisis Químico de Suelos Universidad del Quindío

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

El análisis de la materia orgánica reporta valores entre 30,4 y 33% en todos los tratamientos establecidos, la FAO (1991), plantea que la materia orgánica adecuada en los compostajes está en un rango de 25 a 80%, lo cual confirma que los niveles de materia orgánica obtenidos en el trabajo de campo son acordes y funcionales en la intención de utilizarlos como enmiendas agronómicas. Lo anterior se corrobora con Castillo, Quarín, Iglesias, (2000), quien reporta que son mayores los valores de materia orgánica en materiales de origen animal en comparación con materiales de origen domiciliario (residuos de cocina).

El análisis de nitrógeno reporta valores entre 0,81 y 0,83% en todos los tratamientos, siendo los más altos en los compostajes realizados con estiércol de porcino. Los valores registrados se encuentran dentro del rango suministrado por la FAO (1991), quien considera que los niveles de nitrógeno adecuados en el compostaje oscilan entre 0,4 a 3,5%; éste aspecto se sustenta además con Kolmans y Vázquez (1996), los cuales realizaron un compost donde encontraron 0,5% de nitrógeno y la FAO (1997), quien muestra criterios de evaluación de nitrógeno alrededor de 0,30%.

El análisis del fósforo en todos los tratamientos reporta valores por encima de 140 meq /100 gr., y la Tabla de referencia para valorar estos resultados advierte que se califica como valores altos los que están por encima de 40 meq / 100 gr., los altos valores en la disponibilidad de fósforo coincide con lo señalado por Singh, Singh, Maskina y Meelu, (1995), quien ha reportado incrementos en la disponibilidad de fósforo mediante la utilización de estiércol en los compostaje. Los niveles adecuados de fósforo en el compostaje según FAO (1991), están comprendidos en un rango entre 0,1 a 1,6%, rango en el cual se encontraron los niveles de fósforo en los distintos compostajes, registrándose 0,14% del elemento.

En el análisis del potasio en todos los tratamientos se reportan valores que están en el rango entre 25 y 49 meq / 100 gr., siendo los compostajes de estiércol de bovino los de más alto valor, lo cual está de acuerdo con Inbar *et al.*, (1993), quien expresa que los niveles de potasio aumentan durante el proceso de compostaje de estiércol vacuno.

La Tabla 8, de referencia para valorar estos resultados advierte que se califican como valores altos los que están por encima de 0,40 meq / 100 gr. Lo anterior concuerda con FAO (1991), quien advierte que el potasio debe fluctuar en rangos de 0,4 a 1,6%, y los 15 tratamientos ofrecen valores que fluctúan entre 1,0 y 1,93% para este elemento. De igual manera Kolmans y Vázquez (1996), reportan datos de un compost con 0,5% de potasio, lo que confirma un nivel alto del elemento encontrado en los compostajes trabajados.

Los demás elementos estudiados en el análisis Químico en el Laboratorio de Suelos de la Universidad del Quindío muestran un nivel de valoración satisfactorio; es así como en el análisis del calcio en todos los tratamientos se reportan valores que están en el rango entre 34 y 50 meq/100 gr., y la Tabla 7, de referencia para valorar estos resultados advierten que se califican como valores altos los que están por encima de 6,0 meq/100 gr.; en el análisis del magnesio en todos los tratamientos se reportan valores que están en el rango entre 8,0 y 21 meq/100 gr., y la Tabla de referencia para valorar estos resultados advierte que se califican como valores altos los que están por encima de 2,5 meq/100 gr.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Con respecto al hierro, el análisis realizado a los compostajes con Bovinaza reporta valores que van en un rango 19 y 21 ppm, este rango está por debajo de los valores normales de la Tabla valorativa de referencia, la cual estima que están bajos los contenidos del mineral cuando están por debajo de 25 ppm. Sin embargo los compostajes realizados con Porcinaza, reportan valores entre 86 y 100 ppm. Y los compostajes realizados con Conejaza reportan valores entre 42 y 51 ppm, valores que están muy por encima de lo que señala la Tabla valorativa.

Los minerales cobre, zinc y manganeso reportan valores altos en todos los tratamientos con relación a la Tabla valorativa de referencia. Todos los datos reportados y comparados con la Tabla 7, valorativa de referencia y con los autores referenciados, comprueban que las materias primas compostadas en campo, de acuerdo a la metodología utilizada, son un recurso valioso en la intención de utilizarse como abonos y enmiendas para los suelos de la región, siempre y cuando tengamos un análisis químico previo de los mismos y formulemos raciones de abonos con criterio de nutrición de suelos a partir de los compostajes obtenidos. En este sentido se puede rescatar lo mencionado por Meléndez (2003), quien señala que los sistemas de producción pecuaria que utilicen mayor cantidad de insumos, tendrán residuos con mayores concentraciones de nutrientes y por lo tanto producirán un compost más enriquecido.

Los compostajes que se produjeron a partir de los 15 tratamientos establecidos, son sin duda por su contenido nutricional un material habilitado para ser usado como enmienda o abono orgánico, esto concuerda con lo argumentado por Suquilanda (1996), quien expresa que al incorporar abono orgánico, se mejora las propiedades químicas, aumenta el contenido en macro nutrientes N, P, K y micro nutrientes y mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos, la población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo, se prevé la utilización del compost como abono orgánico para mejorar las características del suelo y proveer de nutrientes suficientes a los cultivos, en relación con su empleo en la agricultura tiene gran importancia como mejorador del medio ambiente y del suelo.

Advierten también Soto (2003), Soto y Meléndez (2003), que en el mercado existe una gran variedad de tipos de abonos orgánicos debidos tanto a la cantidad de materias primas disponibles como a los diferentes procesos de elaboración. Esto ha motivado en cierta forma, que en los últimos años se incremente su utilización para la producción de muchos cultivos. Su demanda también se relaciona con el efecto positivo que éstos materiales tienen sobre el mejoramiento de diversas propiedades del suelo así como por su posible uso como sustitutivo o complemento de los fertilizantes sintéticos (Bertsch 1998; Castro, Henríquez, Bertsch, 2009). En esta misma vía comenta Bertsch (1998), que debido a que los abonos orgánicos se catalogan como enmiendas o mejoradores del suelo, las dosis que usualmente se aplican son comparativamente más altas y variables que las utilizadas con los fertilizantes minerales. Además las concentraciones de nutrimentos, usualmente son bajas cuando se toma en cuenta los kilogramos de nutrientes aplicados por cada tonelada de material (Castro *et al.*, 2009). También Castellanos y Pratt (1981) y Hartz, Mitchell y Giagnini, (2000), mencionan que el aporte de N y C al suelo puede ser muy significativo y se favorece la humificación y la formación de estructuras que generen capacidad de carga a nivel coloidal. Además de N y C, el aporte de otros elementos como el Ca, Mg, K y P puede ser importante, en suelos con una baja fertilidad (Evanylo, Sherony, Spargo, Starner, Brosius, Haering, 2008).

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Algunos estudios han corroborado el efecto positivo de estos materiales en el mejoramiento de la capacidad buffer del suelo y su efecto en la disminución de la acidez y correspondiente aumento en el pH del mismo (Babou, Shiow, Zeng, 2007; Narambuye y Haynes 2007).

4.5 Evaluación económica de cada uno de los tratamientos establecidos

Para realizar un análisis económico de los compostajes usados, se tuvo en cuenta el costo por litro del producto usado como acelerador del proceso (microorganismos transformadores de materia orgánica – TMO), y las labores culturales, las cuales se consignan como mano de obra. Los estiércoles usados en el proceso no causan ningún costo porque se consideran como residuos de la actividad pecuaria que los genera.

Las siguientes son las labores culturales que se deben realizar durante el proceso de compostaje para los tratamientos establecidos:

- **Recolección y ubicación en el sitio de compostación.** Esta operación se hace una sola vez en el proceso, y se estima un tiempo aproximado de 2 horas para esta actividad.

- **Adecuación del material a compostar.** Esta actividad se realiza una sola vez durante el proceso, y se tiene un tiempo estimado de 3 horas para adecuar una tonelada de material a compostar.

- **Recolección, empaque y almacenamiento.** Esta labor se realiza una sola vez durante el proceso de compostaje, y se estima en tiempo 1 hora para desarrollarla.

La Tabla 9, registra las actividades mencionadas anteriormente y el costo en pesos colombianos para realizarlas.

Tabla 9. Labores fijas y su costo durante el proceso de compostaje

Labores fijas durante el proceso.	Numero de veces durante el proceso	Tiempo requerido en la actividad en horas	Costo tiempo unitario (pesos colombianos)	Costo total actividad en (pesos colombianos)
*Recolección y ubicación del material en el sitio de compostación	1	2	2.566	5.133
*Adecuación del material a compostar	1	3	2.566	7.699
*Recolección, empaque y almacenamiento.	1	1	2.566	2.566
TOTALES	3	6	7698	15.398

*Esta actividad se realiza por una sola vez durante el proceso del compostaje

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Las labores realizadas durante el proceso de compostaje y que se deben realizar más de una vez son las siguientes:

- Labor de mantenimiento (volteos y humectación). Esta actividad se realiza aproximadamente 12 veces al mes, y el tiempo requerido para realizarla es de 0,5 horas.
- Medición de temperatura y pH. Dicha actividad se realiza diariamente, es decir 30 días al mes, y el tiempo requerido por el operario para realizarla es de 0,1 horas.

La Tabla 10, registra las actividades anteriores, número de veces por mes y el costo en pesos colombianos para realizarlas.

