



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**CARRERA MEDIO AMBIENTE**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
EN MEDIO AMBIENTE**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE UN INOCULANTE MICROBIANO NATIVO, EN  
EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS AGROPECUARIOS  
FIBROSOS**

**AUTORAS:**

**MARÍA AUXILIADORA CONFORME ÁLAVA  
BEATRIZ ROCÍO VERA VERA**

**TUTORA**

**ING. CUMANDÁ PHILCO V., MgSc.**

**CALCETA, JULIO 2015**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

María Auxiliadora Conforme Álava y Beatriz Rocío Vera Vera, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

.....  
**MARIA A. CONFOME ÁLAVA**

.....  
**BEATRIZ R. VERA VERA**

## **CERTIFICACIÓN DE TUTORA**

Cumandá Philco Velasco certifica haber tutorado la tesis **EVALUACIÓN DE UN INOCULANTE MICROBIANO NATIVO, EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS AGROPECUARIOS FIBROSOS**, que ha sido desarrollada por María Auxiliadora Conforme Álava y Beatriz Rocío Vera Vera, requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....  
**ING. CUMANDÁ PHILCO V, Mg.Sc**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaran que han **APROBADO** la tesis **EVALUACIÓN DE UN INOCULANTE MICROBIANO NATIVO, EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS AGROPECUARIOS FIBROSOS**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por María Auxiliadora Conforme Álava y Beatriz Rocío Vera Vera, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....  
Ing. Jorge Cevallos Bravo MgSc.  
**MIEMBRO**

.....  
Ing. Ricardo Delgado Villafuerte MgSc.  
**MIEMBRO**

.....  
Ing. Carlos Villafuerte Vélez MgSc.  
**PRESIDENTE**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por bendecirnos día a día, por darnos el valor para superar cada obstáculo e iluminarnos con su sabiduría para terminar con éxito esta carrera.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día;

A la Ing. Cumandá Philco, tutora del trabajo, por su constante apoyo y dedicación personalizada, en la ejecución de este trabajo de investigación.

Al Ing. Ángel Guzmán (Director del proyecto) por su apoyo incondicional durante el trabajo de investigación.

Al Ing. Diego Zambrano, por sus valiosos aportes, el constante acompañamiento y apoyo incondicional para hacer de este proyecto una realidad.

A la Lic. Cruz Pinargote por su apoyo absoluto y solidaridad en momentos difíciles.

Al equipo de trabajo de los laboratorios de Biología Molecular y Microbiología de la ESPAM M.F.L por su dedicación para el fortalecimiento integral de los métodos y procedimientos empleados en el análisis del compostaje.

A los profesores, por su excelente formación académica y brindarnos información importante para avanzar en el trabajo.

.....  
**MARIA A. CONFOME ÁLAVA**

.....  
**BEATRIZ R. VERA VERA**

## DEDICATORIA

A Dios por la vida, por su infinito amor, bondad y misericordia.

A nuestros padres Ramón Conforme, Celia Álava, Pedro Vera y Maribel Vera, por ser ejemplo de superación, responsabilidad y sacrificio lo cual nos motivó para que nuestro sueño de ser profesional se haga realidad.

A nuestros hermanos por su apoyo incondicional durante el transcurso de la carrera.

A nuestros familiares por su solidaridad y apoyo brindado en momentos de dificultad.

.....  
**MARIA A. CONFOME ÁLAVA**

.....  
**BEATRIZ R. VERA VERA**

## CONTENIDO GENERAL

Derechos de autoría .....	ii
Certificación de tutora .....	iii
Aprobación del tribunal.....	iv
Agradecimiento .....	v
Dedicatoria .....	vi
Contenido general .....	vii
Contenido de cuadros y figuras.....	ix
Resumen.....	x
Abstract .....	xi
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.1. Hipótesis .....	5
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1. Inoculantes microbianos.....	6
2.2. Proceso de compostaje.....	6
2.2.1. Fases del compostaje.....	7
2.2.2. Microorganismos presentes en el compostaje.....	7
2.2.3. Relación carbono - nitrógeno.....	8
2.2.4. Calidad del compostaje .....	8
2.2.5. Importancia de abonos orgánicos.....	9
2.2.6. Propiedades de abonos orgánicos .....	10
2.2.7. Características físico-químicas del compostaje.....	11
2.2.8. Fitotoxicidad del compostaje .....	13
2.2.9. Tipos de abonos orgánicos.....	13
2.2.10. Normalización del compost según la norma chilena .....	17
(nch2880).....	17

