

UNIVERSIDAD NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

LICENCIATURA EN INGENIERIA AGRONOMICA CON ENFASIS EN  
AGRICULTURA ALTERNATIVA

**MANEJO DE EXCRETAS DE OVEJAS MEDIANTE COMPOSTAJE,  
INOCULADO CON MICROORGANISMOS DE MONTAÑA (MM)  
NATIVOS EN LA FINCA EXPERIMENTAL SANTA LUCIA, HEREDIA**

Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de La Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Agricultura Alternativa

Steven Alejandro Ramírez Zúñiga

Campus Omar Dengo

Heredia, Costa Rica,

Octubre, 2017

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería agronómica con énfasis en Agricultura Alternativa.

### **MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR**

-----

MSc. Tomás Marino Herrera

Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

-----

Dr. Carlos Tobia Rivero

Representante del Director Escuela de Ciencias Agrarias

-----

MSc. Gabriela Soto Muñoz

Tutor

-----

MSc. María Isabel Camacho

Lector

-----

MSc. Pedro Emilio Torres Asúaje

Lector

-----

Steven Alejandro Ramírez Zúñiga

## RESUMEN

El experimento se realizó en la Finca Experimental Santa Lucía, ubicada en Barva de Heredia. Se basó en dar un tratamiento amigable con el ambiente a los residuos orgánicos generados en los sistemas de producción animal principalmente en el hato ovino, mediante el uso de microorganismos de montaña Nativos (MM) para aprovechar al máximo las excretas y residuos sólidos orgánicos. Para el compostaje se formaron pilas utilizando una mezcla de camas, una inoculada con Microorganismos de Montaña Nativos (CMM) y otro sin inocular.

Durante el proceso de compostaje, no hubo diferencia significativa en cuanto a los parámetros de pH, la temperatura, la humedad, además se observó la presencia de insectos y el crecimiento de micelio de hongos siendo esta escasa en el CMM, en el compost sin MM se evidenció la presencia de dípteros pertenecientes a las familias muscidae y sciaridae.

Una vez terminado el proceso de compostaje, se realizó un análisis químico a cada pila, en ambos tratamientos, no se observaron diferencias significativas ( $p < 0,8870$ ). En la prueba de germinación el tratamiento sin MM presentó el menor porcentaje (62,22%), además de plántulas y radículas con menor tamaño comparado con el tratamiento CMM (93,33%) y con el testigo (98,89%) respectivamente. Para indicar la residualidad del compost, se realizó un bioensayo con sorgo como planta indicadora (10 semillas con 10 repeticiones) en una mezcla de compost con suelo en relación (20 / 80) y como testigo absoluto se utilizó suelo ultisol. Para cada tratamiento se realizaron tres cosechas en tiempos diferentes, la primera en el primer mes, la segunda al segundo mes y la tercera al tercer mes de sembradas, no se realizó raleo. El comportamiento de estas variables en el tiempo, mostró una residualidad de los abonos de dos meses, en la producción de biomasa del sorgo (*Sorgum vulgare*), para el compost CMM (30,22g) y el SMM (31,78g).

## ABSTRACT

This experiment was performed at Finca Experimental Santa Lucía, located at Barva, Heredia. The objective of the research is to test different treatments for the management of sheep manure. Mountain microorganisms collected from local mountains were inoculated in the compost piles CMM and without it (SMM).

During composing procedure there was no a significant difference in terms of parameters of pH, temperature, humidity and it was observed the presence of insects and the growth of fungal mycelium being this scarce in the CMM. In the compost without MM it was evidenced the presence of dipteros belonging to the muscidae and sciaridae families. Once the compost is finished; a chemical analysis was performed on each cell. In both treatments were not observed a significant difference ( $p < 0,8870$ ). In the germination test the treatment without MM presented the lowest percentage (62,22%). In addition, seedling and radículas with smaller size compared to the treatment CMM (93,33%) with the respective witness (98,89). Indicating the residual of the compost was carried out a bioassay with sorghum as indicator plant (10 seeds with 10 repetitions) in a mixture of compost with soil in relation (20/80) and the soil only as an absolute witness. For each treatment were harvested three crops at different times. The first one in the first month; the second one in the second month and the third one in the third month of sowing no thinning was performed. The behavior of these variables in the time. It showed a residual of the two months fertilizer, in the production of sorghum biomass (*Sorghum vulgare*) for the compost CMM (30,22G) and SMM (31,78g).

# **DEDICATORIA**

**A Dios Todo Poderoso**

**A Mi Familia**

**Y**

**A Mi Querida Abuela Antonia Rodríguez que siempre me brinda una palabra de aliento**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi Padre Celestial que nunca me abandona**

**A mis Padres, profesores, amigos y compañeros que me brindaron todo su apoyo incondicional, durante la ejecución de este proyecto tan importante en mi vida personal y profesional.**

**En especial a mis compañeras y amigas Yinnel Soto, Alina Aguilar, Irene Mata, que me brindaron su apoyo y ayuda.**

## INDICE

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN .....	1
JUSTIFICACIÓN .....	4
OBJETIVOS .....	6
MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
5.1. Sitio de estudio.....	13
5.2. Caracterización del sistema de producción .....	13
5.2.3 Cama de los corrales .....	14
5.4. Preparación de los microorganismos de montaña (MM) .....	14
Preparación MM sólido.....	15
Preparación de MM líquido.....	16
5.5 Experimentos.....	17
5.5.1 Experimento 1 .....	17
5.6. Distribución espacial de las minicomposteras .....	19
5.6.1 Variables medidas .....	19
5.6.2 Análisis de los datos.....	20

5.6.3 Experimento 2 .....	20
5.6.4 Diseño Experimental:.....	20
5.6.5 Variable .....	21
5.6.6 Análisis estadístico.....	21
5.7.1 Experimento 3: .....	21
5.7.2 Tratamientos.....	21
5.7.3 Diseño experimental.....	22
5.7.4 Variables.....	22
5.7.5 Análisis estadístico.....	22
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>23</b>
6.1. Caracterización de la excreta producida en la Finca Experimental Santa Lucia .....	23
6.1.1 Cantidad de excreta .....	23
6.1.2 Caracterización de la cama del piso de las ovejas utilizadas para producir el compost	24
6.1.3 Contenido de materia seca de la excreta ovina .....	26
6.2 Proceso de compostaje .....	26
6.2.1 Caracterización del inóculo MM.....	26
6.2.2 Evaluación del proceso de compostaje con MM y sin MM de las excretas ovinas de la Finca Santa Lucia.....	27
6.2.3 Características físicas del compostaje de excretas ovinas.....	30



6.2.4 Identificación de insectos en la compostera.....	31
6.2.5 Análisis fitopatógeno.....	31
6.3.1 Composición química de los compost CMM y SMM.....	31
6.3.2 Análisis de germinación de los compost.....	33
6.3.3 Disponibilidad de nutrientes y residualidad de los compost CMM y SMM.....	34
CONCLUSIONES .....	37
RECOMENDACIONES .....	39
Anexos.....	49
Anexo 1. ....	49
Anexo 2. ....	50
Anexo 3. ....	51
Anexo 5. ....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ADN:</b>	Acido desoxirribonucleico
<b>AO:</b>	Abono orgánico
<b>°C:</b>	Grados Celsius
<b>Ca:</b>	Calcio
<b>CAFESA:</b>	Compañía Nacional del café
<b>CH<sub>4</sub>:</b>	Metano
<b>CMM:</b>	Compost con microorganismos de montaña
<b>C/N:</b>	Relación carbono / nitrógeno.
<b>CO<sub>2</sub>:</b>	Dióxido de carbono
<b>Cu:</b>	Cobre
<b>FAO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Siglas en inglés)
<b>Fe:</b>	Hierro
<b>g:</b>	Gramo
<b>GEI:</b>	Gases de efecto invernadero
<b>C/N:</b>	Relación carbono nitrógeno.
<b>IMN:</b>	Instituto Meteorológico Nacional
<b>INEC:</b>	Instituto Nacional de Estadística y Censos
<b>INISEFOR:</b>	Instituto de Investigación y Servicios Forestales
<b>K:</b>	Potasio
<b>Kg:</b>	Kilogramo
<b>K<sub>2</sub>O:</b>	Oxido de potasio
<b>m:</b>	Metro
<b>Mg:</b>	Magnesio
<b>MgO:</b>	Oxido de magnesio
<b>MM:</b>	Microorganismos de montaña
<b>Msnm:</b>	Metros sobre el Nivel del Mar
<b>N:</b>	Nitrógeno
<b>N<sub>2</sub>O:</b>	Óxido nitroso
<b>P:</b>	Fosforo
<b>pH:</b>	Potencial de Hidrogeno
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:</b>	Oxido de fosforo
<b>SMM:</b>	Compost sin microorganismos de montaña
<b>UNA:</b>	Universidad Nacional
<b>µg/ml:</b>	Microgramos por mililitros
<b>Zn:</b>	Zinc

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Parámetros de control de estabilidad del proceso del compostaje. ....	<b>10</b>
<b>Cuadro 2.</b> Condiciones ideales para el compostaje.....	<b>11</b>
<b>Cuadro 3.</b> Cantidad de excreta diaria obtenida en materia fresca de siete animales adultos en el sistema de producción ovina de la Finca Experimental Santa Lucía en cantidad de excreta diaria obtenida en materia fresca de siete animales adultos. ....	<b>24</b>
<b>Cuadro 4.</b> Características químicas de excretas ovinas y cama del sistema de producción ovina de la Finca Experimental Santa Lucía. ....	<b>24</b>
<b>Cuadro 5.</b> Producción semanal de cama en peso fresco, producida por el sistema ovino de la Finca Experimental Santa Lucía. ....	<b>25</b>
<b>Cuadro 6.</b> Contenido de materia seca (%) de las excretas utilizadas en la elaboración del compost con (CMM) y sin microorganismos de montaña (SMM).....	<b>26</b>
<b>Cuadro 7.</b> Indicador Teórico de la biodiversidad microbiana del inóculo MM líquido utilizado en el compostaje de las excretas ovinas. ....	<b>27</b>
<b>Cuadro 8.</b> Resultados de la diversidad y riqueza microbiológica en el biofermento del MM Líquido .....	<b>27</b>
<b>Cuadro 9.</b> Composición química, contenido de humedad y relación C/N del compost CMM y SMM (n: 6).....	<b>32</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grupo de ovejas adultas en uno de los corrales del sistema de producción (Fotografía: S. Ramírez).....	14
Figura 2. Representación descriptiva de las camas ubicadas en los corrales .....	51
Figura 3. Mantillo de bosque. Nótese la presencia de micelio blanco sobre la hojarasca. (Fotografía: S. Ramírez).....	15
Figura 4. Microorganismos de montaña en fase sólida listos para ser activados. (Fotografía: S. Ramírez).....	16
Figura 5. Preparación de MM en fase líquida y diseño de la estructura de las tapas de los contenedores. (Fotografía: S. Ramírez).....	17
Figura 6. Distribución al azar de las camas y corrales con la aplicación de MM – líquido (CMM) y testigo (SMM). Las letras mayúsculas en los bordes significan la orientación este, oeste, norte y sur. ....	18
Figura 7. Adición de la burucha y aplicación del MM- líquido. (Fotografía: S. Ramírez)..	18
Figura 8. Distribución de las pilas para la elaboración del compost testigo (SMM) y tratado (CMM). ....	19
Figura 9. Hilera de pilas de compostaje dentro del galerón cubiertas con tela. (Fotografía: S. Ramírez).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 10. Temperaturas promedio (°C) del proceso de compostaje de la excreta de oveja, con MM en la cama del establo (CMM) y sin MM (SMM). ....	29
Figura 11. Valores promedio de pH del compost CMM y SMM de las excretas ovinas.....	30
Figura 12. Porcentaje de germinación de semillas de rábano, para los compost con microorganismos CMM, sin microorganismos SMM y Testigo. ....	34
Figura 13. Diferencias en la germinación de semillas de rábano con compost Testigo (A), tratado con compost CMM (B), compost Sin MM (C) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 14. Producción acumulada de peso seco de las plantas de sorgo de tres fechas de corta (una por mes) en respuesta a los tratamientos evaluados (compost con MM (CMM), sin MM(CMM), y testigo (sin compost). ....	35
Figura 15. Peso seco de sorgo en cada una de las cosechas, con los tres diferentes tratamientos de compost de excreta de oveja con MM (CMM) y sin MM (SMM), y el tratamiento testigo (solo suelo). ....	36

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Materiales utilizados en la preparación de 100 kilos de Microorganismos de Montaña fase solida. ....	<b>49</b>
<b>Anexo 2.</b> Materiales utilizados en la activación de 100 Litros de Microorganismos de montaña en fase liquida. ....	<b>50</b>
<b>Anexo 3.</b> Ejemplo de "sello de agua". ....	<b>51</b>

## INTRODUCCIÓN

En América Latina y el Caribe la presión del hombre sobre la tierra utilizada en actividades agropecuarias ha aumentado progresivamente cada año, donde la producción de carne de res constituye la actividad ganadera más importante, seguida de la producción de leche (Camero 1996, Ibrahim 2001). En Costa Rica la producción de carne bovina ha sido tradicionalmente de tipo extensivo, esta se caracteriza por presentar baja productividad, uso inadecuado de la tierra y poca sostenibilidad y rentabilidad (Tobías *et al.* 2001).