Tabla 10. Labores que se repiten durante el proceso de compostaje, el tiempo requerido para realizarlas y el costo para cada labor

Labor por tonelada de material a compostar.	Número de veces mensuales	Tiempo requerido en la actividad en horas	Costo tiempo unitario (pesos colombianos)	Costo total actividad en (pesos colombianos)
Labor de mantenimiento (Volteos y Humectación)	12	0.5	1.283	15.396
Medición de Temperatura y pH	30	0.1	256,6	7.698
COSTOS TOTALES/MES	42	0.6	1.539,6	23.094
COSTOS TOTALES/DIA				769,8

El valor del producto acelerador usado para los tratamientos (“microorganismos transformadores de materia orgánica – TMO”) es de \$ 5.000 por litro.

De acuerdo a las Tablas 9 y 10, y teniendo en cuenta el costo del acelerador por litro, se elabora la Tabla 11, la cual ofrece finalmente el costo por Kilogramo para cada uno de los tratamientos establecidos en el trabajo.

Tabla 11. Costo por Kilogramo de compostaje para cada uno de los tratamientos establecidos en el trabajo

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10
TRATAMIENTO	CANTIDAD LITROS PRODUCTO (TMO)	COSTO PRODUCTO TMO. PESOS COL.	COSTOS FIJOS DE LABORES EN EL PROCESO (PESOS COL).	COSTOS TOTALES LABORES DÍA (PESOS COL).	TIEMPO TOTAL/DÍAS TRATAMIENTO	COSTO TOTAL DÍAS TRATAMIENTO (PESOS COL). COLUMNA 5 X COLUMNA 6	COSTO TOTAL TRATAMIENTO (PESOS COL). COLUMNA 3 + COLUMNA 4 + COLUMNA 7	TOTAL Kilogramo DE PRODUCTO OBTENIDOS POR TONELADA COMPOSTADA	COSTO / Kilogramo (PESOS COLOMBIANO S) año 2014
T1B	-	-	15398	769,8	135	103923	119321	820	145,5
T2B	1	5000	15398	769,8	120	92280	112678	820	137,4
T3B	2	10000	15398	769,8	60	46140	71538	820	92,1

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Tabla 11. Continuación.

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10
T4B	3	15000	15398	769,8	50	38490	68888	820	84,0
T5B	4	20000	15398	769,8	50	38490	73888	820	90,1
T1P	-	-	15398	769,8	130	100074	115472	900	128,3
T2P	1	5000	15398	769,8	115	88527	108925	900	121,0
T3P	2	10000	15398	769,8	110	84678	110076	900	122,3
T4P	3	15000	15398	769,8	90	69282	99680	900	110,7
T5P	4	20000	15398	769,8	90	69282	104680	900	116,3
T1C	-	-	15398	769,8	145	111621	127019	880	144,3
T2C	1	5000	15398	769,8	120	92376	112774	880	128,1
T3C	2	10000	15398	769,8	90	69282	94680	880	107,5
T4C	3	15000	15398	769,8	80	61584	91982	880	104,5
T5C	4	20000	15398	769,8	75	57735	93133	880	105,8

En el caso de los tratamientos establecidos con Bovinaza, los valores de costo por Kilogramo de compostaje habilitado fluctuaron entre \$ 84 y \$ 145,5 el menor valor se observó en el tratamiento T4B (tratamiento 4 Bovino) en este tratamiento se adicionaron 3 litros del producto ensayado (Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica – TMO). El costo de mayor valor se observó en el tratamiento T1B (Tratamiento 1 Bovino) al cual no se le adicionó el producto ensayado.

Con relación a los tratamientos establecidos con Porcinaza, los valores de costo por Kilogramo de compostaje habilitado fluctuaron entre \$ 110,7 y \$ 128,3 el menor valor se observó en el tratamiento T4P (tratamiento 4 Porcino), en éste tratamiento se adicionaron 3 litros del producto ensayado (Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica – TMO); El costo de mayor valor se observó en el tratamiento T1P (Tratamiento 1 Porcino) al cual no se le adicionó el producto ensayado.

Los tratamientos establecidos con Conejaza, mostraron valores por Kilogramo de compostaje habilitado comprendidos entre \$ 104,5 y \$ 145,3 el menor valor se observó en el tratamiento T4C (tratamiento 4 conejo), en éste tratamiento se adicionaron 3 litros del producto ensayado (Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica – TMO); El costo de mayor valor se observó en el tratamiento T1C (Tratamiento 1 conejo) al cual no se le adicionó el producto ensayado.

Lo anterior indica claramente que los tratamientos adicionados con el producto (Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica – TMO), como acelerador del proceso de compostaje, reducen el tiempo de habilitación, lo que a su vez disminuye los costos de producción del abono orgánico.

4.6 Protocolo para el manejo de residuos sólidos en explotaciones bovinas, porcinas y cunícolas

Conforme a los resultados obtenidos y la interpretación de los mismos, el trabajo ofrece como producto el protocolo para realizar los procesos de compostaje con estiércoles de los animales de granja de manera práctica, ágil y efectiva (Tabla 11), el cual se expresa mediante un lenguaje amable y de fácil apropiación, con la intención de llegar a los productores de la región particular donde se desarrolló el estudio y a las zonas

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

ecológicamente similares, para ser aplicado en sus unidades productivas, de tal manera que el trabajo se conozca y se aplique sin traumatismo.

Tabla 12. Protocolo para compostar estiércol de las especies animales bovino, porcino y conejo con adición de acelerante

Actividad	Descripción
Recolección y preparación de la biomasa	La recolección de la biomasa (estiércoles de la granja) se define y organiza de acuerdo a la dimensión de la unidad productiva, lo que determina la cantidad de estiércol que se produce diariamente. Es muy importante que la cantidad mínima sea de 50 Kilogramo de biomasa para compostar, esto garantiza el proceso físico y químico.
Relación carbono: nitrógeno. (C/N)	Se recomienda como punto de partida en el proceso establecer de manera puntual la relación carbono: nitrógeno. (C/N); en términos generales debemos aproximarnos lo más posible a una relación en este sentido de 25-35/1. Dicho ejercicio lo hacemos determinando la relación C/N de la materia prima que queremos compostar (en nuestro caso estiércoles generados por las especies pecuarias), cuando ésta relación está por debajo del ideal (30/1), lo mezclamos promediando con alguna materia prima que tenga una relación más alta. La Tabla 1, nos ofrece la relación C/N de algunos materiales con los que podemos trabajar.
Humedad	Uno de los factores más importantes en el proceso de compostación, es la humedad, pues si ésta baja, los microorganismos no se desarrollan por no tener el agua suficiente para su metabolismo, disminuyendo la actividad microbial esencial en éste tipo de proceso, y si, por el contrario es muy alta, desplaza el aire saturando de agua los intersticios dejados por el material, presentándose circunstancias propicias para el desarrollo de condiciones anaerobias (Orozco, 1980). Se estima que para un proceso de compostación aeróbico eficiente se requiere un rango de humedad entre 40 y 60%.
Homogenizar la biomasa	El siguiente paso es homogenizar la biomasa, revolviendo y fracturándola, logrando partículas de 1 a 2 centímetros de diámetro aproximadamente, durante este ejercicio se adiciona el acelerante de compostaje, en nuestro caso el producto "microorganismos transformadores de materia orgánica – TMO" a razón de 3 litros por tonelada de Bovinaza y Porcinaza y de 2 litros por tonelada de Conejaza.
Apilado	Preparada la biomasa, se debe apilar tratando de obtener un cono, es importante no compactarla para lograr que se conserven las cámaras de aire que garanticen la fermentación aeróbica típica del proceso de compostaje.
Protección del compostaje	Es importante que los programas de compostaje se realicen bajo techo, en nuestro caso se utilizó un galpón tipo invernadero para alojar los tratamientos. Después de apilada la biomasa, debemos además cubrirla con plástico negro, este garantiza el efecto térmico necesario para lograr una actividad microbiológica dinámica.
Condiciones en las etapas térmicas	<p>Cuando se inicia el proceso de compostaje, comienza una primera etapa denominada fase etapa mesófila: debido a la actividad metabólica de los microorganismos presentes la temperatura aumenta hasta 40°C, y el pH disminuye desde un valor neutro hasta 5.5-6 en esta etapa la relación C/N es de especial importancia ya que el carbono aportará la energía a los microorganismos y el nitrógeno es esencial para la síntesis de nuevas moléculas, para ello la relación debe estar en 30:1; si superamos esta proporción, la actividad biológica disminuye, mientras que proporciones superiores de N provocan el agotamiento rápido del oxígeno, y la pérdida del exceso en forma de amoníaco.</p> <p>Es muy importante mantener en esta fase una temperatura que no supere los 40°C, esto se logra realizando volteos regulares a las pilas con el fin de airearlas; y cuando la temperatura es muy baja en la etapa mesófila, se corrige subiéndola al humedecer la pila adicionando agua desde la parte superior. Después de la fase mesófila, las pilas de compostaje alcanzan temperaturas más altas hasta de 60 a 65°C, momento conocido como fase termófila.</p>
Etapas de enfriamiento	Después del calentamiento viene un periodo de enfriamiento y la temperatura dentro de la pila de compostaje, se estabiliza en 20°C aproximadamente; durante este periodo debemos realizar volteos cada 2 a 3 días con el objetivo de alcanzar una habilitación homogénea del producto final. Es importante destacar que en éste momento, la biomasa se convierte en un buen hospedero de los insectos propios del entorno, condición que nos indica ésta etapa de enfriamiento; los insectos van disminuyendo en un lapso de 15 días aproximadamente, y la biomasa adquiere un aspecto a tierra, hay en ella un olor agradable y ya no se advierte material inicial.
Producto final	El producto final tendrá un color negro o marrón oscuro y su olor debe aproximarse a tierra de bosque; la biomasa así preparada permanece en el tiempo sin modificarse.