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	21
3.1. Ubicación .....	21
3.2. Método .....	21
3.3. Duración del trabajo .....	21
3.4. Variables en estudio.....	21
3.4.1. Variable independiente .....	21
3.5. Técnicas estadísticas .....	22
3.6. Técnicas físicas – químicas .....	22
3.7. Técnicas microbiológicas .....	22
3.8. Técnicas fitotóxicas .....	22
3.9. Material experimental .....	22
3.10. Procedimiento .....	23
3.10.1. Identificación de propiedades químicas del material .....	23
a compostar .....	23
3.10.2. Determinación de la viabilidad de los microorganismos inoculados.....	23
1.3.3 Caracterización de parámetros físico-químicos, microbiológicos y fitotóxicos del compostaje con inóculos microbianos .....	28
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. Identificación propiedades químicas del material a compostar .....	31
4.2. Determinación de la viabilidad de los microorganismos inoculados.....	31
4.3. Caracterización de parámetros físico-químicos, microbiológicos y fitotóxicos del compostaje con inóculos microbianos.....	34
4.3.1. Temperatura .....	34
4.3.2. Humedad .....	35
4.3.3. Potencial de hidrógeno (pH) .....	37
4.3.4. Análisis bromatológico.....	38
4.3.5. Análisis químico.....	40
4.3.6. Análisis microbiológico .....	44
4.3.7. Evaluación de la fitotoxicidad.....	46
Conclusiones.....	48
Recomendaciones.....	50
Bibliografía .....	51
Anexos .....	60

## CONTENIDO DE CUADROS Y GRÁFICOS

### CUADROS

3.1. Composición de cada compostera.....	26
3.2. Niveles (concentración x dosis).....	26
3.3. Tratamientos.....	27
3.3.1. Descripción de los tratamientos.....	27
3.3.2. Análisis de varianza.....	27
4.1. Análisis de la composición química de los materiales a compostar.....	32

### GRÁFICOS

4.1. Seguimiento de los microorganismos inoculados en el proceso de compostaje con diferentes diluciones.....	42
4.2 Cambios de temperatura durante el compostaje de porquinaza y cáscara de maní, mostrados en dos escalas de tiempo .....	44
4.3. Cambios de la humedad durante el compostaje de porquinaza y cáscara de maní, mostrados en dos escalas de tiempo.....	46
4.4. Cambios del pH durante el compostaje de porquinaza y cáscara de maní, mostrados en dos escalas de tiempo.....	47
4.5. Análisis del contenido de fibra en los 4 tratamientos a los 30 y 120 días.....	48
4.6. Análisis del contenido de ceniza en los 4 tratamientos a los 30 y 120 días.....	49
4.7. Dinámica de la materia orgánica en el proceso de compostaje en los cuatro tratamientos.....	51
4.8. Contenido de nitrógeno en los cuatro tratamientos en el proceso de compostaje en los cuatro tratamientos.....	52
4.9. Variación de la relación C/N (rango estadístico) durante el proceso de compostaje en los cuatro tratamientos.....	53
4.10. Variación de la conductividad eléctrica en el proceso de compostaje en los cuatro tratamientos.....	54
4.11. Análisis microbiológico de los cuatro tratamientos a los 120 días en dos diluciones.....	55
4.12. Análisis microbiológico de los cuatro tratamientos los 120 días.....	56
4.13. Índice de germinación de semillas de rábano a los 30, 60, 90,120 días de compostaje.....	57

## RESUMEN

Este trabajo consistió en evaluar un inoculante microbiano en el proceso de compostaje con materiales lignocelulósicos. Se utilizó un sustrato en relación C/N 30:1 con porquinaza más cáscara de maní, empleándose tres tratamientos del inóculo microbiano de *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus sp.*, en un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: A<sub>1</sub>: 200ml/m<sup>3</sup>, A<sub>2</sub>: 300ml/m<sup>3</sup>, A<sub>3</sub>: 400ml/m<sup>3</sup> y A<sub>4</sub> sin aplicación de inóculo, se realizó análisis de varianza y la prueba de Duncan al 5%. Durante el proceso de compostaje se evaluaron propiedades físico-químicas, microbiológicas y fitotóxicas. Los análisis microbiológicos muestran que se encontró presencia de microorganismos patógenos al inicio de proceso; sin embargo, estos microbios fueron disminuyendo notoriamente hasta el final del experimento. Se evaluó el índice de germinación en semillas de rábano como un indicador de madurez donde se obtuvieron resultados superior al 50 %, lo que indica reducción de compuestos fitotóxicos; los análisis bromatológicos muestran reducción de fibra en un rango del 2 al 4%, el contenido de ceniza fue aumentando (tratamiento A<sub>2</sub> más alto con 2%), debido a la mineralización del compostaje. Se observó una reducción en la relación C/N respecto a la mezcla inicial producto de una biodegradación en todos los tratamientos.