Ante esta situación, la actividad ovina surge como una alternativa para aquellos productores (as) ansiosos de introducirse en nuevos sistemas de producción, y es a partir del año 2002 donde se empieza a intensificar con fines comerciales, principalmente en el mercado para productos cárnicos y de leche. Por otro lado, el desarrollo de este tipo de explotación, permitió a muchos la diversificación de fincas, aunque estas no contaran con opciones claras de producción o estuviesen subutilizadas (Carvajal 2006).

Por otra parte la producción ovina es afectada por las exigencias del mercado, el crecimiento de la población, las dificultades económicas y la producción extensiva que se concentra cada vez más cercana a las ciudades, las enfermedades, problemas reproductivos además de los efectos perjudiciales relacionados con la deforestación de los bosques, la contaminación de recursos hídricos, la degradación del suelo y la generación de residuos sólidos (Thassitou y Arvanitoyannis 2001, Salas y Quesada 2006).

De los factores anteriores, los residuos sólidos son probablemente el mayor problema, no tanto por el riesgo, si no por el volumen que generan. Estos generalmente son cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega. Los residuos agrícolas, como el estiércol animal, es otra fuente de residuos sólidos (Jaramillo y Zapata 2008, Angulo *et al.* 2012).

Con respecto a las excretas de los animales, existe evidencia de que este tipo de residuos crea una serie de repercusiones ambientales, las cuales están asociadas con la emisión de gases que provocan el efecto invernadero (metano, dióxido de carbono), entre otros, así como la contaminación por malos olores de los vertederos, la contaminación del agua y la calidad del aire en la superficie. Además, en algunas ocasiones la deposición final de este tipo de residuos se realiza en botaderos en lugares abiertos, lo cual constituye también un importante problema para la salud pública (Ndegwa y Thompson 2001).

Lo anterior ha generado la necesidad de buscar opciones de tratamiento para dichos desechos, con la finalidad que puedan ser reducidos del sistema y también aprovechados de manera eficiente (Castillo *et al.* 2006). Cabe mencionar, que por sus propiedades intrínsecas y orgánicas, las excretas de origen animal son biodegradables por lo que pueden desintegrarse rápidamente y a la vez transformarse en otro tipo de materia orgánica (Jaramillo y Zapata 2008).

Existen diversos procesos para biotransformar las excretas los cuales se describen a continuación son: 1) la alimentación animal; 2) producción de energía; 3) metanización o producción de biogás; 4) lombricompostaje para la producción de biofertilizantes; 5) compostaje; 6) biofermentos entre otros (Jiménez y Arias 2007). Dentro de este amplio grupo de métodos, el compostaje es considerado como una de las técnicas más utilizadas para el tratamiento de residuos biodegradables y orgánicos (Santamaría y Ferrera 2002).

El compost es un producto valioso, ya que al ser utilizado como biofertilizante mejora las características del suelo, disminuye la erosión, mejora la retención de la humedad y la germinación de la semilla, además de estimular el desarrollo de las plantas y la necesidad de utilizar fertilizantes sintéticos. Al mismo tiempo, se ha demostrado que el compost favorece la disponibilidad de algunos micronutrientes (Fe, Cu y Zn) durante un período más prolongado, aporta minerales y es una importante fuente de carbono para los microorganismos del suelo (Vento 2000).

Por otra parte, en el campo de inóculos o aceleradores microbiológicos en América Latina, se ha desarrollado un tipo de producto artesanal denominado Microorganismos de Montaña (MM), los cuales son obtenidos mediante una técnica sencilla de bajo costo, utilizada en múltiples sistemas agroproductivos y manejo de residuos orgánicos (Pacheco 2009). Borrero (2014), menciona que la

adición de MM al compost elaborado a partir de residuos de origen animal, es una alternativa sostenible para los agricultores y empresas del sector agropecuario.

Los MM al contener una mezcla de diferentes tipos de microorganismos (levaduras, bacterias fotosintéticas, actinomicetos y bacterias ácido lácticas), biotransforman la materia orgánica de forma más rápida, con la capacidad de degradar sustancias contaminantes y ejerciendo a su vez una actividad antagónica sobre organismos patógenos (plagas y enfermedades). Además, son de rápida producción y fáciles de aplicar, reducen los malos olores (Higa y Parr 1994, Cruz 2010).

Al considerar el beneficio que ejercen los MM sobre las plantas, el suelo y el ecosistema en general, en el presente estudio se evaluara el efecto de los MM nativos de la Finca Experimental Santa Lucía, sobre el compost producido con las excretas de oveja, con el fin de establecer un manejo eficiente que permita reducir el volumen de los residuos que se producen.



## JUSTIFICACIÓN

En Costa Rica, el desarrollo del sector de pequeños rumiantes (ovinos y caprinos) se ha incrementado en los últimos años. No obstante, al igual que otros productores que mantienen animales estabulados, uno de los principales problemas que se presenta es el manejo de los residuos producidos en sus sistemas (Cordero 2008).

Lo anterior se debe a que en muchas de las pequeñas y medianas empresas, algunos de sus propietarios o administradores no cuentan con asesoría profesional o una fuente de información confiable, que les permita seleccionar la mejor alternativa para su manejo, y por lo tanto se ven en la obligación de tomar decisiones inmediatas y en la mayoría de los casos equivocadas.

Según el MIDEPLAN (2010) en nuestro país los modelos de producción son factores de alto impacto ambiental, debido a la inadecuada gestión de los mismos, aspecto que se ha convertido en un problema de escala nacional que sobrepasa los límites de la gestión ambiental, afectando la salud humana y la conservación de los recursos naturales. Dentro del grupo de contaminantes las excretas de los animales son uno de los más relevantes. Generalmente, una oveja adulta puede llegar a producir hasta 3 kg de estiércol al día, es decir, en un rebaño de 100 animales se pueden producir aproximadamente 300 k/día de excreta (Dickson 2005).

Estas excretas habitualmente se eliminan sin un tratamiento previo, por lo que pueden constituirse en agentes contaminantes del aire, agua, suelo y hasta de la salud humana. Existe evidencia de infecciones, con mayor frecuencia por parásitos y microorganismos gastrointestinales en aquellas personas que trabajan en sitios en los cuales tienen una mayor exposición ante estos desechos o bien que viven en las proximidades de los sitios de disposición (Arrigoni 2011).

A menos que este tipo de residuos sean adecuadamente gestionados, los impactos prevalecen hasta que se alcance una completa descomposición o estabilización de los mismos. Por lo tanto, debido a las razones mencionadas y al aumento en la cantidad diaria de producción de este tipo de residuo, se han realizado diversas alternativas de manejo, con factibilidad económica que permitan una reutilización adecuada de estos recursos.

En la actualidad la gestión de los residuos de este tipo se orienta hacia sistemas integrales y sostenibles, donde el compostaje de desechos orgánicos *in situ* se ha convertido en una verdadera

alternativa sustentable para reducir el impacto que generan, y que a su vez impulsan a una agricultura más sostenible. Esto se debe a que el compost que se obtiene, es un producto que actúa como mejorador del suelo y fertilizante orgánico (Zurbrügg *et al.* 2004, Arrigoni 2011).

Por su parte, Higa y Parr (1994) mencionan que una manera de acelerar el proceso de compostaje es mediante la utilización de microorganismos de montaña (MM). El principio de preparación y de multiplicación de este tipo de inóculo es sencillo, convirtiéndolo en una herramienta utilizada en múltiples sistemas agro productivos y de manejo de desechos orgánicos (Pacheco 2009). Actualmente, se conocen más de 90 tipos de aditivos microbiológicos que se comercializan en Japón y en América del Norte para dar tratamiento al estiércol animal. No obstante, sólo un número limitado de los fabricantes revela las especies de microorganismos presentes en estos aditivos microbianos comerciales (Dubois *et al.* 2004).

Por experiencias anecdóticas de productores en zonas agrícolas de Costa Rica como Zarcero, San Ramón y Cartago, los MM han sido utilizados como inoculantes del suelo para reconstituir su equilibrio ecológico, suprimir microorganismos patógenos indeseables, mejorar la disponibilidad de nutrientes y favorecer el crecimiento, rendimiento y la protección de los cultivos (Moya 2001).

Sin embargo, aunque aún no se comprende bien el mecanismo de acción destino final de los microorganismos en la mayoría de estos aditivos comerciales una vez realizada su aplicación, los microorganismos se siguen utilizando y existe un mercado con buena receptividad de estos productos por parte de los consumidores (Shiho *et al.* 2007). Es importante realizar esfuerzos para comprender los mecanismos de acción de estos microorganismos una vez que son utilizados en campo.

En este sentido, evaluar el impacto de los MM en el manejo de los desechos de ovinos, no solamente permitiría obtener información que facilite una gestión adecuada de este material en estos sistemas de explotación (Salas y Quesada 2006), sino que también mejoraría la calidad física, química y biológica del abono elaborado, además de acelerar la descomposición de la materia orgánica y disminuir la emisión de olores y la población de insectos.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Caracterizar las propiedades, físicas, químicas y biológicas del compost elaborado a partir de excretas de ovinos e inoculados con microorganismos de montaña (MM) nativos de la Finca Experimental Santa Lucía, con el fin de brindar un mejor manejo de los residuos que se producen mediante un método fácil, rentable e inocuo para el ambiente.

### **ESPECÍFICOS**

1) Analizar las características físicas, químicas y biológicas del compost con excretas de ovino inoculado con microorganismos de montaña nativos.

2) Comparar las características químicas y biológicas del compost inoculado con Microorganismos de Montaña en estudio, con un compost no tratado.

3) Evaluar el efecto del compost tratado con MM sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plantas de sorgo bajo condiciones de invernadero.

## REVISION DE LITERATURA

La ovinocultura se define como la cría de ovejas por medio de un sistema económicamente rentable y en equilibrio con el medio ambiente. Dentro de las especies animales manipuladas comercialmente en el mundo, la oveja ocupa el primer lugar con un aproximado de 11.000 millones, también es la especie de mayor variabilidad fenotípica en cuanto a características como con cuernos, colores, lana o pelaje, entre otras (FAO 2005).

Hace 10.000 años, los ovinos al igual que los caprinos fueron los primeros animales domesticados por el ser humano, de los cuales la humanidad ha obtenido alimento (carne y leche) y abrigo (piel, pelo y lana). También, han estado presentes en pasajes bíblicos y mitológicos, de esta manera han sido reconocidas como especies de importancia económica (Cordero 2008).

A nivel mundial la producción de lana ha disminuido. Países como Australia y Nueva Zelanda han reducido en los últimos cinco años la cantidad de animales hasta un 17%, contrario a la producción de carne donde, países como la India, Pakistán y China han experimentado un crecimiento significativo en la producción ovina, mientras que en Argentina la actividad aporta un aproximado de 200 millones de dólares en exportaciones por lo que se ha considerado una de las actividades más importante en este país (Dickson 2005, Duhart 2007).

En Costa Rica, la ovinocultura inicialmente fue una actividad destinada para el autoconsumo o de forma decorativa en algunas fincas. Con el paso del tiempo, algunos productores determinaron en las ovejas un negocio viable, debido a la alta demanda y consumo de sus productos derivados en otros países a la escasa oferta en el mercado nacional. Lo anterior favoreció en el crecimiento de grupos de productores quienes actualmente abastecen de carne de oveja y otros derivados de la misma a los principales hoteles y supermercados del país (Cordero 2008).

Inicialmente, el número de animales fue aproximadamente de 35.800 ovejas, distribuidas principalmente en la provincia de Alajuela, Puntarenas y Guanacaste en pequeños hatos, con un rebaño aproximado entre 10 y 30 ovejas/productor. Los hatos más grandes o de mayor producción tenían aproximadamente 500 ovejas/productor (Montero 2003).

Por otra parte, debido al impacto ambiental negativo que generan los sistemas de producción, la legislación nacional estableció como carácter obligatorio para todos los productores de cualquier sistema, elaborar un plan de manejo eficiente de los desechos generados principalmente aquellos desechos como excretas, orina, residuos de forraje, concentrados y cadáveres de animales (Salas y Quesada 2006).