CONCLUSIONES

De acuerdo al recorrido realizado en el trabajo en campo y del análisis hecho al monitoreo de los parámetros recolectados, se puede concluir sobre los siguientes aspectos:

- Con respecto al tiempo de maduración y habilitación de los compostajes trabajados, podemos concluir que los tratamientos a los cuales se les adicionó un acelerador (microorganismos transformadores de materia orgánica – TMO), disminuyen significativamente el tiempo del proceso. El tratamiento elaborado con Bovinaza, T4B (tratamiento 4 bovino) madurado en 50 días, reduce el tiempo del proceso en 85 días con relación al tratamiento T1B (tratamiento sin acelerador), El tratamiento elaborado con Porcinaza, T4P, (Tratamiento 4 Porcino) madurado en 90 días, reduce el tiempo del proceso en 40 días con relación al tratamiento T1P (tratamiento sin acelerador). Con respecto a los tratamientos elaborados con Conejaza, el tratamiento T3C (tratamiento 3 Conejo) madurado en 90 días, reduce el tiempo del proceso en 55 días con relación al tratamiento T1C (tratamiento sin acelerador).

- Económicamente, la utilización del producto (Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica – TMO) disminuye el costo por kilogramo de compostaje de manera significativa. En el caso de los compostajes elaborados con Bovinaza el mayor costo por Kilogramo de producto es el del tratamiento T1B con un valor de \$145,5 (Pesos Colombianos) por Kilogramo de compost habilitado, este tratamiento no fue adicionado con el producto ensayado, mientras que el menor valor por Kilogramo de producto coincide con el tratamiento T4B con un costo de \$84,0 (Pesos Colombianos) por Kilogramo de compost habilitado. Con relación a los compostajes realizados con Porcinaza el mayor costo por Kilogramo de producto es el del tratamiento T1P con un valor de \$128,3 (Pesos Colombianos) por Kilogramo de compost habilitado, este tratamiento no fue adicionado con el producto ensayado, mientras que el menor valor por Kilogramo de producto coincide con el tratamiento T4P con un costo de \$110,7 (Pesos Colombianos) por Kilogramo de compost habilitado. Con respecto a los compostajes realizados con Conejaza el mayor costo por Kilogramo de producto es el del tratamiento T1C con un valor de \$144,3 (Pesos Colombianos) por Kilogramo de compost habilitado, este tratamiento no fue adicionado con el producto ensayado, mientras que el menor valor por Kilogramo de producto se observa en el tratamiento T4C con un costo de \$104,5 (Pesos Colombianos) por Kilogramo de compost habilitado. Los valores señalados justifican y sustentan la adición del producto ensayado (microorganismos transformadores de materia orgánica – TMO) para disminuir no solo los tiempos de compostaje, sino los costos por Kilogramo de compost terminado. En este sentido las unidades productivas que generan ésta clase de residuos sólidos (excretas de bovino, porcino y/o conejo) encuentran una alternativa real de disposición limpia de estos desechos, haciendo más eficientes las instalaciones donde se elaboran procesos de compostaje y obteniendo un recurso orgánico adecuado y habilitado para ser utilizado en la misma granja o para comercializarlo.

- Los procesos de compostaje realizados mostraron un comportamiento normal en lo concerniente al dinamismo del pH y la temperatura. Sin embargo, se advierten picos más altos de temperatura en los tratamientos con más adición del producto ensayado, lo que

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

establece una relación directamente proporcional en este sentido: a más adición de producto TMO mayor temperatura observada.

- Con respecto al pH se evidencia en cada uno de los compostajes niveles acordes al proceso, iniciando con una disminución en la primera fase, para luego ir aumentando paulatinamente a valores de neutralidad y alcalinidad ligera, finalmente se da una fase estacionaria de pH próximo a la neutralidad en la que se estabiliza la materia orgánica y se dan reacciones lentas de poli-condensación. Lo anterior concluye claramente que la adición del producto acelerante ensayado no afecta el dinamismo normal del pH en los procesos de compostaje. Al finalizar los tratamientos de los distintos compostajes, se registraron valores de pH diferentes para cada uno de los sustratos (estiércoles de Bovinaza, Porcinaza y Conejaza). En el caso de la Bovinaza, se registraron valores de pH alrededor de 8 en todos los tratamientos, para el caso de los tratamientos con Conejaza, se observaron niveles de pH alrededor de 7,5 al finalizar el proceso. Y con relación a los tratamientos con Porcinaza, todos los tratamientos estuvieron cerca a la neutralidad, registrando valores de pH entre 6,7 y 7.

- Todos los tratamientos establecidos presentan al final del proceso de maduración las características físicas y químicas necesarias y adecuadas para ser utilizados como abonos orgánicos en la actividad agrícola. Como se aprecia claramente en la Tabla 5 (Análisis de caracterización Química de los 15 tratamientos establecidos), es importante resaltar en este punto que los compostajes elaborados con Porcinaza registran valores más altos en materia orgánica y en nitrógeno, lo que se compadece con De Vega *et al.*, (2013), quien advierte en su trabajo "Evaluación de diferentes compostas tipo bocashi elaboradas con estiércol de bovino, cerdo, ovino y conejo", que la composta con mayor cantidad de nitrógeno fue la que se elaboró con excreta de cerdo; esto se debe al mayor contenido de nutrientes en la dieta (por ejemplo, la proteína requerida por un bovino en producción es de 18% y la de un cerdo es de 20–22%). La edad del animal (etapa productiva) también influye, puesto que los requerimientos y aportación de nutrientes también varían. Sin embargo, esto no descarta que las excretas de las otras especies puedan utilizarse para realizar compostas, puesto que también aportan beneficios, tanto nutricionales como ambientales, ya que a la larga, dichos residuos se transformarán en fuentes de contaminación de no tratarse adecuadamente.

- Con respecto al rendimiento en cantidad, al finalizar el proceso de compostaje se obtuvieron los siguientes porcentajes: 82% para la Bovinaza, 88% para la Conejaza, y 90% para la Porcinaza. Lo anterior está de acuerdo con (Sztern y Pravia 2013), quien advierte que en términos generales, durante el proceso de compostaje se produce una pérdida alrededor del 6 al 10% del volumen inicial de residuos, debido a los procesos bioquímicos y a la manipulación del material.

RECOMENDACIONES

- Sería importante que el trabajo se realizara en entornos ecológicos y climáticos diferentes, buscando zonas con temperaturas más altas y con condiciones de humedad menores, lo que posiblemente ayudaría a mejorar los tiempos ya registrados de maduración y habilitación de las biomasas expuestas.

- En esta misma vía se recomienda también realizar el trabajo en campo con estiércoles de otras especies de granja (aves, ovinos, caprinos, entre otros), lo cual ayudaría a corroborar el efecto acelerador del producto ensayado.

BIBLIOGRAFÍA

- Abawi, G. S. y Thurston H. O. 1994. Efecto de las coberturas y enmiendas orgánicas al suelo y de los cultivos de cobertura sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales. Una revisión. In: Tapado: los sistemas de siembra con cobertura. CATIE-CIIFAD. Ithaca, NY, USA. p. 97-108.
- Álvarez, J. M. 2006. Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica. Consejería de Agricultura y Pesca. http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/agricultura_ecologica/Manual%20compostaxe.pdf Revisado el 2 de julio de 2013.
- Amner, W., McCarthy, A. J. y Edwards, C. 1988. Quantitative assessment of factors affecting the recovery of indigenous and release thermophilic bacteria from compost. *Appl. Environ. Microbiol.* 54: 3107-3112.
- APROLAB. 2007. Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú. Manual para La Producción de Compost con Microorganismos Eficaces. p. 7-8, 15-16.
- ASABE. 2005. Manure production and characteristics. ASAE Standard D384.2. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, MI. p. 19.
- Aso, P.A. y Bustos, V.N. 1991. Uso de residuos orgánicos, estiércol y cachaza, como abonos. *Avance Agroindustrial* 44. Estación Experimental Agroindustrial. Tucumán, Argentina. 12(44): 23-25.
- Aubert, C. 1998. El huerto biológico. Ed. Integral Barcelona. p. 252.
- ANDFIASS, AC. 1998. ASOCIACION NACIONAL DE DISTRIBUIDORES DE FERTILIZANTES E INSUMOS AGROPECUARIOS DEL SECTOR SOCIAL, A.C. (ANDFIASS). ¿Cómo elaborar una composta? Fertilización alternativa. México. p. 1-10.
- Babou, O.J., Shiow, T., Zeng, Y. 2007. Relationship between compost pH buffer capacity and P content on P availability in a virgin Ultisol. *Soil Science* 172:56-68.
- BANR (Board on Agriculture and Natural Resources) and BEST (Board of Environmental Studies and Toxicology). 2003. Air Emissions from Animal Feeding Operations: Current Knowledge, Future Needs. The National Academic Press. Washington, D.C. USA. p. 225.
- Bautista, O. K. 1983. Introduction to tropical Horticulture. p. 205-206.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