**Palabras claves:** Biodegradación, *Trichoderma*, fitotóxicidad, materiales lignocelulósicos, mineralización.

## ABSTRACT

This research aimed to evaluate a microbial inoculum in the composting process with lingo celluloses materials. A substrate in C/N ratio 30:1 was used with pig manure adding peanut shell, using three treatments of the microbial inoculum of *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma harzianum* and *Bacillus sp.*, in a completely random design (CRD) with three replications. The treatments were: A<sub>1</sub>: 200ml/m<sup>3</sup>, A<sub>2</sub>: 300ml/m<sup>3</sup>, A<sub>3</sub>: 400ml/m<sup>3</sup> and A<sub>4</sub> without inoculum, the analysis of variance and Duncan test at 5% was also performed as well. During the composting process, the physical-chemical, microbiological and phytotoxic properties were evaluated. Microbiological analyses show that the presence of pathogenic microorganisms at the beginning of the process; however, these microbes levels decrease until the end of the experiment. The germination index used radish seed as an indicator of maturity showing higher than 50% obtaining a reduction of phytotoxic compounds; bromatological analyses show fiber in a range from 2 to 4%, the ash content was increased (A<sub>2</sub> treatment with 2% higher) due to the mineralization of composting. A reduction was observed in the carbon/nitrogen ratio to the initial mixture due to biodegradation in all treatments.

**Keywords:** Biodegradation, *Trichoderma*, phytotoxicity, lignocellulosic materials, mineralization.

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial, el modo de realizar la agricultura actual conlleva a que existan residuos orgánicos sin utilizar, degradando con su presencia el medio ambiente especialmente el recurso suelo, que ya ha sido afectado por la extracción biológica de elementos químicos importantes ya que no existe el retorno de las sustancias minerales extraídas por los productos agrícolas cultivados (APROLAB, 2007). Esto, se debe a que hay amontonamiento de restos de cosecha en el campo, de los cuales el 4,5% son dejados para que se descompongan de manera natural. El 80% son quemados con el propósito de liberar nutrientes utilizables en el siguiente ciclo productivo provocando contaminación atmosférica al liberar dioxinas (CCA, 2014) monóxido y dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno y otros óxidos. Un 15% sirve como alimento de animales y apenas el 0,5% para la producción de papel (Ruilova y Hernández, 2014).

En otros casos, para fertilización del suelo, se usa los residuos de cosechas en forma de abono orgánico acompañado de estiércoles de animales (bovinaza, porquinaza, gallinaza, etc.) como “vertido incontrolado” produciendo malos olores y al ser el núcleo de vectores de enfermedades (bacterias, virus, helmintos, amebas), inciden en la calidad de vida del ser humano y afectan el buen vivir (Olalde y Aguilera, 1998). El riesgo ambiental incontrolado producto de esta práctica normalmente se subestima y en otras partes del mundo se han encontrado bacterias coliformes y estreptococos fecales en todos los residuos de porcinos con concentraciones bacterianas de más de un millón por 100 ml (Pacheco *et al.*, 2002).

En la provincia de Manabí, el impacto ambiental se incrementa ya que la porquinaza durante la crianza del cerdo, entra en contacto con la cascarilla de

arroz, que según Basaure (2008) es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición (difícil degradación) ya que entre sus componentes químicos está el sílice, es decir son compuestos recalcitrantes que no responden a la catabolización de los microorganismos, fácilmente.

Barrena (2006) indica que una estrategia para evitar el amontonamiento de los residuos sólidos orgánicos presentes en la vida diaria, es el compostaje proceso que consisten en la transformación de éstos, en otras sustancias aprovechables y que aporten al suelo nutrientes (abonos de alta calidad) útiles para la agricultura en todas sus formas, utilizando biopreparados microbianos adecuados.