En el caso de la explotación ovina, la cantidad de animales, la sobreexplotación de los pastos, las sequías, problemas de salinidad, malezas leñosas, los suelos degradados, y el mal manejo de desechos han obstaculizado la oportunidad de expansión de este tipo de sistema y ponen a prueba la capacidad de poder realizar este tipo de ganadería de manera sostenible con el medio (Dickson 2005).

Por lo anterior, en Costa Rica se ha orientado en elaborar estrategias que permitan a los sistemas comerciales aprovechar de manera eficiente los desechos generados y la producción en menor área, con el fin de reducir o mitigar el impacto ambiental mediante el uso de buenas prácticas agropecuarias, dentro de las cuales el manejo de las excretas ha sido uno de las más utilizadas y de las cuales se obtienen productos que mejoran la calidad del suelo.

La excreta de oveja como valores promedio contiene 35% de materia seca, 2% de Nitrógeno, 5% de  $P_2O_5$ , 12% de  $K_2O$  y 3% de  $MgO$  y 64.6% de agua, por lo tanto es considerada como un material con alto contenido de elementos químicos. Generalmente, una oveja adulta puede producir aproximadamente 300 gramos de excretas/día, de la cual se obtiene un abono orgánico de excelente calidad (Cordero 2008).

En la ganadería, las excretas se transforman en abono por medio del compostaje, el cual forma parte de una de las alternativas para el manejo de los residuos orgánicos y se define como el proceso de descomposición o degradación de los materiales orgánicos por medio de la intervención de una población mixta de microorganismos expuestos a un ambiente cálido, húmedo y aireado. Al final de proceso se obtiene el producto conocido como compost (Pravia 1996, Benavides 2004).

Para realizar un buen compostaje se debe de considerar en mantener las condiciones aerobias necesarias para que los microorganismos puedan realizar su metabolismo, además de disminuir los

procesos fermentativos y procesos anaeróbicos, con el fin de obtener un producto final estable, no tóxico para las plantas y animales y que pueda ser empleado en la agricultura (Pravia 1996).

Generalmente, el compostaje se desarrolla en diferentes etapas, en la primera etapa o mesofílica abundan las bacterias mesofílicas y hongos mesofílicos, la temperatura aumenta hasta un 40°C, el pH disminuye desde un valor neutro hasta 5.5-6, y aparecen hongos mesofílicos más tolerantes a las variaciones del pH y humedad. En esta etapa la relación C/N es de 30, además el carbono aportara la energía a los microorganismos y el nitrógeno es esencial para la síntesis de nuevas proteínas. El color de la biomasa se mantiene, y persiste el olor a frutas y hojas frescas.

En la segunda etapa o termofílica la temperatura asciende hasta llegar a los 75°C, las poblaciones de bacterias y hongos mesofílicos mueren o permanecen en estado de dormancia mientras que las bacterias termofílicas, actinomicetos y hongos termofílicos encuentran su óptimo, generando incluso más calor que los mesófilos. El pH incrementa desde 5.5 hasta 7.5, el color del compost se torna más oscuro y el olor original se comienza a sustituir por olor a tierra.

La tercera etapa o de enfriamiento una vez que los nutrientes y energía comienzan a escasear, la actividad de los microorganismos termofílicos disminuye, consecuentemente la temperatura en la pila desciende desde los 75°C hasta la temperatura ambiente, y reaparecen los microorganismos mesofílicos al pasar por los 40-45°C, los cuales predominan en el proceso hasta que toda la energía sea utilizada.

La última etapa es la de maduración y en ella la temperatura y pH se estabilizan, si el pH es ácido nos indica que el compost no está aún maduro, los actinomicetos adquieren especial importancia, la formación de ácidos húmicos son frecuentemente productores de antibióticos que inhiben el crecimiento de bacterias y patógenos, aparecen macroorganismos con la función de romper físicamente los materiales. El color del producto final es negro o marrón oscuro y su olor es igual tierra de bosque. Las características del producto final del proceso se pueden observar en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Parámetros de control de estabilidad del proceso de compostaje.

<b>Variables</b>	<b>Características</b>	<b>Fuentes:</b>
Temperatura	Estable	Coyne (2000)  P or otra parte, antes de
Color	Marrón oscuro negro ceniza	
Olor	Sin olor desagradable	
pH	Alcalino	
C/N	$\geq 20$	
N° de termófilos	Decreciente a estable	
Respiración	$0 < 10$ mg /g compost	
Reducción de azúcares	35%	
Germinación	$< 8$ %	

realizar la elaboración del compostaje se deben de conocer las características de los residuos, que en forma directa pueden incidir en la evolución del proceso y en la calidad del producto final, entre ellas se mencionan:

1. **Relación carbono-nitrógeno (C/N):** Se define como la proporción de carbono respecto al nitrógeno, se refiere a las cantidades de estos elementos presentes en la materia orgánica o en los desechos biodegradables en general. Una relación carbono: nitrógeno adecuado para la producción de compost es de 25:1 a 30:1. La mezcla de materiales debe aportar carbono (energía) para los microorganismos y nitrógeno para la formación de proteína.
2. **Estructura y tamaño de los residuos:** Hay materiales que pierden rápidamente su estructura en el proceso de compostaje, ejemplo las excretas, no obstante, otros son más resistentes, como ejemplo materiales leñosos. Se debe de manejar dentro de la compostera diferentes materiales con distintas estructuras para aumentar la superficie de contacto.
3. **Humedad:** La humedad es indispensable en la elaboración del compost, esta favorece al proceso de degradación de los desechos, así como, el crecimiento y actividad de los microorganismos, el contenido óptimo de humedad es entre el 50 -60 %, el exceso de humedad favorecen la compactación de los materiales y limita la circulación de oxígeno, mientras valores inferiores al 10%, desciende la actividad biológica y el proceso se torna lento.

4. **El pH:** Cercano a neutro asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de microorganismos, por lo que valores de pH inferiores a 5,5 y mayores a 8 inhiben el crecimiento de la gran mayoría de microorganismos.
5. **Aireación:** Es tan importante como la relación C:N, por lo que se debe favorecer los metabolismos de respiración aerobia, partículas con valores inferiores al 20% (concentración normal en el aire), se producen condiciones favorables para el inicio de las fermentaciones. En la práctica esta condición se puede identificar por la presencia de malos olores, cuando esto ocurre se debe de proceder a volteos y suspender los riegos.
6. **Temperatura:** La temperatura aumenta conforme avanza el proceso de descomposición, alcanzando hasta 60°C durante la primera semana, en estos días participan diferentes grupos de microorganismo de acuerdo con el rango de temperatura del compost. En la fase inicial del compostaje se desarrollan los microorganismos mesófilos a temperaturas promedio de 10 a 43 °C, luego aparecen los termófilos que se desarrollan a temperaturas entre 55 y 60 °C. (Benavides 2004). La temperatura es un indicador del funcionamiento del proceso. Si la compostera no se calienta quiere decir o que el tamaño del montículo es muy pequeño, o que alguna variable está afectando el desarrollo de la población microbiana, con por ejemplo poca o mucha humedad.

Las condiciones ideales en la producción de compost se observan en el cuadro 2

**Cuadro 2.** Condiciones ideales para el compostaje.

<b>Condición</b>	<b>Rango aceptable</b>	<b>Condición óptima</b>
<b>Relación C:N</b>	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
<b>Humedad</b>	40-60%	50-60 %
<b>Oxigeno</b>	Más de 5%	8%
<b>pH</b>	5,5 – 9,0	6,5 – 8
<b>Temperatura °C</b>	55- 75	65 - 70 °C
<b>Tamaño de partícula</b>	0.5 – 1	Variable

**Fuente:** Soto (2010).



Actualmente existen nuevas tecnologías económicas y fáciles para el manejo del compostaje de excretas, una de ellas es mediante el uso de inoculantes, los cuales están compuestos por microorganismos y enzimas que ayudan a acelerar el proceso de descomposición y permiten aumentar los contenidos de nitrógeno en el producto final. El uso de estos inoculos tiene un efecto positivo sobre la tasa de descomposición en el proceso de compostaje, regulación del pH, y producción de vitaminas (Soto 2010).

Dentro del grupo de inoculantes los microorganismos de montaña (MM) permiten acelerar la degradación de la materia orgánica en el compostaje. Generalmente, consisten en una mezcla de varios microorganismos benéficos (aeróbicos y anaeróbicos) que se obtienen del mantillo del suelo y se reproducen en un medio rico de nutrientes de forma anaeróbica.

Dentro de los MM comúnmente utilizados se encuentran: 1) bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus. Casei* y *Streptococcus lactis*); 2) levaduras (*Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis*); 3) bacterias fotosintéticas (*Rhodospseudomonas palustris* y *Rhodobacter spaeroides*); 4) Actinomicetes (*Streptomyces albus* y *Streptomyces. griseus*); 5) hongos fermentativos (*Aspergillus oryzae* y *Mucor hiemalis*) y otros tipos de microorganismos (Higa y Wididana 1991).

El uso de los MM no solamente ha sido utilizado para la generación de compostaje, también se utilizan como desodorizantes, para descontaminar los campos, purificar el agua, degradar plásticos, papel e hidrocarburos y promover la sostenibilidad (Pacheco 2009, Cruz 2010). En Costa Rica la iniciativa del uso de los MM fue realizada en 1988, y se han realizado diversos programas en la agricultura orgánica y en la conservación de suelos mediante su uso (Torres 2014).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Sitio de estudio

El presente trabajo se realizó en el sistema de producción ovina de la Finca Experimental Santa Lucía de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, ubicada en Barva de Heredia. La investigación se realizó entre los meses de octubre del 2013 a marzo del 2014. La unidad de producción se localiza en las coordenadas 10°01 N<sup>a</sup>; 84°06 O<sup>a</sup> a 1200 msnm, y se caracteriza por presentar una temperatura mínima de 15°C y máxima 25 °C, con una precipitación anual promedio de 2500 mm (IMN 2010).

### 5.2. Caracterización del sistema de producción

En el sistema de producción ovina existen 75 animales adultos, principalmente de cruces entre razas Dorper y Katahdin con un peso promedio/ animal de 60 kg. El manejo es intensivo y los animales se distribuyen en ocho corrales con una dimensión de ocho metros cuadrados con camas de burucha. La alimentación es a base de una mezcla de forrajes (60% de King Grass (*Penisetum* sp.) y 40% de Morera (*Morus alba*), de la cual se suministra 6 kg al animal, más 0.5 kg de alimento concentrado por día según la etapa de desarrollo.

Para caracterizar el sistema de producción y el manejo de los residuos de los animales, primero se obtuvo información relacionada con las técnicas de manejo de las excretas que se utilizan dentro del sistema y la cantidad o kilogramos producidos. Seguidamente, se seleccionaron siete animales adultos los cuales fueron separados del resto, y así cuantificar la cantidad de excreta que producen en 24 h. Se consideró utilizar este número de animales con el fin de evitar algún comportamiento relacionado con el estrés, el cual se produce en condiciones de hacinamiento.

Posteriormente, se recolectaron las excretas y en un lugar limpio se procedió a cuantificar su peso con el uso de una balanza electrónica. La recolección y el peso del material se realizó durante tres semanas, para un total de tres repeticiones. Al mismo tiempo, los animales fueron cambiados en cada colecta de la muestra (Figura 1). Con el fin de conocer la cantidad total de excreta producida en todo el sistema se realizó una extrapolación para la cual se utilizó la cantidad total de animales (75)

y el peso total de excreta producida por los siete animales apartados del sistema. También se estimó la cantidad de excretas generadas semanal y anualmente.



**Figura 1.** Grupo de ovejas adultas en uno de los corrales del sistema de producción (Fotografía: S. Ramírez).

### **5.2.3 Cama de los corrales**

La cama de los corrales de las ovejas está conformada por una mezcla de excretas, burucha, comida de rechazo (restos de forraje y concentrado), orina y restos de pelo. Se colectó material de diferentes camas, una vez por semana durante dos meses. De la muestra compuesta se obtuvo finalmente 1 kg la cual se colocó en una bolsa plástica debidamente identificada. La muestra se trasladó al laboratorio de suelos INISIFOR de la Universidad Nacional donde se analizó el contenido de nutrientes, humedad, pH y relación C/N. La mezcla de las camas fue el que se utilizó para elaborar el compost.

### **5.4. Preparación de los microorganismos de montaña (MM)**

Los microorganismos de montaña (MM) se prepararon en dos fases: una sólida (preparación de los MM-sólido) y otra líquida (activación de los MM).

## Preparación MM sólido

En la fase sólida se utilizaron ingredientes como mantillo de bosque, semolina de arroz, agua y melaza, los cuales son utilizados en la recolección y crecimiento de los MM (Anexo 1). El mantillo se colectó de un área de bosque secundario de la Finca Experimental Santa Lucía, consistió en suelo y la hojarasca en descomposición que presentó formación de micelios blancos (Figura 2).