- Beffa, T., Blanc, M., Marilley, L., Fischer, J., Lyon, P. y Aragno, M. 1996. Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting. In: The science of composting Ed. Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B. and Papi, T., Blackie Academic & Professional., Glasgow (UK). p. 149-161.
- Bertsch, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. p. 164.
- Bertsch, F. 2003. Abonos orgánicos. Manejo de la fracción orgánica y de los aspectos biológicos del suelo. Curso: Fertilizantes, características y manejo. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. p. 112-130.
- Biddlestone, J., Gray K. R. y Thurairajan K., 1991. Manejo del suelo. Producción y uso del compost en ambientes tropicales y subtropicales. Universidad de Birmingham. Reino Unido. p. 3-10.
- Bouwman, A., y Booiij, H. 1998. Global use and trade of feedstuffs and consequences for the nitrogen cycle. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 52: 261-267.
- Bueno, M. 2003. Manual para horticultores ecológicos. Barcelona, España. p. 41.
- Capulín, J., Núñez, R. Etchevers J. D. y Baca G. A. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. Agrociencia 35(3): 287-299.
- Castellanos, J., Pratt, P. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. Soil Science Society of America Journal 45:354-357.
- Castillo, A., Quarín, S., Iglesias, M., 2000. Vermicompost chemical and physical characterization from raw and mixed organic wastes. Agricultura Técnica 60:74-79.
- Castrillón, O., Bedoya, O., Montoya, D. V. 2006. Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos en sistemas de compostaje con aireación pasiva y sin aireación. Producción + Limpia, 1(2). p. 87- 88.
- Cariello, M., Castañeda, L., Riobo, I. y Gonzalez, J. 2007. Inoculante De Microorganismos Endógenos Para Acelerar El Proceso Compostaje De Residuos Sólidos Urbanos. Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Entre Ríos Argentina. p. 27.
- Castro, A., Henríquez, C., Bertsch, F. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. Agronomía Costarricense 33(1):31-43.
- Cegarra, J. 1994. Fraccionamiento de fertilizantes orgánicos y de sus productos de humificación. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, España. p. 60-71.

**EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE
MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE
BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS**

- Chefets, B., Hatcher, P., Yadar, Y. y Chen, Y. 1996. Chemical and Biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. *Journal of Environmental Quality*, 25 (4): 776-785.
- Coleman, D., Vern, C. y Elliot E. 1984. Descomposición organic matter turnover, and nutrient dynamics in agroecosystems. *Agricultural ecosystem unifying concepts*. Wiley Interscience. New York. p. 83-103.
- Corominas, E. y Pérez, M. 1994. Compost: Elaboración y características. *Agrícola Vergel*. Año XIII. No. 146: 88-94.
- Cox, J. 1972. What you should know about nitrogen organic. *Gardening and Farming*. p. 68-74.
- Crespo, G. 1997. Producción de abonos orgánicos. Instituto de Ciencia Animal. *Agrotecnia y Producción de alimentos*. p. 8-10.
- Crespo, G. 2001. El Oro Café de la Agricultura. Compost. Teoría y Práctica del Reciclado de Residuos Orgánicos. Universidad de Guadalajara CUCBA. p. 8-10.
- Dalzul, H. W. 1991. Manejo del suelo. Producción y uso del compost en ambientes tropicales y subtropicales. Centro agrícola Medak. India. p. 21-53.
- Darst, B. y Murphy, L. 1990. Soil Organic Matter. An integral ingredient in crop production. *Better Crops wich plant food*. 74 (1): 10-11.
- De Baca, N. 1956. Compost. Servicio cooperativo interamericano de agricultura. Guatemala. p. 1-8.
- De Bertoldi, M., Vallini, G. y Pera, A. 1983. The Biology of composting: A Review. *Waste Management and Research*, 1: 167-176.
- De Luna, V.A. y Vázquez, A.E. 2009. Elaboración de Abonos Orgánicos. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. p. 4-12.
- De Vega, A., García, M. Rodríguez, E., Corona, J., Aceves, T., Escalante, R. y Vázquez, J. Evaluación de diferentes compostas tipo bocashi elaboradas con estiércol de bovino, cerdo, ovino y conejo. México. p. 1, 4. http://www.somas.org.mx/pdf/pdfs_libros/agriculturasostenible5/5_1/60.pdf Revisado el 13 de agosto de 2013.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

- De Klein, C., Pinares, M. y Waghorn, G. 2008. Greenhouse gas emissions. *In*: McDowell, R. W. (ed.). Environmental Impacts of Pasture-Based Farming. Ag Research Invermay Agricultural Centre Mosgiel. New Zealand Cab International. Cambridge, UK. p. 1-32.
- Dick, W.A. y McCoy, E.L. 1993. Enhancing soil fertility by addition of compost. *In*: Science and Engineering of Composting; design, environmental, microbiological and utilization aspects (Hoitink, H.A.J. y Keener, H.M., eds), Renaissance Publications, Worthington, Ohio (U.S.A.). p. 622-644.
- Dietz, F.J. y Hoogervorst, N.J.P. 1991. Towards a sustainable and efficient use of manure in agriculture: the Dutch case. *Environ. Resour. Econ.* 1: 313-332.
- Escobar, N., Mora, J. y Romero, N. (2013). Respuesta agronómica de *Zea mays* L. y *Phaseolus vulgaris* L. a la fertilización con compost. *Revista Luna Azul*, 37, xx-xx. Recuperado de <http://unazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&task=view&id=841> Revisado el 18 de junio de 2014.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2000. National Water Quality Inventory 2000 Report (EPA-841-R-02-001). United States Environment Protection Agency, USA. p. 207.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2005. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2005. United States Environment Protection Agency, USA. p. 393.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2006. Global Anthropogenic Non-CO2 greenhouse gas emissions: 1990-2020. United States Environment Protection Agency, USA. p. 274.
- Evanylo, G., Sherony, C., Spargo, J., Starmer, D., Brosius, M. y Haering, K. 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer- manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127:50-58.
- FAO. 1991. Manejo del suelo. Producción y uso del compost en ambientes tropicales y subtropicales. Roma (Italia). p. 312.
- FAO. 1997. China: Reciclaje de desechos orgánicos en la agricultura. (40): 2, 9, 12, 15.
- Ferrera, CD. y Alarcón, A. 2001. La agricultura del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum* 8:175-183.
- Fergus, C.L. 1964. Thermophilic and thermotolerant molds and actinomycetes of mushroom compost during peak heating. *Mycologia*, 56: 267-284.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

- Ferrer, J., Páez, G. y Chirinos, M. 1994. Bioproceso aeróbico de la pulpa de café. En: Revista Técnica de Ingeniería de la Universidad de Zulia 17 ((2) 67-74.
- Finstein, M.S. y Morris, M.L. 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. Adv. Appl. Microbiol., 19: 113-151.
- Filippini, M. F. 2011. Principios del compostaje. En agroecología y ambientes rurales. http://campus.fca.uncu.edu.ar:8010/pluginfile.php/7818/mod_resource/content/0/A_PUNTE_COMPOSTAJE.pdf. Revisado el 24 de enero de 2014.
- Frioni, L. 1996. Microbiología del Suelo: Biodegradación de sustancias naturales y pesticidas. Seminario de Horticultura orgánica. Bases técnicas para la gestión de cultivos a escala comercial, CEDAU, Montevideo. p. 23-30.
- Frioni, L. y De los Santos, C. 1998. Biotransformación aeróbica de residuos orgánicos sólidos. Agrociencia. Vol. II. No.1: 1-1.
- Fujio, Y. y Kume, S.J. 1991. Isolation and identification of thermophilic bacteria from sewage sludge compost. J. Ferment. Bioeng. 72: 334-337.
- Funes, F. M. y Hernández, D. 1996. Algunas consideraciones y resultados sobre la elaboración y utilización del compost en fincas agroecológicas. Agricultura Orgánica, 2 (1): 6-15.
- Abaigar, A. 2007. Tablas referencia composición de estiércoles y purines. Navarra, España (ITG Ganadero). <http://www.itgganadero.com/itg/portal/tablon2.asp?T0=0&T1=18> Revisado el 4 de Julio de 2014.
- García, C., Hernández, T. Costa, F. y Ayuso, M. 1992. Evaluation of the maturity of municipal waste compact using simple chemical parameters. Science and Plant Analysis. 23: 1501-1512.
- GIEM (Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares). 1999. Manejo y evaluación de la gallinaza (Materia prima en compostación): Avicultores. 53 :28-33.
- Golveke, C.G. 1972. Composting a study of the process and its principles. Emmaus, Pensilvania. p. 110.
- Gómez, D'A., Yamiris, T., González, M. I. y Chiroles, S. 2004. Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente Año 4, No. 7, 2004 ISSN: 1683-890.
- Gómez, J. 2000. Abonos Orgánicos. Manual para productores. Impreso en Talleres Gráfica de Impresos FERIVA S.A Cali (Valle). p. 107.
- Gouin, F. Laliberty, Jr. y Kay, D. 1992. On farm composting handbook Bostón. p. 186.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

- Granja Experimental Bengala. 2013. Conversación con el administrador Jorge Iván Salazar, Mayo de 2013. Filandia, Quindío.
- Grau, J., Sánchez, E., Font, X., Aguilera, F. 2002. Sistemas de compostaje en pilas volteadas: Estudio de la planta de compostaje de Jorba (Barcelona). Tratamientos de residuos. En: Ingeniería Química. Barcelona. 32(374):121-126.
- Hansgate, A., Schloss, P., Hay, A. y Walker, L. 2005. Molecular characterization of fungal community dynamics in the initial stages of composting. FEMS Microbiol. Ecol. 51: 209-214.
- Hartz, T., Mitchell, J., Giagnini, C. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compost. HortScience 35(2):209-212.
- Higa, T. Making a world of difference through the technology of effective microorganisms (EM). EM Technologies, Inc. 1997. p. 8.
- Hoitink, H. A. J. y Grebus, M.E. 1994. Status of biological control of plant diseases with composts. Compost Science & Utilization. 2:6-13.
- Honeyman, M.S. 1993. Environment-friendly swine feed formulation to reduce nitrogen and phosphorus excretion. Am. Alternative Agric. 8.3: 128-132.
- Inbar, Y., Chen, Y., Hadar, Y. y Hoitink, H.A. 1990. New approaches to compost maturity. BioCycle., 31:64-69.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds). Published: IGES, Japan. 4(10):87.
- Jurado, J. 2004. Encuestas aplicadas a Productores y Procesadoras. J.J. Consultores. Publicado por Fundación Produce.
- Kolmans, E. y Vásquez, D. 1996. Estiércol y compost. Manual de agricultura ecológica. p. 101-105.
- Kolpp, H.H. 1966. Compost. Wyoming. Rhode Island. Biodinamic Farming and Gardening Association. p. 18.
- Kowalchuk, G., Naumenko, Z., Derikx, P., Felske, A., Stephen, J. y Arkhipchenko, . 1999. Molecular analysis of ammonia-oxidizing bacteria of the subdivision of the class Proteobacteria in compost and composted materials. Journal of Applied and Environmental Microbiology 65(2): 396-403.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