Los microorganismos eficientes (inoculante) además de promover rápidamente la degradación de los compuestos orgánicos provocan la biorremediación al restablecer el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas, produciendo metabolitos, incrementando la producción de los cultivos y su protección que da lugar a una agricultura sostenible (PASE, 2007). Finalmente, actúan como biocontrol en la aplicación de pesticidas y de manera general, en la purificación de aguas interviniendo en la remoción de contaminantes.

*Trichoderma sp.* y *Bacillus sp.* se han considerado como especies ideales para inóculos microbianos que degraden sustancias lignocelulósicas según Melek (2001) ya que producen enzimas adecuadas para hidrolizar compuestos fibrosos, constituyentes principales de muchos residuos agropecuarios. Estos microbios se han aislado del suelo y se encuentran en conservación en el banco de cepas del Laboratorio de Biología Molecular de la ESPAM MFL. No aprovechar las oportunidades biotecnológicas desarrolladas en esta unidad académica, impediría en breve tiempo contar con un protocolo de biorremediación tendiente a minimizar estos residuos y al mismo tiempo aportar con materia orgánica estabilizada, para enriquecer el suelo agrícola.

La Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL) tiene actividades docentes y de investigación que producen residuos y desechos cuyo amontonamiento provoca impactos visuales, de olores y aumento de vectores ya descritos. Entre estos, la porquinaza (heces de cerdo + cascarilla de arroz) que de acuerdo a estimaciones realizadas hasta la fecha se produce aproximadamente 934,87 toneladas en el lapso de 365 días, en el hato porcino de la ESPAM MFL.

Lo expuesto permite formular la siguiente interrogante:

¿El inóculo microbiano nativo de *Trichoderma sp.* y *Bacillus sp.*, acelerará el proceso de compostaje proveniente de un sustrato de porquinaza con cáscara de maní?

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La inadecuada utilización o disposición final de los residuos y desechos agropecuarios hacen que estos sean un problema ambiental, social, económico y político a resolver. La aplicación de procesos adecuados de gestión ambiental en donde se aprovechen los adelantos tecnológicos de biorremediación son alternativas con las que se cuenta hoy en día. Algunos son fáciles de seguir o aplicar gracias a los conocimientos que han logrado procesar disciplinas como la microbiología.

Este panorama refuerza el interés por cambio de conducta en el manejo del sistema productivo total, en donde incluya la aplicación de enmiendas agrícolas con la finalidad de recuperar, reutilizar y/o transformar los residuos en insumos útiles (Pacheco *et al.*, 2002 ) como la composta que sirve para mejorar la fertilidad del suelo, pues resulta que la materia orgánica y particularmente el humus, es el sostén básico para la vida en este medio y puede definir su potencial productivo (Paneque y Calaña, 2004 citado por Sánchez *et al.*, 2011). También la composta

puede depurar suelos contaminados por xenobióticos, aguas nitrogenadas o fosfatadas presentes en la producción actual.

La adición de microorganismos ya estudiados como beneficiosos en el reactor biológico, dentro del proceso conocido como compostaje, en donde los sustratos orgánicos son oxidados a compuestos estables como el humus; tiene ventajas no consideradas anteriormente como estas: en lo ambiental- ecológico la aplicación de microbios adecuados, potencia la transformación en composta en menor tiempo, minimiza el efecto de la aplicación de materiales no adecuados como enmiendas a los suelos agrícolas, combate la contaminación por agroquímicos o lodos (Silva, J. s/f). Además de proveer de materia orgánica al suelo, que pierde naturalmente gracias al clima en sitios cálidos, o por la explotación agrícola sin reposición (AMPRECHT *et al.*, 1990).

En lo social, al acelerar y mejorar los procesos de compostaje de los residuos agropecuarios, se genera empleo logrando equidad dentro de los grupos humanos. En lo económico, al lograr una rápida biotransformación y realización de abonos provoca generación de empleo. Los abonos orgánicos son de mejor calidad y el costo es bajo, con relación a los fertilizantes químicos que se consiguen en el mercado (Mosquera, 2010).

La porquinaza (heces de cerdo + cascarilla de arroz) contienen nutrientes que los cultivos pueden utilizar, pero también poseen microorganismos patógenos que afectan la sanidad animal y pública por ello, para utilizarlas como fertilizantes, es necesario darles un tratamiento que elimine estos agentes infecciosos. El metabolismo del *Trichoderma* y *Bacillus* produce competencia intra e interespecífica eliminando gérmenes patógenos (Monte y Llobelf, 2003).