**Figura 2.** Mantillo de bosque. Nótese la presencia de micelio blanco sobre la hojarasca.

La preparación de la mezcla de los ingredientes del MM se realizó en un lugar techado, con poca luz, limpio y libre de humedad. En el suelo se colocó el mantillo de bosque y se eliminó materiales como piedras y ramas gruesas. Posteriormente se desmenuzó todo el material manualmente y se extendió. Inmediatamente, al mantillo de bosque se le adicionó el resto de los ingredientes (semolina, melaza y agua), y con la ayuda de una pala se volteó el material varias veces hasta conseguir una mezcla uniforme, para verificar el punto de humedad se realizó la "prueba de puño", la cual consiste en tomar un puñado de material, que al oprimirlo con la mano debe formar un terrón, sin escurrir agua, y al tocarla con el dedo debe de desmoronarse con facilidad.

Una vez finalizado lo anterior se introdujo el producto dentro de tres contenedores plásticos de 100 l. En cada uno de ellos se formaron capas de 15 cm, y con un mazo de madera se apelmazó el

material hasta compactar cada capa. Lo anterior para que la mezcla quedara con la menor cantidad de oxígeno.

Al terminar de llenar cada barril se dejó un espacio vacío de aproximadamente 10 cm entre la tapa y el material compactado, para hacer un sello de tierra. Seguidamente, se cerró y selló cada contenedor con un aro metálico y se dejó reposar durante un mes en oscuridad y en condiciones anaeróbicas.

Finalmente, para comprobar la reproducción de los MM-sólido se observó el material 10 días después. La presencia de un olor agradable a fermentado y la coloración del MM-sólido café claro son indicativos de un producto listo para ser activado (Torres 2014).



**Figura 3.** Microorganismos de montaña en fase sólida listos para ser activados.

### **Preparación de MM líquido**

El proceso de activación de los MM se realiza en la fase líquida una vez lista la fase sólida. Para preparar el inóculo se utilizó el MM- sólido y otros dos ingredientes: melaza y agua (Anexo 2). Estos últimos se disolvieron en un contenedor plástico de 100 l.

Luego se colocó el MM- sólido en una tela porosa (malla), la cual se amarró con un mecate en los extremos y conseguir de esta manera una forma similar a una "bolsa de té". Posteriormente, se introdujo la bolsa de tela dentro del contenedor con la solución de agua y melaza e inmediatamente se tapó para evitar la entrada de oxígeno. El material se dejó reposar por 30 días.

Como no se contaba con un fermentador especializado, se adaptó la estructura de la tapa del contenedor con la finalidad de brindar un ambiente adecuado para los microorganismos. Para ello se realizó un agujero en su parte superior conectado a un trozo de manguera, además en el otro extremo en su parte externa se le colocó una botella con agua sujeta con un alambre (Torres 2014). Esto impide la entrada de oxígeno dentro del contenedor y elimina los gases producidos durante la fermentación (Figura 4). Por último, para conocer la cantidad de microorganismos presentes en el inóculo MM- líquido se tomó una muestra de 0.5 l en una botella plástica, la cual fue trasladada al Laboratorio de Tecnología para la Agricultura (LAMA) para realizar un recuento microbiológico.



**Figura 4.** Preparación de MM en fase líquida y diseño de la estructura de las tapas de los contenedores.

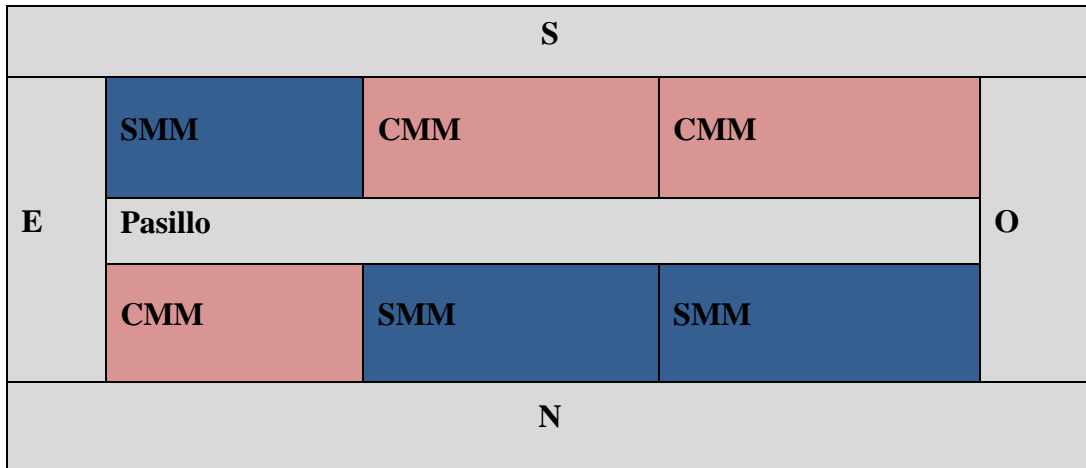
## 5.5 Experimentos

**5.5.1 Experimento 1:** Inoculación de microorganismos de montaña (MM) en la cama de los corrales y su efecto sobre el proceso de compostaje del material de las camas de las ovejas.

**Evaluación de tratamientos:** 1) aplicación de microorganismos de montaña (CMM) en su forma activada (líquida) a la cama de los corrales, dos veces por semana y 2) un testigo sin aplicación de microorganismos (SMM).

Los tratamientos se aplicaron aleatoriamente a las camas de seis corrales (Figura 5). Cada corral tenía el mismo número de animales y separados por una cortina que evitó la mezcla de algún material entre ellos. El inóculo de CMM se preparó con la mezcla de 6 l de agua y 3 l de MM-líquido y se aplicó 3 l con una bomba de espalda, asperjando uniformemente en toda la superficie de las camas.

**Figura 5.** Distribución al azar de las camas y corrales con la aplicación de MM – líquido (CMM) y



testigo (SMM). Las letras mayúsculas en los bordes significan la orientación este, oeste, norte y sur.



**Figura 6.** Adición de la burucha y aplicación del MM- líquido.

## 5.6. Distribución espacial de las minicomposteras

Cada semana se recolectó el material de la cama (sin y con inoculación de MM) para elaborar dos minicomposteras (SMM y CMM). Por lo tanto, cada semana debía prepararse una nueva cama con incorporación de burucha. Esto se realizó durante seis semanas consecutivas. Finalmente se obtuvieron seis colectas de camas de diferente semana, con las cuales se realizaron seis minicomposteras por tratamiento (total 12 composteras).

Las minicomposteras se establecieron en un área o galerón techado de 5 m x 40 m x 4 m. Las pilas de compost se dividieron en dos hileras, en la primera se situó el sustrato proveniente de las camas tratadas con MM-líquido (CMM), mientras que en la otra hilera se colocó el material de las camas testigo (SMM), (Figura 8).

Se realizaron dos volteos semanales del material de cada pila de compost durante ocho semanas.



**Figura 7.** Distribución de las pilas para la elaboración del compost testigo (SMM) y tratado (CMM).

### 5.6.1 Variables medidas

Se midió el pH y la temperatura cada semana durante 13 semanas de cada pila de compost a partir de la segunda semana de preparada y se observaron características físicas como el olor, humedad y color, además de otras como la presencia de insectos o micelio. Estos últimos fueron identificados en el Laboratorio de Fitopatología y Entomología de la ECA, Universidad Nacional.



Se tomó un kg de muestra compuesta por material de compost recolectadas a diferentes alturas y profundidades de las pilas. Este material se depositó en bolsas plásticas debidamente rotuladas y se trasladó al Laboratorio de Suelos de la Compañía Nacional del Café S.A. (CAFESA) donde se realizó un análisis químico con el fin de determinar los valores de pH, el contenido de humedad y la relación C:N.

### **5.6.2 Análisis de los datos**

Los datos se analizaron con el procedimiento Proc Mixed de SAS 9.4 para mediciones repetidas en el tiempo, para evaluar diferencias entre tratamientos, composteras, evaluaciones o la interacción tratamiento por evaluación.

**5.6.3 Experimento 2:** Evaluación del efecto del compost con y sin MM sobre la germinación de semillas.

La evaluación del efecto del compost sobre la germinación de semillas de rábano se llevo a cabo en una caja de cartón, con tapa, a la cual se le perforaron huecos para el intercambio gaseoso, donde se colocaron las cajas de germinación.

**Se evaluaron tres tratamientos:** 1) papel toalla humedecido con agua destilada como sustrato de germinación, 2) compost producido con las camas de ovejas tratadas con dos aplicaciones de microorganismos de montaña (CMM), 3) compost de material de camas de ovejas sin inoculación de microorganismos (SMM).

### **5.6.4 Diseño Experimental:**

Se realizó un experimento completamente al azar con 18 repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en una caja de germinación con 10 g de compost o papel toalla y 10 semillas de rábano sembradas a una profundidad aproximada de 1 cm o colocadas sobre la superficie de la toalla humedecida. Las cajas se dejaron incubando en oscuridad.

### **5.6.5 Variable**

Como variable respuesta se utilizó el porcentaje de germinación, el cual se determinó considerando a la germinación como el evento en que se observa la emergencia de la plántula. Además, se contó el número de semillas germinadas a 15 días de sembradas.

### **5.6.6 Análisis estadístico**

Debido a la naturaleza binomial de la variable semillas germinadas se procedió a realizar el procedimiento de GENMOD de SAS 9.4 para determinar diferencias entre tratamientos y luego el cálculo y separación de medias de mínimos cuadrados (Lsmeans).

### **5.7.1 Experimento 3:**

Evaluación del efecto del compost sobre el crecimiento de las plantas de sorgo. El experimento se llevó a cabo en un pequeño invernadero de 3x3 m con 2,5 m de altura, en la Finca Experimental Santa Lucía. Las condiciones dentro del invernadero fueron, las siguientes temperaturas de 25-30°C, humedad relativa de 70-95% (mantenida con aspersion manual) y períodos de luz natural de 11 a 12 horas/día.

### **5.7.2 Tratamientos**

Se evaluaron tres tratamientos:

- 1) mezcla de suelo y compost producido con material de las camas de ovejas que fueron tratadas con dos aplicaciones de microorganismos de montaña (CMM),
- 2) mezcla de suelo y compost de camas de ovejas sin inoculación de microorganismos (SMM) y
- 3) suelo sin compost. La mezcla de compost y suelo se realizó en una relación 20 /80 (v/v).

### **5.7.3 Diseño experimental**

El diseño fue completamente al azar con seis repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en macetas de 300 g de capacidad donde se depositó el suelo o la mezcla de suelo y compost según el tratamiento. En cada maceta se sembraron 10 semillas de sorgo y el suelo fue un Ultisol.

### **5.7.4 Variables**

Se realizaron tres cosechas de las plantas de sorgo, la primera a los 30 días donde las plantas se cortaron a 0,5 cm de la superficie del suelo. De igual forma se cosechó a los 60 y 90 días de la siembra de las plantas. A las plantas se les determinó el peso fresco y luego se ingresaron a una estufa a 60 °C para determinar materia seca (60°C) en cada una de las cosechas.

### **5.7.5 Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza para determinar diferencias entre tratamientos y para la comparación de medias se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Caracterización de la excreta producida en la Finca Experimental Santa Lucia

#### 6.1.1 Cantidad de excreta

El peso fresco promedio de la excreta producida diariamente en el Sistema Ovino del Proyecto Ovino de la Finca Santa Lucía fue de 19,33 kg. Se determinó que un animal adulto de 60 kg produce 2,75 kg de excreta diaria (Cuadro 3). Lo anterior coincide con lo reportado por Miranda (2009) y Medina (2005), quienes indican que un ovino adulto produce 2,5 kg/día de estiércol en peso fresco.

No obstante, la producción de excreta puede variar según la edad de los animales y el tipo de dieta suministrada. Iglesias (2004), señala que la dieta que se suministra a un animal destinado al engorde es diferente a la que se le ofrece a un animal que está en crecimiento, esto hace que varíe la cantidad de estiércol producida como el contenido de nutrientes del alimento. Los animales utilizados en este estudio tenían una dieta basada en forrajes frescos y alimento concentrado.

Por otra parte, al estimar la cantidad de estiércol producida por los 75 animales adultos, se obtuvo un total de 206,25 kg de excreta por día, sin incluir la producción de excreta de las crías (Cuadro 3). Si se consideran condiciones relativamente constantes en todo el año, en la población de ovejas y en su alimentación, se podría decir que la producción anual de excreta del proyecto ovino de la Finca Santa Lucía es de 75,28 Toneladas.

**Cuadro 3.** Cantidad de excreta diaria obtenida en Kilogramos de materia fresca de siete animales adultos en el sistema de producción ovina de la Finca Experimental Santa Lucía.