- Laboratorio de Análisis químico de suelo. 2014. Referencia para la valoración de los elementos del análisis químico de suelos. Laboratorio de Análisis Químico de Suelos de la Universidad del Quindío.
- Labrador, J. 2001. La materia orgánica en los agrosistemas. 2 ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 152-180.
- Laich, F. 2011. El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. En: Jornada Técnica: Fertilidad y Calidad del Suelo. Experiencias de fertilización orgánica en platanera. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. ICIA. 21 de Octubre de 2011. Proyecto BIOMUSA. p. 1-6.
- Leal, N. y Madrid de Cañizales, C. 1998. Compostaje de residuos orgánicos mezclados con roca fosfórica. *Agronomía Tropical*. Fondo nacional de investigaciones agropecuarias. Venezuela. Vol. 48. No. 3: 335-337.
- LeJeune, J. y Wetzel, A. 2007. Preharvest control of *Escherichia coli* O157 in cattle. *J. Anim. Sci.* 85: E73-E80.
- Mathur, P.S., Owen, G., Dinel, H. y Schnitzer, M. 1993. Determination of compost biomaturity. I literature review. *Great Britain, Biological Agriculture and Horticulture*, 10: 65-85.
- Mayea, S.S. 1992. Tecnología para la producción de compost (biotierra) a partir de la inoculación con microorganismos de diversos restos vegetales. CIDA. MINAGRI. La Habana. p. 22.
- Mayea, S. S. 1994. Curso de biofertilizantes y reguladores del crecimiento. U. C. de Las Villas. (sp).
- Mayea, S. S. 1995. Efectividad de la inoculación artificial y con estiércol vacuno en la elaboración del compost. (biotierra). Centro agrícola. *Revista del MES. Cuba*. UCLV. p. 28-33.
- Mazzarino, M.J., Laos, F., Satti, P., Roselli, L., Moyano, S., Tognetti, C. y Labud, V. 2005. Aprovechamiento integral de residuos orgánicos en el NO de Patagonia. Grupo de Suelos del CRUB (Universidad Nacional Comahue), Bariloche. p. 52-61.
- Mc Garcy, M. y Staniforth, J. 1978. Compost, Fertilizer and biogas Production from Human and Farm Wastes in the Peoples Republic of China. Canadá: Centro Internacional de Investigaciones sobre el Desarrollo. p. 94.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

- Meléndez, G. 2003. Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos. En: Abonos orgánicos: Principios, características e impacto en la agricultura. Ed Meléndez, G. San José, Costa Rica. p. 50-63.
- Miller, J.J. 2001. Impact of intensive livestock operations on water quality. Proc. Western Canadian. Dairy Seminar 13: 405-416.
- MINAZ. 1991. Instructivo para la elaboración de compost a partir de la agroindustria azucarera. ICIDCA. Dirección de Agrotecnia. La Habana, Cuba. p. 40
- Miner, J.R., Humenik, F.J. y Overchash, M.R. 2000. Managing livestock wastes to preserve environmental quality. Environmental Quality. Iowa State Univertisy Press. Ames (IA) (USA). p. 318.
- Mondini, C., Dell' Abate, MT., Leita, L. y Benedetti, A. 2003. An integral chemical, thermal, and microbiological approach to compost stability evaluation. Journal Environmental Quality 32: 2379-2386.
- Morales, Y., Rodríguez, C. y Valiño, A. 2000. Elaboración de compost a partir de desechos vegetales y la adición de diferentes sustratos. Forum de Ciencia y Técnica, Res.
- Musting, M. 1987. Le compost: gestion de la matiere organique, París, Francais Dubuse. p. 954.
- Nakasaki, K., Sasaki, M.; Shoda, M. y Kubota, H. 1985a. Change in microbial numbers during thermophilic composting sewage sludge with reference to CO₂ evolution rate. Appl. Environ. Microbiol., 49: 37-41.
- Nakasaki, K., Shoda, M. y Kubota, H. 1985b. Effect of temperature on composting of sewage sludge. Appl. Environ. Microbiol., 50: 1526-1530.
- Narambuye, F., Haynes, R. 2007. Effect of organic amendments on soil pH and Al solubility and use of laboratory indices to predict their liming effect. Soil Science 171:748-754.
- Naranjo, E.I. 2013. Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. p. 63
- Nelson, C. J. 1999. Managing nutrients across regions of the United States. J. Anim. Sci. 77: 90-100.
- Nicholson, S. S. 2007. Nitrate and nitrite accumulating plants. In: Gupta, R. C. (ed). Veterinary Toxicology, Basic and Clinical Principles. Elsevier Ltd, Netherlands. p. 876-879.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

- Nieto, G. A., Murillo, A.B., Troyo, D.E., Larrinaga, M.J. y García, H. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8): 417-421.
- Nogales, R., Cifuentes, C. y Benítez, E. (2005). Vermicomposting of winery wastes: A laboratory study. *Journal of Environmental Science and Health Part B*. 1234: 659-673.
- NRAES. (Fiel Guide to On-Farm composting) (1999) Nature Resource, Agriculture and Engineering Service. Cooperative Extensión-152 Riley-Robb Hall. New York. p. 27-28, 32.
- Olivares, M.A., Hernández, A., Vences, C., Jáquez, J.L. y Ojeda, D. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Facultad de Ciencias Agrotecnológicas Universidad Autónoma de Chihuahua, México*. p. 27.
- Orozco, A. 1980. Desechos sólidos. Una aproximación racional para su recolección, transporte y disposición. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. p. 420.
- Ortiz, G. 2013. Manual de elaboración de composta metrocert México tradición orgánica. Bases para la elaboración de un plan de trabajo en un huerto orgánico. http://www.metrocert.com/files/Manual_de_elaboracion_de_composta.pdf revisado el 2 de Julio de 2013.
- Pascuali, J. 1980. El reciclaje de la materia orgánica en la Agricultura de América. *FAO Soils Bulletin (FAO)* (51) p. 15-17.
- Pereira, J. y Stentiford, E. 1992. A low cost controlled window system. *Acta Horticulture*: (302): 141-152.
- Paschoal, A.D. 1995. Modêlos Sustentáveis de Agricultura. *In Agricultura Sustentável*. CNPMA-EMBRAPA. Brasil. 2: 1 p. 11-16.
- Peixoto, R. 1988. Compostagen: opcao para o manejo orgânico do solo. Brasil. p. 487
- Pérez, A., Hermann, V., Alabouvette, C. y Steinberg, C. (2006). esponse of soil microbial communities to compost amendments. *Soil Biol. Biochem*, 38, 460-470.
- Pinos, J.M., García, J. C., Peña, L., Huerta, J.A., González, C. y Tristán, F. 2012. Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370. Recuperado en 02 de julio de 2014, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004&lng=es&tlng=es.
- Poincelott, R. 1972. The biochemistry and methodology of composting. Connecticut Agriculture. New. Haven. Connecticut. p. 5-9.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

- Powers, W. 2009. Environmental challenges ahead for the U.S. dairy industry. *In: Proc. 46th Florida Dairy Production Conference*, Gainesville, FL, USA. p. 13-24.
- Primavesi, A. 1990. Manejo ecológico do Solo. A agricultura em regios tropicais. 9na ed. Nobel. Brasil. p. 549.
- Ramírez, H. 2005. Producción sostenible de hortalizas. En: Curso-Taller Introductorio Producción Sostenible de Hortalizas. Posgrado en Agronomía. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto. Edo. Lara. p. 151.
- Raspeño, N. y Cuniolo, M. 1996. El compost y las lombrices. *Revista Procampo*. p. 27.
- Reddy, K. R., Kadlec, R. H., Flaig, E., Gale, P.M. 1999. Phosphorus retention in streams and wetlands: a review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 29: 83-146.
- Riddech, N., Krammer, S. y Insam, H. 2002. Characterization of microbial communities during composting of organic wastes. *In: Microbiology of composting* (Ed. Insam, H., Riddech, N. y Klammer, S.). Springer Verlag, Heidelberg. p. 43-52.
- Rodríguez, M. 1994. Sembradores de Esperanza. Editorial Guaymuras y Comunica. Editorial Guaymuras. Tegucigalpa, Honduras. Primera Edición. p. 149-154.
- Rodríguez, D., Cano, R., Figueroa, V., Favela, C., Moreno, R., Márquez, H., Ochoa, M. y Preciado, R. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 27: 319-327.
- Rossetti, J. 1994. El proceso natural del compost. *CERES. FAO.* 149. Vol. 26 (5): 42-44.
- RRCARE. 1996. El compostaje. Su preparación. Manual de prácticas agroecológicas de los Andes Ecuatorianos. Quito. Ecuador. p. 302.
- Sandemente, O.E., García, M. y Valencia, T. 2011. Efecto del uso de melaza y microorganismos eficientes sobre la tasa de descomposición de la hoja de caña (*Saccharum officinarum*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental. RIAA* 2 (2) 2011: 13-19.
- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2008. México Profile. Animal Waste Management Emissions. SEMARNAT, Gobierno Federal, D.F., México. p. 41.
- Seymour, J. 1980. El horticultor autosuficiente. Ed: Blume. 1ra Ed. Barcelona. España. p. 80-90.
- Sharpe, R., y Skakkebaek, N. 1993. Are oestrogens involved in falling sperm counts and disorders of the male reproductive tract? *The Lancet* 341: 1392-1395.
- Shuval, H. 1981. *Niht – Soil Composting*. WASHINGTON, DC: Banco Mundial. p. 81.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