La aplicación de microorganismos promueve la elaboración normada de los abonos orgánicos, creando seguridad en su uso y fomentando la producción limpia no solamente en las enmiendas sino en la producción agropecuaria. De esta forma se

incorpora a los agricultores y empresarios a comerciar productos más seguros y saludables para la población al librar a los productos compostados de la transmisión de bacterias, amebas helmintos y parásitos, gracias a que en este compostaje la temperatura alcanzada y los metabolitos producidos sanitizan el producto.

Este trabajo consiste en la aplicación de inóculo a los materiales residuales provenientes de las actividades agroindustriales que se generan en la ESPAM MFL, con el propósito de acelerar el proceso de compostaje que puede ser utilizado de diversas formas para la biorremediación ambiental.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar un inoculante microbiano nativo a partir de un proceso de compostaje, utilizando residuos agropecuarios fibrosos de la ESPAM MFL.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar propiedades químicas del material a compostar.
- Determinar la viabilidad de los microorganismos inoculados.
- Caracterizar parámetros físico-químicos, microbiológicos y fitotóxicos del compostaje con inóculos microbianos.

## **1.1. HIPÓTESIS**

Los inoculantes microbianos nativos de *Trichoderma sp.* y *Bacillus sp.*, aceleran el proceso de compostaje de porquinaza + cáscara de maní.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. INOCULANTES MICROBIANOS**

Un inóculo microbiano es una preparación que se la realiza en medio de soporte sólido o líquido compuesto por microorganismos (bacterias y hongos) que pueden ser inoculados en un biorreactor (Hernández, 2003). El mismo autor menciona que para la preparación de un inóculo se puede utilizar uno o más microorganismos dependiendo del tipo de sustrato o ambiente.

Pacheco (2009) expresa que la aplicación de inóculos puede ser útil en los procesos de compostaje siempre que la capacidad de los microorganismos sea la adecuada a las características de los residuos que se vayan a tratar. La importancia de los inóculos microbianos se basa en la capacidad de acelerar degradación de la materia orgánica.

Carriello *et al.* (2007) mencionan que una forma de agilizar el proceso de compostaje consiste en adicionar inóculos antes mencionados que aceleran la descomposición de la materia orgánica reduciendo el tiempo de biodegradación. El inóculo seleccionado depende del material compostado.

### **2.2. PROCESO DE COMPOSTAJE**

Álvarez (2003) define que el proceso de compostaje es una degradación biológica de la materia orgánica. La descomposición de este proceso se da bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termofílicas que se dan por la acción microbiana sanitizando el compostaje, obteniendo un producto final libre de patógenos y estable. Durante este transcurso se suceden una serie de etapas caracterizadas por la actividad de distintos organismos, existiendo

variación de temperatura, el pH y la humedad que es tomada como un factor de optimización.

### **2.2.1. FASES DEL COMPOSTAJE**

En el proceso de compostaje se distinguen cuatro fases según los cambios de temperatura que ocurren durante el proceso: una fase de adaptación de los microorganismos en la pila con temperaturas mesofílicas (20° a 45 °C) seguida de la fase termofílica (45° a 70°C) luego sucede una fase de enfriamiento y finalmente la fase de maduración, en estas dos últimas etapas las temperaturas descienden al rango mesofílico (Pino et al., 2014).

### **2.2.2. MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL COMPOSTAJE**

Laich (2012) menciona que las bacterias, Actinomycetes y hongos filamentosos son microorganismos mesófilos y termófilos que conforman las poblaciones mixtas que degradan la materia orgánica. Los microorganismos que se encuentran en mayor cantidad durante el proceso de compostaje son las bacterias (80-90%). Estos microorganismo contienen gran diversidad metabólica que utilizan un amplio rango de enzimas que degradan químicamente compuestos orgánicos.

Siguiendo con el mismo autor define que la intervención de los actinomycetes en el transcurso de la degradación de los materiales compostados es relevante, debido a la capacidad enzimática que poseen para degradar compuestos orgánicos complejos como por ejemplo: Celulosa, lignina entre otros. Además varias especies de microorganismos que participan durante el proceso de compostaje, toleran temperaturas termofílicas (> 50°C), por tal razón, Laich (2012) recomienda que es importante conocer la evolución de los microorganismos presentes en compostaje.

El mismo autor indica que se han estudiados diferentes géneros de hongos filamentosos durante el proceso de compostaje, por tal motivo se los considera un grupo muy amplio que participan en la degradación de la materia orgánica por su alta capacidad lignocelulolítica.