<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Excreta fresca total por día (kg) 7 animales</b>	<b>Cantidad de excreta producida por animal por día (kg)</b>
23/01/14	19	2,71
05/03/14	20	2,85
10/03/14	19	2,71
Promedio	19,33	2,75
Estimación con 75 animales		<b>206,25</b>

### 6.1.2 Caracterización de la cama del piso de las ovejas utilizadas para producir el compost

En el momento que la excreta se mezcla con los diferentes materiales que se utilizan para la cama, se observó una disminución de los contenidos de N, P y Ca en las camas ovinas elaboradas con burucha de ciprés. Lo anterior posiblemente debido a la desnitrificación que sufre el material al encontrarse expuesto al pisoteo de los animales, la humedad relativa, el pH y la variabilidad en la temperatura. Además, se determinó mayor cantidad de K y Mg en el contenido de la cama ovina, esto puede deberse a la combinación de los compuestos químicos de la burruca y la excreta (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Características químicas de excretas ovinas y la cama del sistema de producción ovina de la Finca Experimental Santa Lucía.

	<b>pH</b>	<b>C/N</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>
	<b>(%)</b>							<b>(µg/ml)</b>			
Excreta ovina*	8,09	20	2.04	1.51	2.42	2.06	0.32	5	24	65	230
Cama ovina (excretas más burucha)**	9.56	38.6	1.8	0.48	3.48	1.57	0.59	20	92	1.82	180

\* Análisis se realizaron en INISEFOR, muestra foliar, excreta, 27/02/14, \*\* Análisis realizado en el Laboratorio de Suelos de CAFESA.

La desnitrificación e inmovilización del nitrógeno se produce por la actividad de microorganismos que en condiciones de anaerobiosis son capaces de reducir el nitrato y nitrito hasta nitrógeno en forma de gas, aumentando la volatilización; microorganismos como *Pseudomonas* y *Bacillus* se destacan en esta función. Altos valores de pH, y temperaturas elevadas aumentan la pérdida de nitrógeno (Betancourt *et al.* 2016). Por lo que es de esperar menor cantidad de nitrógeno en la cama por contener mayor cantidad de microorganismos y estar en una condición de anaerobiosis, ya que se formaron bloques compactos de excreta por el pisoteo de los animales y humedad en la cama.

Se presentó una fijación biológica del nitrógeno, esto ocurre en materiales que no han llegado a una relación carbono nitrógeno equilibrada ( $\geq 20$ ) y que tienen más cantidad de carbono que nitrógeno (Román *et al.* 2013). Al utilizar la burucha como cama, esta aumenta los contenidos de carbono en relación con el contenido de nitrógeno, como se observa en el (Cuadro 4).

**Cuadro 5.** Producción semanal de cama en kilogramos de peso fresco, producida por el sistema ovino de la Finca Experimental Santa Lucía.

Semana	Cantidad de cama a compostar (kg)
1	1923
2	1917
3	1922
4	1918
5	1921
6	1922
PROMEDIO	1920,5

### 6.1.3 Contenido de materia seca de la excreta ovina

El contenido de materia seca de las excretas tratadas con MM fue de un 34.82%, y de las no tratadas fue de 37 % (Cuadro 6). Los resultados anteriores son similares a los obtenidos por García (1984) y Romera (2000), quienes mencionan que el contenido promedio de materia seca en la excreta ovina es de 35%. Sin embargo, la diferencia observada con respecto a este se debe a la alimentación suministrada, ya que los contenidos nutricionales de esta varían según la edad y destino del animal (Iglesias 2004).

**Cuadro 6.** Contenido de materia seca (%) de las excretas utilizadas en la elaboración del compost con (CMM) y sin microorganismos de montaña (SMM).

Muestra	% Materia seca Tratamientos	
	CMM	SMM
Semana 1	39.0	38.5
Semana 2	35.6	33.8
Semana 3	20.16	37.3
Semana 4	33.1	31.1
Semana 5	35.8	39.5
Semana 6	45.3	42.2
Promedio	34.82	37.07

## 6.2 Proceso de compostaje

### 6.2.1 Caracterización del inóculo MM

Con respecto a la caracterización del inóculo MM, se evidenció la presencia de una alta diversidad de microorganismos, entre ellos fijadores de nitrógeno (*Bacillus* spp.), bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* y *Streptococcus lactis*), levaduras (*Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis*), bacterias fotosintéticas (*Rhodospseudomonas palustris* y *Rhodobacter spaeroides*), actinomicetes (*Streptomyces albus* y *Streptomyces griseus*) y hongos fermentativos (*Aspergillus oryzae* y *Mucor hiemalis*).

En cuanto a la cantidad y diversidad de microorganismos presentes en el inóculo, al comparar los resultados obtenidos en el índice de Shannon (H) con el valor teórico, se encontró una

alta diversidad de microorganismos de origen benéfico (Cuadro 7, Anexo 4). Por la alta diversidad y ausencia de patógenos este inóculo se puede considerar de muy buena calidad<sup>1</sup>.

**Cuadro 7.** Indicador teórico de la biodiversidad microbiana del inóculo MM líquido utilizado en el compostaje de las excretas ovinas.

<b>Indicador Teórico</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>
Número de especies	0 – 10	10 – 30	> 30
Índice de Shannon	0 - 1.8	1.8 – 2.8	> 2.8

**Cuadro 8.** Resultados de la diversidad y riqueza microbiológica en el biofermento del MM Líquido

	<b>Hongos</b>	<b>Bacterias</b>
No. de especies	32	32
Índice de Shannon	3,47	4,44

Fuente: Laboratorio LAMA, Costa Rica

## **6.2.2 Evaluación del proceso de compostaje con MM y sin MM de las excretas ovinas de la Finca Santa Lucia**

### **6.2.2.1. Temperatura de la compostera**

En la figura 8 se presenta los valores de temperatura en °C obtenidas durante el proceso de compostaje, donde se observó que a partir de la tercera semana el compostaje con MM siempre mantuvo una temperatura de 28°C, mientras que el compostaje sin MM alcanzó una temperatura máxima de 26°C. Asimismo, mediante una prueba de Fisher se demostró que no hubo diferencias significativas entre los dos tratamientos ( $F= 0.33$ ,  $gl= 5$ ,  $p= 0.5915$ ) (Figura 10). Además, no se presentaron temperaturas superiores a los 43°C.

<sup>1</sup> Comunicación personal Dr. Salas, Laboratorio LAMA, Febrero 2014.



Sztern *et al.* (2004) mencionan que la temperatura es un indicador del funcionamiento en el proceso de compostaje, el cual es realizado por poblaciones microbianas que mineralizan los materiales orgánicos y provocan cambios en la temperatura. Por su parte, Acosta *et al.* (2006) consideran que temperaturas entre 35-40°C son óptimas para el proceso de compostaje.

Las temperaturas obtenidas en este estudio no fueron las más adecuadas para descomponer la materia orgánica, esto posiblemente se debió a que el tamaño de las pilas y la cantidad de material no fue el más apropiado. Por su parte Rubio (2014) menciona que una pila pequeña no es adecuada para la elaboración de compostaje, ya que el tamaño impide el incremento de la temperatura por medio de una disipación rápida de la humedad y el calor.

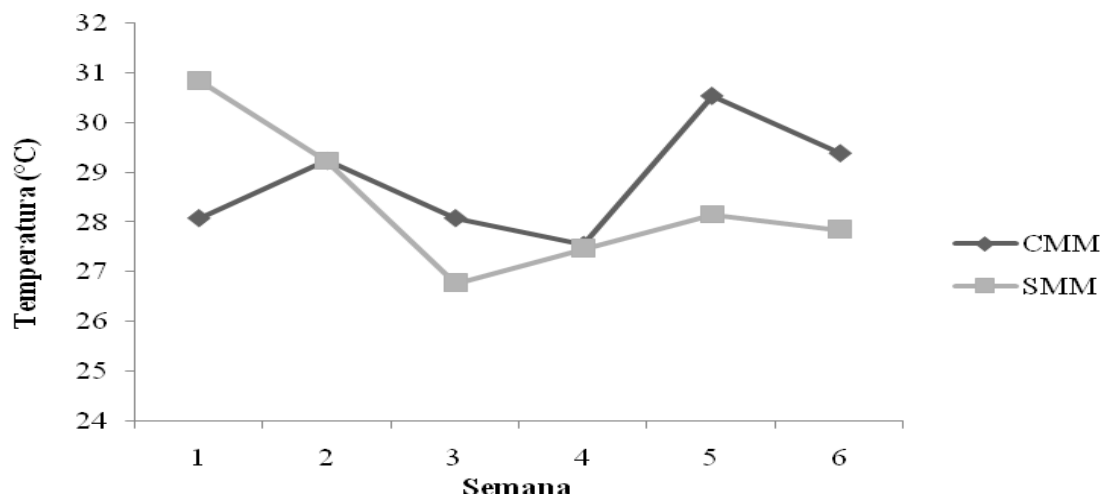
Otro de los factores que influye en la temperatura del compostaje es el bajo contenido de nitrógeno o la alta relación C/N. Román *et al.* (2013), mencionan que un material con una alta o baja relación C/N, afecta los microorganismos que participan en el compostaje, ya si esta relación es alta no tienen el nitrógeno suficiente para generar enzimas y proteínas, disminuyendo su actividad por lo que la pila demora en incrementar la temperatura, por el contrario si la relación es baja hay mucho nitrógeno que se puede perder por volatilización. Cabe mencionar que ambos compostajes poseen una relación C/N de aproximadamente 20%, cuando el rango óptimo para que se dé el proceso de compostaje debe estar entre 25 y 30% (Soto 2010).

Por otro lado, el tiempo de exposición de los MM en el sustrato fue relativamente corto debido a las pocas aplicaciones previas al compostaje, debido al manejo sanitario que se realiza en el sistema, (recolección semanal de las camas para evitar malos olores, contaminación, presencia de insectos, moscas, entre otros).

Yepez *et al.* (2002) mencionan que para que los MM se desarrollen en el sustrato requieren de condiciones adecuadas, ya que, los efectos de su aplicación no se observan de forma inmediata, y cuando el inóculo proviene de microorganismos foráneos, éstos no suelen adaptarse rápidamente al ambiente inoculado, a diferencia de la microflora nativa la cual puede reproducirse rápidamente (Holguin y Mora 2009).

La degradación de la materia orgánica por medio de microorganismos eficientes no se observa en la fase termófila, ya que la descomposición de los desechos se logra realizar por la acción de los microorganismos mesófilos, quienes actúan a temperaturas menores de 45°C, proceso

llamado precompostado (Higa y Wididana 1991). En este estudio se encontró la presencia de organismos mesófilos, sin embargo, el proceso podría ser más eficiente si las temperaturas hubieran sido mayores.



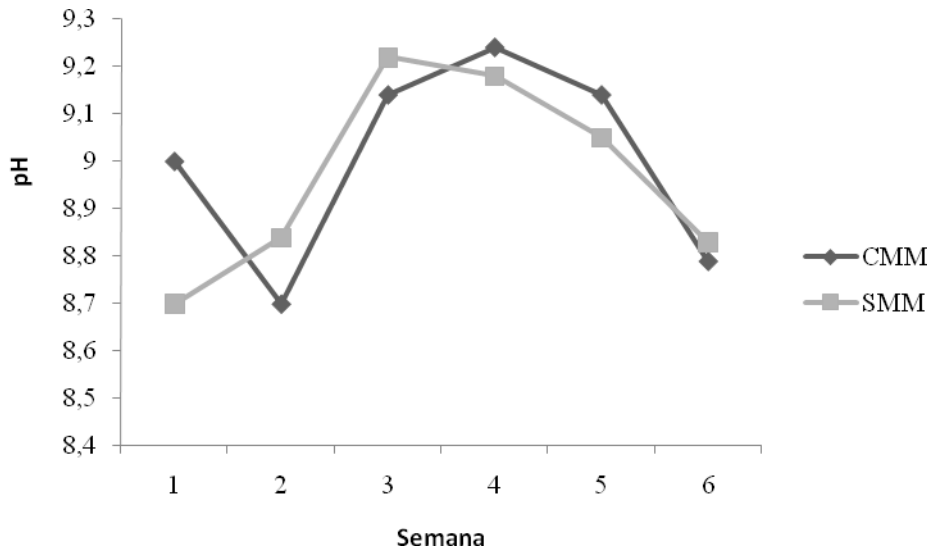
**Figura 8.** Temperaturas promedio (°C) del proceso de compostaje de la excreta de oveja, con MM en la cama del establo (CMM) y sin MM (SMM).