- Sierra, C. y Rojas, C. 2002. La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos. Centro Nacional de Investigación la Platina. Chile. p. 15.
- Singh, O., Singh, M., Maskina, S. y Meelu. O. 1995. Response of wetland rice to nitrogen from cattle manure and urea in rice wheat rotation. *Trop. Agric.* 72:91-96.
- Siqueira, J. 1988. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. Min. da Educacao. Brasil. p. 36.
- SOBIOTECH (Soluciones Biotecnológicas y Agroambientales). 2013. Inoculante con microorganismos transformadores de materia orgánica (TMO), Registro de productor ICA 003556 de noviembre de 2010.
- Soliva, M. y Giro, F. 1992. Composting of three kinds of residues of very different origin. *Acta Horticulture* (302): 181-192.
- Soto, G. y Meléndez, G. 2003. Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos. *In: Soto, G., Meléndez, G., Uribe, L. Ed. Abonos orgánicos: Principios, aplicaciones e impacto en la Agricultura.* Centro de Investigaciones Agronómicas, Costa Rica. p. 59.
- Soto, G. 2003. Abonos orgánicos: definiciones y procesos. *Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impactos en la agricultura.* San José, Costa Rica. Ed. Meléndez. p. 20-49.
- Steffen, R. 1982. El papel del compost en la elevación del contenido de materia orgánica en el suelo. *Información Express. Suelos y Agroquímica:* 17.
- Stentiford, E. y Dodds, C. 1991. Solid substrate cultivation. *Composting.* Chapter 12. p. 211-245.
- Sugaki, M., Kamekawa, K., Sekiya, S. y Shiga, H. 1990. Effect of continuous application of organic or inorganic fertilizer for sixty years on soil fertility and rice yield in Paddy field. 14th International Congreso of Soil SC. Vol. IV: 14-19.
- Strom, P.F. 1985a. Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid waste composting. *Appl. Environ. Microbiol.*, 50: 899-905.
- Strom, P.F. 1985b. Identification of thermophilic bacteria in solid waste composting. *Appl. Environ. Microbiol.*, 50: 906-913.
- Stevens, R. y Laughlin, R. 1998. Measurement of nitrous oxide and di-nitrogen emission from agricultural soils. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 52: 131-139.
- Sundberg, C. 2003. Food waste composting-effect of the acid and size. (on line) Uppsala, p. 38. Licentiate Thesis. Swedish University of agricultural sciences. Department of

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

- Agricultural Engineering. (citado marzo 2006. Disponible en: <http://dissepsilon.slu.se/archive/00000374/01/TryckfilDel.pdf>
- Sundberg, C., Smårs, S. y Jönsson, H. 2004. Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. In: Bioresource Technology. Vol. 95, No. 2 p. 145-150.
 - Sundberg, C. 2005 Improving Compost Process Efficiency by Controlling Aeration, Temperature and pH. [on line] Uppsala, p. 49. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural sciences. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Department of Biometry and Engineering. Disponible en: <http://dissepsilon.slu.se/archive/00000950/01/CeSu103fin0.pdf>.
 - Suquilanda, B. 1996. Agricultura orgánica alternativa tecnológica. Cayambe-Ecuador. p. 172.
 - Sztern, D. y Pravia, M. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Oficina de planeamiento y presupuesto organización panamericana de la salud organización mundial de la salud. p. 10, 34 <http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf> revisado Agosto, 2013.
 - Tiquia, S.M. y Michel, F.C. Jr. 2002. Bacterial diversity in livestock manure composts as characterized by terminal restriction fragment length polymorphisms (T-RFLP) of PCR amplified 16S rRNA gene sequences. In: Microbiology of composting (Ed. Insam, H., Riddech, N. y Klammer, S.). Springer Verlag, Heidelberg. p. 65-82.
 - Thomassen, M. A., Van Calker, K. J., Smits, M. C. J., Iepema, G. L. y De Boer, I. J. M. 2008. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. Agric. Systems 96(1-3): 95-107.
 - Uribe, J., Estrada, M., Córdoba, S., Hernández, L. y Bedoya, D. 2001. Evaluación de los microorganismos eficaces (EM) en producción de abono orgánico a partir del estiércol de aves de jaula. Revista Colombiana Ciencias Pecuarias Vol. 14: 2, 2001.
 - Velarde, E., Sánchez, R., Heres, R. y Córdova, R. 1995. Máquinas para el composteo de residuos orgánicos. Ciencias técnicas agropecuarias. Vol. 5. No. 1: 3.
 - Waksman, S., Cordon, T. y Hulpoi, N. 1993. Influence of temperature upon the microbiological population and decomposition processes in composts of stable manure. Soil Sci., 47: 83-114.
 - www.filandia-quindio.gov.co , Alcaldía de Filandia 2013 consultado el 8 de Julio de 2013.

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

- Yágodin, B., Peterburgski, A., Asárov, J., Diomin, V., Pleshkov, B. y Reshétnikova, N. 1986. Agroquímica II. Ed. Mir. Moscú. p. 136-142.
- Zucconi, F., Forte, M., Mónaco, A. y de Bertoldi, M. 1981. Biological evaluation of compost maturity. BioCycle. 22: 54-57.

ANEXOS

Anexo 1 ficha técnica TMO

FICHA TÉCNICA TMO INOCULANTE CON MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA – TMO

Registro de Productor ICA 003556 de 09 Nov 2010



MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGANICA: Producto elaborado con la finalidad de proporcionar microorganismos capaces de acelerar el compostaje y otros procesos de transformación de materia orgánica para la producción de acondicionadores o mejoradores de suelo.

Modo de Acción: Aplicado en dilución acelera la transformación de materiales orgánicos.

Grupo de microorganismos: Microorganismos ácido lácticos y Levaduras.

Composición

Concentración mínima por cada microorganismo UFC/mL	30x10 ⁷
Pureza microbiológica mínima	95%
pH	6.5

Toxicología: *Los TMO son microorganismos vivos amigables con el medio ambiente y no se consideran patógenos en condiciones normales para los humanos.* Sin embargo, por ser organismos vivos es importante evitar el contacto con ojos, boca, nariz y heridas abiertas. En caso de presentarse alguna de estas situaciones lavar la zona expuesta al producto con abundante agua; si el producto fue ingerido consultar al médico. El producto normalmente no ofrece peligro.

Almacenamiento: Conserve el producto a temperatura ambiente y tapado.

Efecto: Los microorganismos TMO son un producto vivo que trabaja bajo condiciones medioambientales. Este producto estimula e incrementa la transformación de materiales orgánicos.

Utilización:

Aplicación inicial: será una cantidad más alta que las de mantenimiento, con el fin de favorecer la proliferación y fijación del cultivo bacteriano, lo cual garantiza un equilibrio sostenible.

Aplicación de mantenimiento: garantiza el normal funcionamiento a largo plazo; la periodicidad de aplicación dependerá del sistema a tratar.

Información adicional y/o complementaria será suministrada por los técnicos de **SOBIOTECH**. No dude en consultar.

Anexo 2. Análisis estadístico diferentes compostajes

Análisis Estadístico de La Actividad Acelerante del Compostado De Bovinaza con varias Concentraciones de Agente Acelerante Evaluando Parámetro T°							
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Bovinaza + 0 litros	22,00	30,00	35,00	40,00	35,00	35,00	35,00
Bovinaza + 1 litro	35,00	35,00	35,00	40,00	40,00	34,00	35,00
Bovinaza + 2 litros	35,00	40,00	40,00	40,00	34,00	35,00	35,00
Bovinaza + 3 litros	40,00	45,00	48,00	40,00	40,00	40,00	38,00
Bovinaza + 4 litros	40,00	46,00	47,00	50,00	43,00	40,00	43,00
SCT	416854			G.L.Total =	n - 1 =	750 - 1 =	749,00
S.C.Total	30794,992			G.L.ttrmos =	K - 1 =	5 - 1 =	4,00
S.C.t	57985474			g.l.Error =	n - 1 - (k - 1)	749 - 4	745,00
S.C. tratamientos	7662,28						
S.C.error	S.Cttotal - S.C tratamientos	23132,712					
ANALISIS DE VARIANZA							
Fuentes de variación	G.L	S.C	CM	F calculado	F _{0,05}	F _{0,01}	
entre tratamientos	4	7662,28	1915,57	61,69184357	2,37	3,32	
error experimental	745	23132,712	31,05062013				
	749	30794,992					