#### 6.2.2.2 pH de las composteras

En la figura 9 se presenta el comportamiento de los valores de pH obtenidos en las composteras. Se observó que ambos tratamientos presentaron un pH alcalino. No se observaron diferencias significativas en los pH obtenidos ( $F= 0.11$ ,  $gl= 5$ ,  $p= 0.7580$ )

Los valores de pH encontrados afectaron la actividad y desarrollo de los MM. Cruz (2010) considera que un pH adecuado debe estar entre 5.5 y 8.5, ya que un valor inferior a 5,5 y mayor a 8, inhibe el crecimiento y desarrollo, la velocidad de las reacciones enzimáticas y la efectividad de los MM en los procesos de compostaje. Por otro lado, Uribe (2011) menciona que conforme inicia el proceso de compostaje, el pH puede aumentar debido a la pérdida de ácidos orgánicos por volatilización, la descomposición microbiana y la liberación de amoníaco.

Las características químicas de la excreta también influyen en este proceso ya que la excreta ovina tiene un valor aproximado de pH de 8,51 (Tortosa 2013). De luna, *et al.* 2009, realizaron un compostaje con excreta de oveja y obtuvieron un pH de 8,21, observando que la excreta después de composteada presentaba una disminución mínima en el pH. Resultados muy similares se observaron en el presente estudio, donde la cama presento un pH de 9.56 al inicio del proceso y posteriormente concluyó con un pH de 9,28 para el CMM y de 9,21 para el SMM.



**Figura 9.** Valores promedio de pH del compost CMM y SMM de las excretas ovinas.

### 6.2.3 Características físicas del compostaje de excretas ovinas

El producto final del compostaje bajo condiciones óptimas generalmente es color café oscuro y presenta un olor a tierra. Sin embargo, en tratamientos donde no se utilizan MM, la presencia de insectos, exceso de lixiviados y olor desagradable es común (PASE 2007, Pacheco 2009).

Durante las dos primeras semanas del estudio se percibió un fuerte olor parecido al amoníaco, el cual disminuyó gradualmente a partir de la segunda semana. Después de las seis semanas se obtuvo materia oscura con olor característico a tierra.

Además, la presencia de insectos, larvas y micelio en las pilas del compost, fue mayor en el SMM a diferencia del compost CMM donde la presencia fue menor en las primeras tres semanas.

#### **6.2.4 Identificación de insectos en la compostera**

Los principales insectos identificados en las composteras evaluadas fueron la mosca Fungus gnat (Diptera: Sciaridae) que se caracterizan por habitar y reproducirse en áreas húmedas, sombreadas y oscuras en donde se acumula materia orgánica (García 2008). Estos organismos se observaron en el compostaje SMM y CMM, siendo menor en este tratamiento, por lo cual se puede concluir que el uso de los MM es efectivo para el control de este insecto.

También se identificaron dípteros de la familia Muscidae principalmente en el compost SMM. Este tipo de especies que pertenecen a esta familia generalmente suelen encontrarse en los excrementos y carroña, materia vegetal, hongos y madera en descomposición (Carvalho 2000).

#### **6.2.5 Análisis fitopatógico**

El hongo que se observó con mayor frecuencia en el tratamiento que no tenía había sido inoculado, se identificó como *Penicillium* spp. Esta especie de hongo es un microorganismo saprófito que crece sobre la materia orgánica en procesos de fermentación o descomposición, de manera que es común encontrarlo en este tipo de ambiente (Carrillo 2000, Cruz 2010).

#### **6.3.1 Composición química de los compost CMM y SMM.**

No se encontró diferencia significativa en la composición química de ambos compostajes ( $F= 0,0212$ ,  $gl=1$ ,  $p<0,8870$ ) (Cuadro 9). Por las características presentadas, es probable que el tratamiento CMM haya sido un compost más elaborado que el SMM, en donde se asume que en este tipo de compostajes el contenido de nitratos es menor (Ito 2006).

En el cuadro 9 se presenta la composición química de los compost evaluados. Se observó que el tratamiento CMM presentó menores contenidos de Nitrógeno (1,82 %), materia orgánica (64,83%), carbono orgánico (37,58%) y humedad (38,95%), que el tratamiento SMM el cual

presentó los siguientes valores de nitrógeno (1,99%), materia orgánica (69,03 %), carbono orgánico (40,05/) y humedad (44,83).

En cuanto a la relación C/N, el tratamiento CMM presentó una mayor relación (20,72%) que el tratamiento SMM (Cuadro 9). Esta diferencias mínimas entre los contenidos nutricionales de ambos compost pueden deberse al control de la aireación en el proceso aplicado en la elaboración de los compostajes, ya que una excesiva aireación podría dar lugar a un consumo de los compuestos húmicos formados y a una rápida mineralización de los mismos, además de eliminar agua, evacuar CO<sub>2</sub> y la biodegradación de la materia orgánica (Márquez et al. 2012, Tortosa 2013).

**Cuadro 9.** Composición química, contenido de humedad y relación C/N del compost CMM y SMM (n: 6).

Contenidos	Tratamientos	
	CCM	SMM
<b>Nitrógeno (%)</b>	1,82	1,99
<b>Materia Orgánica (%)</b>	64,83	69,03
<b>Carbono Orgánico (%)</b>	37,58	40,05
<b>Humedad (%)</b>	38,95	44,83
<b>Relación C/N</b>	20,72	20,25
<b>pH</b>	9,28	9,21
<b>P (%)</b>	0,92	1
<b>K (%)</b>	4,87	4,85
<b>Ca (%)</b>	2,48	2,25
<b>Mg (%)</b>	0,66	0,67
<b>Fe (%)</b>	2484,67	1255,08
<b>Cu (mg/kg)</b>	40,75	37,75
<b>Zn(mg/kg)</b>	159,83	141,67
<b>Mn(mg/kg)</b>	153,33	148,17

Fuente: Resultados de análisis químicos del compost CMM y SMM, CAFESA.

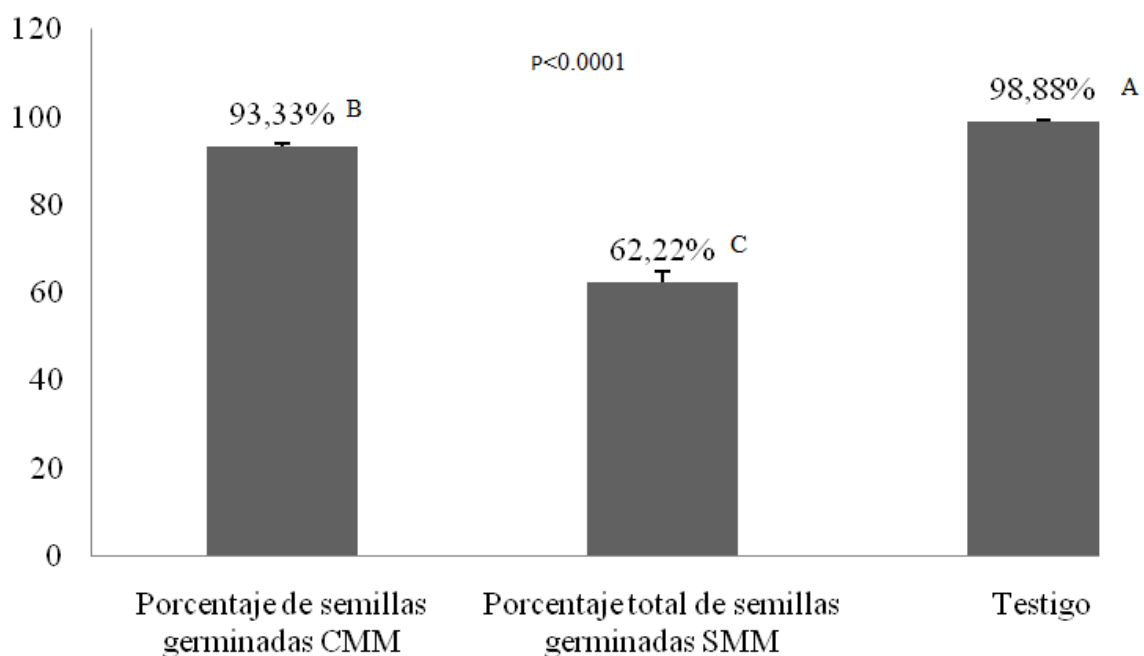
### 6.3.2 Análisis de germinación de los compost

Se presentó diferencia estadísticamente significativa en el análisis de germinación de semillas. El tratamiento SMM mostró menor porcentaje de germinación (62,22%) ( $Z=0.1537$ ,  $gl=2$ ,  $p<0.0012$ ), menor tamaño de plántulas y de radículas que el tratamiento CMM 93.33% ( $Z=0.2988$ ,  $gl=2$ ,  $p<0.0001$ ) y el testigo 98,89% ( $Z=0.7116$ ,  $gl=2$ ,  $p<0,0001$ ), que mostraron mayor cantidad de semillas germinadas y plántulas más vigorosas.

La germinación se puede ver afectada por el antagonismo entre microorganismos, ácidos orgánicos, fitohormonas o antibióticos, Uribe (2003) considera como fitotóxico, todo elemento o sustancia que detiene el crecimiento de las plantas. Por lo que es de esperar un mayor porcentaje de germinación en el tratamiento testigo, al estar en un medio aséptico.

El tratamiento CMM, al contar con la presencia de hongos y bacterias antagonistas, incrementó la germinación a 31,11% en comparación con el tratamiento SMM, dado que estos microorganismos por medio de mecanismos, como, el micoparasitismo, antibiosis, desactivación de enzimas del patógeno, resistencia inducida o competencia por sustrato, influyen sobre la germinación de semillas. Fernández (2001), Díaz (2003), Infante *et al.* (2008) y Sandoval (2009). El aumento en el tamaño de plántulas y radículas se puede dar por efecto hormonal de algunos microorganismos (Uribe 2001, Yopez *et al.* 2002, PASE 2007, Suchini 2012, Valderrama *et al.* 2012).

Referente a la germinación de las semillas en los MM utilizados se encontraron bacterias como *Pseudomonas* y *Bacillus* y hongos de los géneros *Trichoderma* y *Gliocladium* que han demostrado ser muy eficientes en el control biológico. Sandoval (2009), evaluó el número de semillas germinadas y plantas sanas tratadas con *Trichoderma* y observo una diferencia significativa en el aumento de la germinación y un mayor número de plantas sanas (Figura 12). El MM preparado presentó poblaciones de *Trichoderma spp* 64 pg de ADN/g, *Pseudomonas spp* 54 pg de ADN/g y *Bacillus spp* 3232pg de ADN/g (Anexo 4).



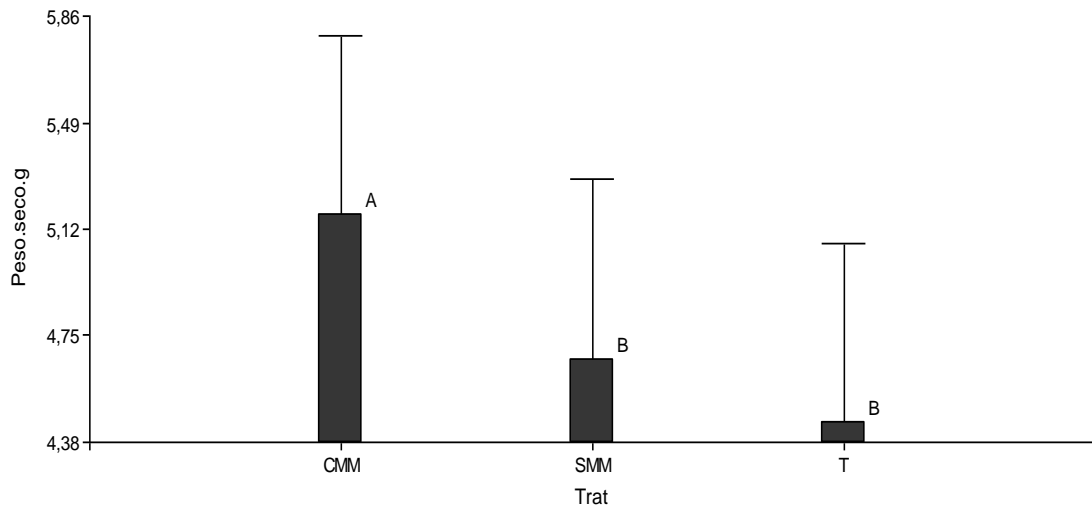
**Figura 10.** Porcentaje de germinación de semillas de rábano, para los compost con microorganismos CMM, sin microorganismos SMM y Testigo.

### 6.3.3 Disponibilidad de nutrientes y residualidad de los compost CMM y SMM.

Con respecto a la disponibilidad de nutrientes, el tratamiento que presentó mayor producción de biomasa fue el CMM (5,19 g), seguido del SMM (4.63 g) y del testigo (4.45 g). Además, las plantas que crecieron en el compost CMM presentaron mayor producción acumulada en peso seco y mayor producción de biomasa (Figura. 11).