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

En la Tabla F se hizo la siguiente observación:							
Para $F_{0,05(4,745)} = 2,37$							
Para $F_{0,01(4,745)} = 3,32$							
ANÁLISIS: Al comparar el estadístico de prueba F calculado con el valor tabulado $F_{0,05(4,745)}$ y $F_{0,01(4,745)}$ se observa que $F_{calculado} > F_{0,01}$, lo cual implica que se rechaza H_0 con un nivel de significancia 0,01 o sea que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. Para saber entre cuales tratamientos es que existe(n) la(s) diferencia(s), se procede con la aplicación de la prueba de amplitudes múltiples de DUNCAN:							
PRUEBA DE DUNCAN							
Error estándar de los promedios =	0,207004134	0,45497707					
Con los grados de libertad del error, en este caso, 746, se consultan las tablas de amplitudes estudentizadas significativas de DUNCAN o A.E.S escogiendo el nivel de significancia deseado, 0,05 o 0,01 buscando los valores de la hilera correspondiente hasta un p igual al número de tratamientos en este caso 5. 745 gl del error y alfa = 0.05							
DATOS ESTUDENTIZADOS							
P_2	2,77						
P_3	2,92						
P_4	3,01						
P_5	3,09						
valores de P	2	3	4	5			
A.E.S	2,77	2,92	3,01	3,09			
ALS=A.E.	1,260286	1,32853	1,36948	1,405879			

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

S*error st.		3044	0981	146			
ORGANIZACION CRECIENTE DE PROMEDIOS							
Tratamiento	Bovinaza + 0 litros	Bovinaza + 1 litro	Bovinaza + 2 litros	Bovinaza + 3 litros	Bovinaza + 4 litros		
Promedio	21,85333333	22,09333333	22,22	23,22666667	24,04666667		
COMPARACIÓN	DIFERENCIA (D)	A.L.S	Resultado de la prueba				
Bovinaza + 0 litros vs Bovinaza + 1 litro	0,240000	1,260286	N.S				
Bovinaza + 0 litros vs Bovinaza + 2 litros	0,366667	1,328533044	N.S				
Bovinaza + 0 litros vs Bovinaza + 3 litros	1,373333	1,369480981	*S				
Bovinaza + 0 litros vs Bovinaza + 4 litros	2,193333	1,405879146	*S				
Bovinaza + 1 litro vs Bovinaza + 2 litros	0,126667	1,260286	N.S				
Bovinaza + 1 litro vs Bovinaza + 3 litros	1,133333	1,328533044	N.S				
Bovinaza + 1 litros vs Bovinaza + 4 litros	1,953333	1,369480981	*S				
Bovinaza + 2 litros vs Bovinaza + 3 litros	1,006667	1,260286	N.S				
Bovinaza + 2 litros vs	1,826667	1,328533044	*S				

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Bovinaza + 4 litros							
Bovinaza + 3 litros vs Bovinaza + 4 litros	0,82000 0	1,26028 6	N.S				
ANÁLISIS: CALCULADAS LAS D y las ALS entonces se analiza si $D > A.L.S$, caso en el cual se concluye que los promedios difieren significativamente. Pero si $D < A.L.S$ la diferencia no es significativa							
CONCLUSIÓN: EN ESTE CASO, DE ACUERDO CON LA PRUEBA DE DUNCAN, LOS 4 TRATAMIENTOS PRODUCEN ACELERACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTADO. PERO SE PUEDE CONCLUIR QUE AL ADICIONAR 3 LITROS DE ACELERANTE SE OPTIMIZA EL PROCESO.							
valores de P	2	3	4	5			
A.E.S	3,64	3,8	3,9	3,98			
A.L.S=A.E. S*error st.	1,656116535	1,72891 2866	1,77441 0573	1,810808 739			
ORGANIZACION CRECIENTE DE PROMEDIOS							
Tratamiento	Bovinaza + 0 litros	Bovinaza + 1 litro	Bovinaza + 2 litros	Bovinaza + 3 litros	Bovinaza + 4 litros		
Promedio	21,8533 3333	22,0933 3333	22,22	23,22666 667	24,046666 67		
COMPARACIÓN	DIFERENCIA (D)	A.L.S	Resultado de la prueba				
Bovinaza + 0 litros vs Bovinaza + 1 litro	0,24	1,65500 6165	N.A.S				
Bovinaza + 0 litros vs Bovinaza + 2 litros	0,36666 6667	1,72775 3689	N.A.S				

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Bovinaza + 0 litros vs Bovinaza + 3 litros	1,37333 3333	1,77322 0891	N.A.S				
Bovinaza + 0 litros vs Bovinaza + 4 litros	2,19333 3333	1,80959 4653	*AS				
Bovinaza + 1 litro vs Bovinaza + 2 litros	0,12666 6667	1,72775 3689	N.A.S				
Bovinaza + 1 litro vs Bovinaza + 3 litros	1,13333 3333	1,77322 0891	N.A.S				
Bovinaza + 1 litros vs Bovinaza + 4 litros	1,95333 3333	1,80959 4653	*AS				
Bovinaza + 2 litros vs Bovinaza + 3 litros	1,00666 6667	1,77322 0891	N.A.S				
Bovinaza + 2 litros vs Bovinaza + 4 litros	1,82666 6667	1,80959 4653	*AS				
Bovinaza + 3 litros vs Bovinaza + 4 litros	0,82	1,80959 4653	N.A.S				

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ACTIVIDAD ACELERANTE DEL COMPOSTADO DE PORCINAZA CON VARIAS CONCENTRACIONES DE AGENTE ACELERANTE EVALUANDO PARÁMETRO T°

	I	II	III	IV	V	VI	VII
Porcinaza + 0 litros	35,00	40,00	42,00	45,00	50,00	44,00	48,00
Porcinaza + 1 litro	38,00	46,00	46,00	42,00	48,00	51,00	50,00
Porcinaza + 2 litros	38,00	48,00	50,00	53,00	53,00	55,00	54,00
Porcinaza + 3 litros	40,00	50,00	51,00	50,00	55,00	61,00	52,00
Porcinaza + 4 litros	37,00	48,00	51,00	60,00	64,00	63,00	65,00

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

SCT	597478			G.L.Tot al=	n - 1 =	750 - 1 =	749 ,00
S.C.Total	57725,46667			G.L.ttm os=	K - 1 =	5 - 1 =	4,0 0
S.C.t	81244466			g.l.Erro r=	n - 1 - (k - 1)	749 - 4	745 ,00
S.C.tratamien tos	28158,6						
S.C.error	S.Ctotal - S.C tratamientos	29566,866 67					
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Fuentes de variación	G.L	S.C	CM	F calcula do	F _{0,05}	F _{0,01}	
entre tratamientos	4	28158,6	7039,65	177,37 89326	2,37	3,32	
error experimental	745	29566,866 67	39,687069 35				
	749	57725,466 67					
En la Tabla F se hizo la siguiente observación:							
ANÁLISIS: Al comparar el estadístico de prueba F calculado con el valor tabulado F _{0,05(4,45)} y F _{0,01(4,45)} se observa que F calculado > F _{0,01} , lo cual implica que se rechaza H ₀ con un nivel de significancia 0,01 o sea que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. Para saber entre cuales tratamientos es que existe(n) la(s) diferencia(s), se procede con la aplicación de la prueba de amplitudes múltiples de DUNCAN:							
PRUEBA DE							

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

DUNCAN					
Error estándar de los promedios =	0,2645 80462	0,514373855			
Con los grados de libertad del error, en este caso, 745, se consultan las tablas de amplitudes estudentizadas significativas de DUNCAN o A.E.S escogiendo el nivel de significancia deseado, 0,05 o 0,01 buscando los valores de la hilera correspondiente hasta un p igual al número de tratamientos en este caso 5. 745 gl del error y alfa = 0.05					
DATOS ESTUDENTIZADOS					
P ₂	2,77				
P ₃	2,92				
P ₄	3,01				
P ₅	3,09				
valores de P	2	3	4	5	
A.E.S	2,77	2,92	3,01	3,09	
A.L.S=A.E.S*error st.	1,424816	1,5019716 56	1,548265302	1,5894152 11	
ORGANIZACIÓN CRECIENTE DE PROMEDIOS					
Tratamiento	Porcinaza + 0 litros	Porcinaza + 2 litros	Porcinaza + 1 litro	Porcinaza + 3 litros	Porcinaza + 4 litros
Promedio	25,2066666 7	25,52	25,92	28,66	28,82666 667
COMPARACIÓN	DIFERENCI A (D)	A.L.S	Resultado de la prueba		
Porcinaza + 0 litros vs Porcinaza + 2 litros	0,313333	1,424816	N.S		
Porcinaza + 0 litros vs Porcinaza + 1 litro	0,713333	1,501971656	N.S		

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Porcinaza + 0 litros vs Porcinaza + 3 litros	3,453333	1,548265302	*S
Porcinaza + 0 litros vs Porcinaza + 4 litros	3,620000	1,589415211	*S
Porcinaza + 2 litros vs Porcinaza + 1 litro	0,400000	1,424816	N.S
Porcinaza + 2 litros vs Porcinaza + 3 litros	3,140000	1,501971656	*S
Porcinaza + 2 litros vs Porcinaza + 4 litros	3,306667	1,548265302	*S
Porcinaza + 1 litro vs Porcinaza + 3 litros	2,740000	1,424816	*S
Porcinaza + 1 litro vs Porcinaza + 4 litros	2,906667	1,501971656	*S
Porcinaza + 3 litros vs Porcinaza + 4 litros	0,166667	1,424816	N.S
ANÁLISIS: CALCULADAS LAS D y las A.L.S entonces se analiza si $D > ALS$, caso en el cual se concluye que los promedios difieren significativamente. Pero si $D < ALS$ la diferencia no es significativa			
CONCLUSIÓN.- EN ESTE CASO, DE ACUERDO CON LA PRUEBA DE DUNCAN, LOS 4 TRATAMIENTOS PRODUCEN ACELERACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTADO. PERO SE PUEDE CONCLUIR QUE AL ADICIONAR 3 LITROS DE ACELERANTE SE OPTIMIZA EL PROCESO.			
valores de P	2	3	4
A.E.S	3,64	3,8	3,9
A.L.S=A.E.S*error st.	1,872320831	1,954620648	2,006058033
ORGANIZACIÓN CRECIENTE DE PROMEDIOS			
Tratamiento	Porcinaza + 0 litros	Porcinaza + 2 litros	Porcinaza + 1 litro
Promedio	25,20666667	25,52	25,92
COMPARACIÓN	DIFERENCIA (D)	A.L.S	