Naranjo (2013) menciona el potencial que poseen los materiales orgánicos en descomposiciones controladas y además menciona la importancia de los microorganismos, tanto para las plantas como para el suelo. Por lo que un suelo o sustrato al contener microorganismos, permite transformaciones químicas, mejora las propiedades químicas, aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K y micronutrientes, mejora la actividad biológica del suelo, aumenta la microflora bacteriana, corrigen la salinidad, facilitan el intercambio de iones, solubilizan ciertos minerales, controlan patógenos, por lo que se recomienda el uso de abonos y microorganismos en

los suelos productivos como mejoradores del medio ambiente y del suelo (Higa 1991, PROEXANT 2002, Naranjo 2013).

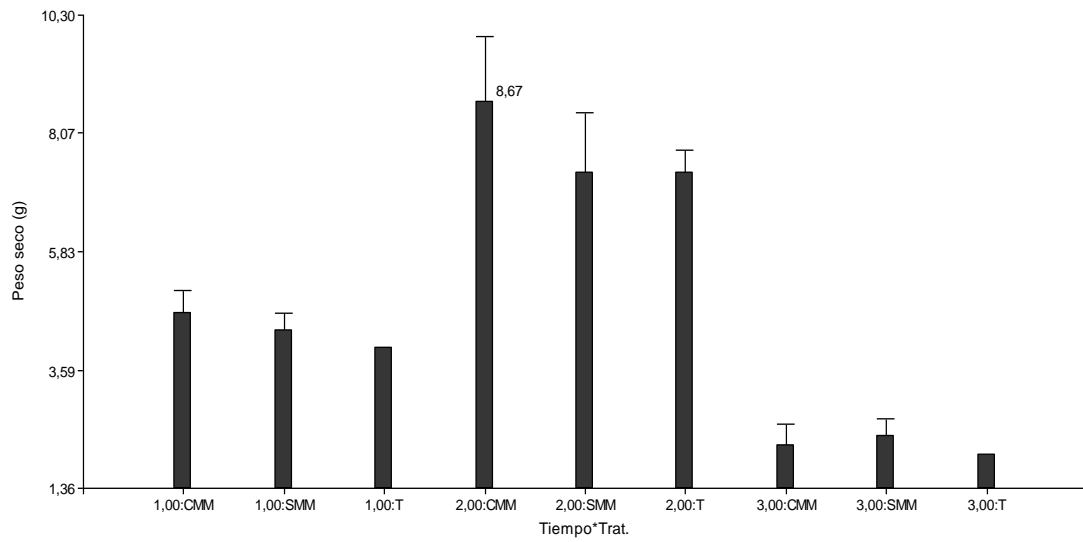


**Figura 11.** Producción acumulada de peso seco de las plantas de sorgo de tres fechas de corta (una por mes) en respuesta a los tratamientos evaluados (compost con MM (CMM), sin MM (SMM), y testigo (sin compost)).

Referente a la residualidad de los compostajes, al analizar la interacción, tratamiento y momento de cosecha, los tres tratamientos mostraron el mayor crecimiento en la segunda cosecha. Segura (2000) en su estudio de compost de racimos de palma aceitera observó en todos los casos que la segunda cosecha presentaba un mayor rendimiento.

En este trabajo se observó que la producción de biomasa en la segunda cosecha fue mayor para los tratamientos CMM y SMM los cuales redujeron sustancialmente la producción de biomasa en la tercera cosecha, lo que demuestra un reducido efecto residual de los compost, pero se puede considerar como una enmienda que interactúa rápidamente en el suelo y con las plantas.





**Figura 12.** Peso seco de las plantas de sorgo en cada una de las cosechas, con los tres diferentes tratamientos de compost de excreta de oveja con MM (CMM) y sin MM (SMM), y el tratamiento testigo (solo suelo).

## CONCLUSIONES

1. El sistema de producción ovina de las Finca Experimental Santa Lucía, produce aproximadamente 206,25 kilos de excreta por día en peso fresco, 75281.25 kilos por año de este material, con porcentajes de 8,09 pH, 20% C/N, 2.04% de N, 1.51% Fosforo, 2.42% K, 2.06%Ca, 0.32% de Mg, Cu 5 µg/ml, Zn 24 µg/ml, Mn 6 µg/ml y Fe 230 µg/ml. La cantidad de excreta generada es considerable, por lo que se convierte en un problema ambiental y da fundamento a la búsqueda a una opción de manejo sostenible y rentable como lo es el compostaje.
2. Al utilizar burucha en la preparación de la cama, se aumenta la cantidad de biomasa producida por el sistema, pero además hay un cambio en las características químicas de la excreta que se va a utilizar para compostar.
3. Por la cantidad de nutrientes que contiene la excreta de un ovino, se convierte en una enmienda importante para ser utilizada en la fertilización de los suelos de la finca ya que aporta 1535,73 kilos de N, 1136,34 de P, 1821,80 kilos de K al año. Además, por tener un pH alcalino puede ayudar a neutralizar la acidez del suelo.
4. Las medidas asépticas en la preparación de los MM, son de suma importancia, para no incorporar patógenos.
5. Las temperaturas bajas que se presentaron en el proceso de compostaje de las excretas fue influenciada por, el tamaño de las pilas (cantidad de material utilizado), relación C/N y tiempo de exposición de los MM en el sustrato previo al compostaje, afectando directamente el proceso de compostaje, lo que se evidenció por las temperaturas que se presentaron.
6. Las características de cada material que se utiliza en el compostaje tiene una influencia directa en el pH final del compost.
7. Los MM utilizados en el compostaje de las excretas ovinas, pueden tener un efecto insecticida, ya que se observó poca cantidad de insectos sobre las pilas inoculadas con CMM, a diferencia del compost SMM, donde los insectos se presentaron en mayor cantidad.

8. No se observó una diferencia significativa en la composición química, entre un compost con MM y otro sin MM, pero se observaron leves variaciones en los contenidos de cada nutriente en el CMM, siendo menores en el compost donde no se utilizaron los MM.
9. El uso de los MM tiene un efecto positivo en la germinación, ya que estos tienen una función importante como antagonistas de enfermedades y reguladores de crecimiento, al utilizarlos se obtuvieron mejores porcentajes de germinación, mejor crecimiento y calidad.
10. El tratamiento que presentó mayor producción de biomasa fue el CMM, seguido del SMM y del testigo. La disponibilidad de nutrientes, se relaciona directamente al suelo y sus aportes nutricionales a la plantas, por lo que se puede considera que al usar los MM esta condición mejora.
11. Según los resultados obtenidos, se puede considerar el compost de excreta de oveja como una enmienda de rápida acción, ya que posee una residualidad de dos meses, en este periodo fue cuando se observó la acumulación de mayor cantidad de biomasa en las plantas, el cual disminuyo para la planta de sorgo cosechada a los 90 días.

## RECOMENDACIONES

1. Para que el proceso de compostaje se lleve a cabo de forma óptima, se debe realizar controles tales como registro y evaluación de los parámetros físicos: temperatura, humedad, pH, aireación del montículo y relación C/N (como mínimo), así como de los parámetros químicos y microbiológicos que permitan describir el comportamiento del proceso compostaje desde su inicio hasta su culminación, con la finalidad de asegurar el rendimiento y la calidad en el producto final.
2. Se deben realizar análisis continuos y específicos durante la etapa de composta, para determinar la carga de microorganismos presentes en el compost y con ello observar si requieren de alguna modificación en las condiciones ambientales para que se establezcan de forma adecuada.
3. Al aplicar este abono en el suelo es recomendable realizar un análisis químico previo del suelo y conocer las necesidades nutricionales del cultivo para un mejor aprovechamiento de las propiedades de este tipo de fertilizante.
4. El uso de los Microorganismos debe realizarse en las pilas del material a compostar o realizar mayor cantidad de inoculaciones en las camas para tener una carga mayor de microorganismos en el producto final del proceso de compostaje.
5. Se debe procurar mantener condiciones homogéneas de manejo en el sistema durante el estudio, para evitar variabilidad en las mediciones y en los resultados.

## LITERATURA CITADA

- Acosta, Y; Cayama, J; Gómez, E; Reyes, N; Rojas, D. & H. García. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias* 6 (3): 220-227.
- Arrioni, J. 2011. Evaluación del desempeño de diferentes prototipos de compostadores en el tratamiento de residuos orgánicos. Tesis de maestría. Universidad nacional de Comahue, Argentina, 120 p.
- Avendaño, D. 2005. Propuesta de gestión de residuos sólidos orgánicos para el mercado municipal de Heredia. Proyecto de graduación, licenciatura, CR, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, 118 p.
- Benavides, M. 2004. Módulo de abonos orgánicos, San José, Costa Rica, Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), 43 p.
- Betancourt, C; Mello, R; Castellano, L. 2016. Características de la glicerina generada en la producción de biodisel, aplicaciones generales y su uso en el suelo. *Cultivos tropicales*. 37(3):7-14.
- Borrero, G. 2014. Estudio comparativo del uso de 2 sustratos con inoculos microbiales para el tratamiento de residuos orgánicos sólidos en compostaje doméstico. Heredia, Costa Rica. 192 p.
- Carrillo, L. 2000. Los hongos de los alimentos y forrajes (en línea). Argentina, Universidad Nacional de salta. Consultado el 27 de Mar.2014. Disponible en <http://www.unsa.edu.ar/matbib/hongos/05htextopenicilios.pdf>.
- Carvajal, S. 2006. Implementación de un módulo semi-estabulado para la producción de carne ovina en San Ramón de Alajuela. Tesis Lic. San José, Costa Rica. ULACIT. 31 p.
- Carvalho, C. 2000. Muscidae. Familias de insectos de Costa Rica (en línea), San José, CR. Consultada el 17 de mar. 2014. Disponible en <http://www.inbio.ac.cr/papers/insectoscr/Texto538.html>.

- Castillo, C. 2006. Elaboración de compost en Manizales a partir de residuos orgánicos urbanos, Rev. Luna Azul, Manizales. 1-5 p.
- Cordero, R. 2008. Modulo de producción de ovejas. San José, Costa Rica. UNED. 51 p.
- Coyne, M. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Madrid, España. 416 p.
- Cruz, N. 2010. Aprovechamiento y manejo de desechos orgánicos de cocina utilizando microorganismos eficientes de montaña de dos bosques secundarios de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. INA. 75 p.
- De Luna, A; García, M; Rodríguez, E; Corona, J; Aceves, T; Escalante, R & J. Vázquez. 2009. Evaluación de diferentes compostas tipo bocashi elaboradas con estiércol de bovino, cerdo, ovino y conejo. Universidad de Guadalajara. Departamento de Producción Agrícola. México. 25 p.
- Díaz, F. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero (en línea). Irapuato, México. Consultada el 18 de oct. 2014. Disponible en: <http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio4/04-Seleccion-sustratos-prodhortinvernadero.pdf>
- Díaz, J. 2003. Evaluación de enmiendas y microorganismos antagonistas para el manejo de *pseudomonas solanacearum* Smith en cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* L) (en línea). San José, CR. Consultada el 07 de Nov. 2014  
Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/a1951e/a1951e.pdf> .
- Dickson, L. 2005. Manual de producción de caprinos y ovinos., Venezuela. Centro de investigación agrícola del estado de Lara. 220p.
- Duhart, A. 2007. La producción ovina en Argentina (en línea), Argentina. Consultada el 13 de feb. 2013.  
Disponible en  
[http://www.produccionanimal.com.ar/produccion\\_ovina/produccion\\_ovina/31-ovina\\_argentina.pdf](http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina/31-ovina_argentina.pdf).

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2005. Estadística de ovejas y cabras (en línea), CR. Consultada el 13 de Febrero 2013.

Disponible en <http://www.fao.org>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Estadística de ovejas y cabras (en línea), CR. Consultada el 20 de Julio 2015. Disponible en <http://www.fao.org>.

Fernández, O; V. Larrea. 2001. Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. Manejo integrado de plagas. 62 (6):96-100p.

García, J. 2012. Caracterización de los estiércoles en la lombricultura (en línea). USA. Consultada el 18 de oct. 2014. Disponible en:<http://es.scribd.com/doc/86489234/Caracterizacion-de-Los-Estiercoles-en-La-Lombricultura>.

García, F. 2008. Fungus gnat insecto plaga en ornamentales. Instituto Nacional de investigación Forestal, Agrícola, Zacatepec, México .110 p.

González, A; R. Deza. 2000. Factores que condicionan el proceso de compostaje. (en línea).México. Consultada el 10 de oct. 2014. Disponible en:[https://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/eeymar/default\\_archivos/5%20FACTORES%20PROCESO%20\(2\).pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/eeymar/default_archivos/5%20FACTORES%20PROCESO%20(2).pdf)

Higa, TG; Wididana. 1991. The concept and theories of effective microorganisms. (en línea).CR. Consultado el 15 de oct 2014. Disponible en: <http://www.emproducts.co.uk/downloads/EM.pdf>.

Holguin, V; Mora, J. 2009. Dinámica microbiana en vermicompostas comerciales con y sin inoculación del hongo *trichoderma* sp. Revista Luna Azul, 1909 (29):1-7p.

- Ibrahim, M; Franco, M; Pezo, D; Camero, A; Araya, J. 2001. Promoting intake of *Cratylia argenta* as a dry Season Supplement for Cattle grazing *Hyparrhenia Rufa* in the subhumid tropics. *Agroforestry systems* 51(2): 167-175.
- Iglesias, L. 2004. El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. (En línea). Getafe. Consultado el 13 de ene. 2017 Disponible en: [http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1994\\_01.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_01.pdf)
- IMN. (Instituto Meteorológico Nacional). Santa Lucía. S.D. (en línea). CR. Consultado 14 may. 2014. Disponible en: [http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?\\_\\_EVENTTARGET=ClimaCiudad&CIUDAD=9](http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?__EVENTTARGET=ClimaCiudad&CIUDAD=9).
- Infante, D; Martínez, B; González, N, & Y; Reyes. 2008. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista Protección vegetal*. 24 (1): 1-4 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo). 2014. VI Censo Nacional Agropecuario, Importancia y usos. Instituto Nacional de Estadística y Censos. San José, CR. 1-14p.
- Ito, S. 2006. Caracterización y evaluación de los factores que determinan la calidad nutricional e inocuidad en la producción de fertilizantes orgánicos fermentados. Tesis Lic, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 119p.
- Jaramillo, H; Zapata, L. 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Tesis posgrado. Universidad de Antioquía. Colombia. 115 p.
- Jiménez, E; C, Arias. 2007. Manejo de desechos sólidos orgánicos generados en bares y comercios de la ESPOL. *Revista Tecnológica ESPOL* 20(1): 177- 182 p.
- Medina, D. 2005. Manejo de estiércol de ovino mediante dos especies de lombriz, (*Eisenia foetida*) y una nativa. Tesis Lic. Morelia, MEX. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 60 p.



- MEDIPLAN. 2010. Política Nacional de ordenamiento territorial, 1998-2012 (en línea).CR. Disponible en: [www.mediplan.go.cr/pnd-1998-2002/diagnosticos/diagnostico-eco](http://www.mediplan.go.cr/pnd-1998-2002/diagnosticos/diagnostico-eco).
- Meléndez, G; Soto, G. 2003. Abonos orgánicos, Principios y aplicaciones e impacto en la agricultura. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 219 p.
- Miranda, G. 2009. Principios del comportamiento individual de los caprinos (en Línea). ESP. Consultado el 7 de ene. 2015. Disponible en: <http://albeitar.portalveterinaria.com/rumiantes>.
- Montero, D. 2003. “Perspectivas de la producción ovina en Costa Rica”. Atenas.CR, ECAG Informa, (38), 23-25 p.
- Naranjo, E. 2013. Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost. Tesis, Bachiller en Agronomía. Ambato. Ecuador, Universidad Técnica de Ambato. 78 p.
- Ndegwa, P; S, Thompson. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. Revista El Sevier, (76) 107-112.
- Pacheco, F. 2009. Evaluación de la eficacia de la aplicación de inoculos microbiales y de *Eisenia Fétida* en el proceso de compostaje domestico de desechos urbanos., Tesis. Máster en Agro biología ambiental, Navarra. España. Universidad pública de Navarra. 89 p.
- PASE. 2007. Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces (en línea).PERÚ. Consultada el 10 de oct. 2014. Disponible en:[http://www.em-la.com/archivosdeusuario/base\\_datos/manual\\_para\\_elaboracion\\_de\\_compost.pdf](http://www.em-la.com/archivosdeusuario/base_datos/manual_para_elaboracion_de_compost.pdf).
- Pravia, M. 1996. Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la salud. 69 p.

- PROEXANT. 2002. Elaboración, uso y manejo de los abonos orgánicos (en línea). Consultada el 07 de nov. 2014. Disponible en: <http://www.proexant.org.cc/abonosorg.c3alnicos>
- Ramos, S; N, García. 2011. Reproducción de microorganismos de montaña (MM) para el mejoramiento de suelos infértiles (en línea).SALV. Consultada el 20 de oct 2014.  
Disponible en :  
[http://www.a4n.com.sv/uploaded/mod\\_documentos/Microorganismos%20de%20monta\\_\\_a%20para%20recuperar%20suelos%20infertiles.pdf](http://www.a4n.com.sv/uploaded/mod_documentos/Microorganismos%20de%20monta__a%20para%20recuperar%20suelos%20infertiles.pdf)
- Román, P; Martínez, M; Pantoja, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina, Santiago, Chile.112 p.
- Romera, M. 2000. La agricultura ecológica como solución a los problemas planteados por la agricultura convencional (Fertilización orgánica) (en línea). Consultada el 20 de Oct. 2014. Disponible en: <http://www.infoagro.com>.
- Rubio, J. 2014. Efecto del biocarbón de Melina (*Gmelina arbórea* ROXB.) sobre el contenido de nutrimentos de compost y lombricompost a base de pulpa de café y su efecto en plantas de café y sorgo. Tesis, Lic. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional. 67 p.
- Salas, J; H, Quesada. 2006. Impacto ambiental del manejo de desechos sólidos ordinarios en una comunidad rural. Revista Tecnología en marcha 19 (3): 9- 16.
- Salas, E; M, Ramírez. 2001. Bioensayo microbiano para estimar los nutrimentos disponibles en los abonos orgánicos: Calibración en el campo. Revista Agronomía Costarricense 25 (2): 11-23.
- Sandoval, M. 2009. Control biológico de *colletotricum fusarioides* patógeno de semillas de albahaca (*ocimum basilium* L), con *trichoderma rifas* (en línea). Consultada el 03 de nov. 2014. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/856185611769010.pdf>.

- Santamaría, S; R, Ferrara. 2002. Population dynamic of *Eisenia Andrei* (Bouche 1972) Indifferent organic wastes. *Terra* (20): 303-310p.
- Segura, M. 2000. Uso de dos bioensayos para estimar el efecto residual y el valor nutricional de un compost hecho de la fibra de racimos vacíos de palma aceitera (*Elaeisguineensis*, Jacq) (en línea). Consultada el 03 de nov. 2014.  
Disponible en: <http://aitesahn.com/pdf>.
- Soto, G. 2010. Abonos orgánicos definiciones y procesos. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) .51 p.
- Suchini, J. 2012. Innovaciones agroecológicas para la producción agropecuaria sostenible en la región del Trifinio (en línea). Consultada el 20 de oct 2014.  
Disponible en: <http://biblioteca.catie.ac.cr:5151/repositoriomap/bitstream/123456789/79/3/118.pdf>.
- Sztern, D; Pravia, M. 2004. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos (en línea). Consultada el 18 de oct. 2014  
Disponible en: <http://www.ops.org.uy/pdf/compost/pdf>.
- Thassitou, P; Arvanitoyannis, I. 2001, Bioremediation a novel approach to food waste management, trends in food Science and technology. 12 (2001) 185- 196.
- Tobías, C; Vargas, E; Rojas, A; Soto, H. 2001. Uso de las excretas de pollos de engorde (pollinaza) en la alimentación animal. *Agronomía Costarricense* 25(2): 35-43.
- Torres, P. 2014. Principios de estrategias agroecológicas para el combate de enfermedades en hortalizas: Estudio de tres sistemas orgánicos en el cantón de Zarcero, Alajuela, Costa Rica, Práctica dirigida, Universidad Nacional de Costa Rica. 150 p.

- Tortosa, G. 2013. Características agroquímicas de un estiércol de oveja (en línea). Consulta el 8 de dic. 2017. Disponible en: [www.compostandociencia.com](http://www.compostandociencia.com)
- Uribe, F. 2001. Evaluación de los microorganismos eficaces (E.M), en producción de abono orgánico a partir del estiércol de aves de jaula. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Colombia, 10 p.
- Uribe, L. 2003. Calidad microbiológica e inocuidad de abonos orgánicos, *In: Abonos orgánicos principios, aplicaciones e impacto en la agricultura*. San José, Costa Rica. 199 p.
- Valderrama, L; Herrada, JL; Cuervo. 2012. Efecto de biopreparados *Azospirillum* sp, *Azotobacter* sp y *Trichoderma* como estimuladores en la germinación de esquejes de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) (en línea). Consultada el 20 de oct. 2014. Disponible en: <http://perkinsltda.com.co/articulos/05.pdf>.
- Vento, M. 2000. Estudio sobre la preparación del compost estático y su calidad. Tesis Mag.Sc. Cuba, Instituto de los suelos. Universidad de Camaguey. 55 p.
- Woodward, R; Bench, M; Harder, M; Santos, N. 2004. Evaluación del desempeño de diferentes prototipos de compostadores en el Tratamiento de residuos orgánicos, London, 75-93 p.
- Yepez, A; Shintami, M., Tabora, P; Botero, R; Okumoto, S &R, Tylor. 2002. Guía práctica para el uso de EM en la producción animal sostenible. Guácimo, Limón, Costa Rica, EARTH. 88 p.
- Zambrano, J; Díaz, I. 2008. Efecto de la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus* sp, en *Gmelina arborea*, durante su germinación y manejo en viveros (en línea). Consultada el 03 de nov 2014. Disponible en:  
<http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/1420/html>.

ZurbrÜgg, C; Drescher,I;Rytz, A; Sinha,H; Enayetullah, I.2004.Decentralised composting in Bangladesh a win-win situation for all stakeholders. Science Direct, Bangladesh, 285-293 p.

## Anexos

Anexo 1. Materiales utilizados en la preparación de 100 kilos de Microorganismos de Montaña fase solida.

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Función</b>
Mantillo de bosque colonizado	2 sacos grandes	Inoculo principal de microorganismos
Semolina de arroz	45 kilos	Componente proteico de la mezcla y medio de propagación de los MM
Melaza	8 litros	Componente energético de la mezcla
Estañon	1 capacidad de 100 L	Almacenar los MM
Botella plástica	1 de 250 ml	Sello de agua
Pedazo de manguera	50 cm	Salida de gas
Agua	20 L	Disolvente
Regadera	Una de 20 L de capacidad	Aplicar la mezcla de agua y melaza
Pala	Una	Recolectar y mezclar el mantillo y semolina
Escoba	Una	Recoger los materiales

Anexo 2. Materiales utilizados en la activación de 100 Litros de Microorganismos de montaña en fase líquida.

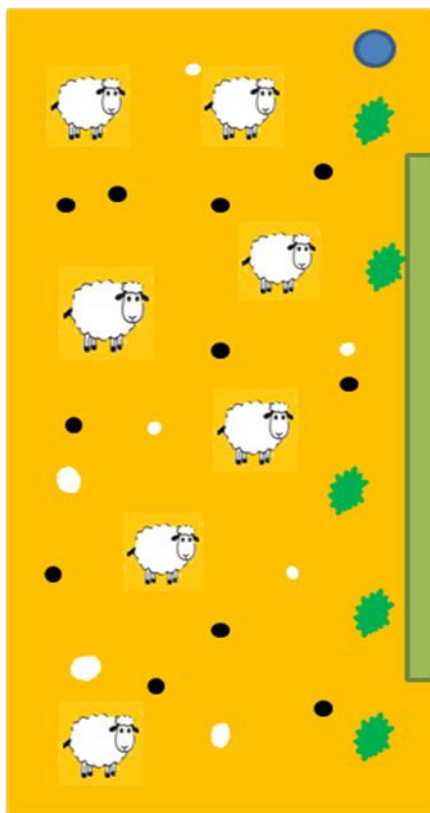
<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Función</b>
MM sólido	10 kilos	Inoculo principal de microorganismos
Melaza	8 litros	Componente energético de la mezcla
Estañon	1 capacidad de 100 L	Almacenar los MM
Botella plástica	1 de 250 ml	Sello de agua °
Pedazo de manguera	50 cm	Salida de gas
Poxilina	Una barra	Evitar la salida de gases generados en el interior del estañon por la fermentación
Uniones de pvc	Un unión tipo "macho" y otra tipo "hembra"	Forma parte del sello de agua.
Agua	100 L	Disolvente
Un saco tipo malla o tela tipo malla	1	Se utiliza para contener los MM en fase solida "Bolsita de té"

**Anexo 3.** Ejemplo de "sello de agua".








**Anexo 5.**

en



**Figura 2.** Representación descriptiva de las camas ubicadas los corrales

	Restos de alimento
	Bebedero
	Excretas
	Comedero
	Pelo