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Porcinaza + 0 litros vs Porcinaza + 2 litros			
Porcinaza + 0 litros vs Porcinaza + 1 litro	0,313333333	1,872320831	N.A.S
Porcinaza + 0 litros vs Porcinaza + 3 litros	0,713333333	1,954620648	N.A.S
Porcinaza + 0 litros vs Porcinaza + 4 litros	3,453333333	2,006058033	*AS
Porcinaza + 2 litros vs Porcinaza + 1 litro	3,62	2,047207941	*AS
Porcinaza + 2 litros vs Porcinaza + 3 litros	0,4	1,872320831	N.A.S
Porcinaza + 2 litros vs Porcinaza + 4 litros	3,14	1,954620648	*AS
Porcinaza + 1 litro vs Porcinaza + 3 litros	3,306666667	2,006058033	*AS
Porcinaza + 1 litro vs Porcinaza + 4 litros	2,74	1,872320831	*AS
Porcinaza + 3 litros vs Porcinaza + 4 litros	2,906666667	1,954620648	*AS
	0,166666667	1,872320831	N.A.S

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ACTIVIDAD ACELERANTE DEL COMPOSTADO DE CONEJAZA CON VARIAS CONCENTRACIONES DE AGENTE ACELERANTE EVALUANDO PARÁMETRO T°							
	I	II	III	IV	V	VI	VII
SCT	0			G.L.Total =	n - 1 =	750 - 1 =	749,0 0
S.C.Total	0			G.L.ttrmos =	K - 1 =	5 - 1 =	4,00
S.C.t	0			g.l.Error =	n - 1 - (k - 1)	749 - 4	745,0 0
S.C.tratamientos	0						
S.C.error	S.Cttotal - S.C tratamiento s	0					
ANÁLISIS DE							

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

VARIANZA							
Fuentes de variación	G.L	S.C	CM	F calculado	F _{0,05}	F _{0,01}	
entre tratamientos	4	0	0	#DIV/0!	2,37	3,32	
error experimental	745	0	0				
	749	0					
En la Tabla F se hizo la siguiente observación:							
	Para F _{0,05(4,745)} = 2,37						
	Para F _{0,01(4,745)} = 3,32						
ANÁLISIS: Al comparar el estadístico de prueba F calculado con el valor tabulado F _{0,05(4,45)} y F _{0,01(4,45)} se observa que F calculado > F _{0,01} , lo cual implica que se rechaza H ₀ con un nivel de significancia 0,01 o sea que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. Para saber entre cuales tratamientos es que existe(n) la(s) diferencia(s), se procede con la aplicación de la prueba de amplitudes múltiples de DUNCAN:							
PRUEBA DE DUNCAN							
Error estándar de los promedios =	0	0					
Con los grados de libertad del error, en este caso, 745, se consultan las tablas de amplitudes estudentizadas significativas de DUNCAN o A.E.S escogiendo el nivel de significancia deseado, 0,05 o 0,01 buscando los valores de la hilerla correspondiente hasta un p igual al número de tratamientos en este caso 5 745 gl del error y alfa = 0.05							
DATOS ESTUDENTIZADOS							
P ₂	2,77						
P ₃	2,92						
P ₄	3,01						
P ₅	3,09						
valores de P	2	3	4	5			

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

A.E.S	2,77	2,92	3,01	3,09			
ALS=A.E.S* error st.	0,000000	0	0	0			
ORGANIZACION CRECIENTE DE PROMEDIOS							
Tratamiento	Conejaza + 3 litros	Conejaza + 2 litros	Conejaza + 0 litros	Conejaza + 1 litro	Conejaza + 4 litros		
Promedio	25,57333333	26,42	26,44	28,39333333	29,51333333		
COMPARACION	DIFERENCIA (D)	A.L.S	Resultado de la prueba				
Conejaza + 3 litros vs Conejaza + 2 litros	0,846667	0,000000	N.S				
Conejaza + 3 litros vs Conejaza + 0 litros	0,866667	0	N.S				
Conejaza + 3 litros vs Conejaza + 1 litro	2,820000	0	*S				
Conejaza + 3 litros vs Conejaza + 4 litros	3,940000	0	*S				
Conejaza + 2 litros vs Conejaza + 0 litros	0,020000	0,000000	N.S				
Conejaza + 2 litros vs Conejaza + 1 litro	1,973333	0	*S				
Conejaza + 2 litros vs Conejaza + 4 litros	3,093333	0	*S				

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Conejaza + 0 litros vs Conejaza + 1 litro	1,953333	0,000000	*S				
Conejaza + 0 litro vs Conejaza + 4 litros	3,073333	0	*S				
Conejaza + 1 litro vs Conejaza + 4 litros	1,120000	0,000000	N.S				
ANÁLISIS: CALCULADAS LAS D y las A.L.S entonces se analiza si $D > ALS$, caso en el cual se concluye que los promedios difieren significativamente. Pero si $D < ALS$ la diferencia no es significativa							
CONCLUSIÓN:- EN ESTE CASO, DE ACUERDO CON LA PRUEBA DE DUNCAN, LOS 4 TRATAMIENTOS PRODUCEN ACELERACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTADO. PERO SE PUEDE CONCLUIR QUE AL ADICIONAR 2 LITROS DE ACELERANTE SE OPTIMIZA EL PROCESO.							
valores de P	2	3	4	5			
A.E.S	3,64	3,8	3,9	3,98			
A.L.S=A.E.S*error st.	0	0	0	0			
ORGANIZACION CRECIENTE DE PROMEDIOS							
Tratamiento	Conejaza + 3 litros	Conejaza + 2 litros	Conejaza + 0 litros	Conejaza + 1 litro	Conejaza + 4 litros		
Promedio	25,57333333	26,42	26,44	28,39333333	29,51333333		
COMPARACION	DIFERENCIA (D)	A.L.S	Resultado de la prueba				
Conejaza + 3 litros vs Conejaza + 2 litros	0,846667	2,40520534	N.A.S				
Conejaza + 3 litros vs Conejaza + 0 litros	0,866667	2,510928651	N.A.S				
Conejaza + 3 litros vs Conejaza + 1 litro	2,820000	2,577005721	*AS				

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACCELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

litro							
Conejaza + 3 litros vs Conejaza + 4 litros	3,940000	2,629867 377	*AS				
Conejaza + 2 litros vs Conejaza + 0 litros	0,020000	2,405205 34	N.A.S				
Conejaza + 2 litros vs Conejaza + 1 litro	1,973333	2,510928 651	N.A.S				
Conejaza + 2 litros vs Conejaza + 4 litros	3,093333	2,577005 721	*AS				
Conejaza + 0 litros vs Conejaza + 1 litro	1,953333	2,405205 34	N.A.S				
Conejaza + 0 litro vs Conejaza + 4 litros	3,073333	2,510928 651	*AS				
Conejaza + 1 litro vs Conejaza + 4 litros	1,120000	2,405205 34	N.A.S				

EVALUACIÓN DEL EFECTO ACELERADOR DE MICROORGANISMOS TRANSFORMADORES DE MATERIA ORGÁNICA (TMO) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES DE BOVINOS, PORCINOS Y CONEJOS

Anexo 3. Valoración de los elementos del análisis químico de suelos

métodos de análisis					clasificación de textura		
pH: ntc 5264/2004: potenciométrico					f: franco		
aluminio: extracción kcl, titulación					a: arenoso		
materia orgánica: ntc 5403: 2006, cuantificación por colorimetría					ar: arcilloso		
fósforo disponible: ntc 5350:2005 extracción bray ii y cuantificación por colorimetría					l: limoso		
k, ca, mg: ntc5349: 2005, extracción de acetato de amonio 1n pH7 absorción atómica					f-a: franco arenoso		
(fe, mn,cu, zn): se realiza por espectrofotometría de absorción atómica					a-f: arenoso franco		
extracto obtenido del tratamiento de la muestra de acetato de amonio neutro y e.d.t.a.					f-ar: franco arcilloso		
azufre: método turbidimétrico					f-ar-a: franco arcilloso arenoso		
boro: método de azomethina h					f-ar-l: franco arcilloso limoso		
textura: tacto							
	unidades	muestra	muestra	muestra	niveles de referencia		
análisis		#####	#####	###	calificación (cal):		
pH					bajo	medio	alto
m. orgánica	%						
clima medio	%				<3,0	3,0 -5,0	>5,0
Fósforo	ppm				<20	20,0 - 40,0	>40,0
Potasio	meq/100				<0,2	0,2 - 0,4	>0,4
Calcio	meq/100				<3,0	3,0 - 6,0	>6,0
Magnesio	meq/100				<1,5	1,5 - 2,5	>2,5
Aluminio	meq/100				<0,24	0,24 - 0,48	>0,48
Hierro	ppm				<25	25,0 - 50,0	>50,0
Cobre	ppm				<1,5	1,5 - 3,0	>3,0
Zinc	ppm				<1,5	1,5 - 3,0	>3,0
Manganeso	ppm				<5,0	5,0 - 10,0	>10,0
Boro	ppm				<0,2	0,2 - 0,4	>0,4
Azufre	ppm				<10,0	10,0 - 20,0	>20,0
textura							
nota: este resultado es válido exclusivamente para la muestra analizada							