### **2.2.3. RELACIÓN CARBONO - NITRÓGENO**

Para obtener una mezcla adecuada es necesario que la relación C/N se encuentre en el rango óptimo establecida por diversos autores (25:1 - 30:1). La relación C/N es importante debido a que estos elementos (C/N) son utilizados por los microorganismos para su desarrollo, y una mejor degradación de los materiales a compostar. La mayoría de microorganismos emplean 30 partes en peso de carbón por una de nitrógeno por, lo que la relación 30 a 1 es lo ideal para un buen composteo (Morín, 2012).

### **2.2.4. CALIDAD DEL COMPOSTAJE**

Soliva y López (2004) expresan que la calidad el producto final se la determina por distintas propiedades y características que debe de tener un compost estable y maduro, por ejemplo:

Un compost de calidad no debe poseer:

- a) Mal olor
- b) Presencia de partículas extrañas
- c) Presencia de microorganismos patógenos
- d) Semillas de malas hierbas

Un compost de calidad debe poseer:

- a) Estabilidad de la materia orgánica
- b) Mineralización de nutrientes vegetales
- c) Reducción de relación C/N

### **2.2.5. IMPORTANCIA DE ABONOS ORGÁNICOS**

Los abonos orgánicos son de gran importancia en la agricultura ya que al ser aplicados al suelo aumentan los nutrientes, mejoran las condiciones físicas, incrementan absorción del agua manteniendo humedad en el suelo. Además los abonos orgánicos al ser aplicados en un cultivo facilitan la asimilación de nutrientes en la planta obteniendo un óptimo desarrollo del mismo (Mosquera, 2010).

Diversos problemas en la agricultura han sido ocasionados por el uso indiscriminado de fertilizantes químicos, así mismo la contaminación del medio ambiente, aumento de costos en la producción y salinización de los suelos. Algunos agricultores desconocen la eficacia de los abonos orgánicos y sus beneficios, por tal motivo se han vuelto dependientes de productos químicos (Gómez *et al.*, 2011).

#### **1.3.2.1 LA IMPORTANCIA DEL COMPOST**

El compost (producto final de la descomposición de materiales compostado), al momento de ser aplicados en cultivos, plantas jardines entre otros., provee nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de los mismo. Es importante resaltar que este producto no tiene efectos negativos para los seres humanos, animales ni el medio ambiente, por ende la preparación del compost es una buena alternativa para aprovechar desechos orgánicos, convirtiéndolo en fertilizantes que mejora la estructura del suelo, evitando la erosión superficial y de nutrientes (Brechelt, 2008).

## **2.2.6. PROPIEDADES DE ABONOS ORGÁNICOS**

### **2.2.6.1. PROPIEDADES FÍSICAS**

Para Díaz *et al.* (2008) unas de las propiedades físicas más importantes del abono es el color (oscuro) porque absorbe más las radiaciones solares y al momento de ser aplicada un cultivo, la planta asimila mayor cantidad de nutrientes.

- Mejoran la permeabilidad del suelo, influyendo en el drenaje y aireación de éste.
- Disminuyen la erosión del suelo, tanto de agua como de viento.
- Aumentan la capacidad del suelo en cuanto a la retención de agua.
- El abono orgánico mejora la estructura y textura del suelo.

### **2.2.6.2. PROPIEDADES QUÍMICAS**

Mosquera (2010) menciona que al aplicar abonos orgánicos al suelo aumenta el poder de absorción y reducen las variaciones de pH de éste. Una buena propiedad química de un compost permite mejorar la capacidad de intercambio catiónico del suelo, por lo consiguiente aumenta la fertilidad del mismo.

### **2.2.6.3. PROPIEDADES BIOLÓGICAS**

Emplear abonos orgánicos en el suelo favorece la aireación y oxigenación del mismo, obteniendo mayor actividad de los microorganismos aerobios para el proceso continuo de descomposición. Se producen sustancias activadoras de crecimiento, por lo que se incrementa considerablemente el desarrollo de microorganismos benéficos. Estas sustancias favorecen la degradación de la materia orgánica del compostaje así mismo al desarrollo del cultivo (Mosquera, 2010).

## **2.2.7. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL COMPOSTAJE**

### **2.2.7.1. HUMEDAD**

La humedad es un factor de optimización durante el proceso de compostaje. Mantener una buena humedad condiciona la velocidad y la calidad del compost, por ejemplo: Si se tiene una baja de humedad impide el desarrollo microbiano, a la vez ocasionando que el proceso se detenga. Un exceso de la misma hace que se produzcan malos olores, y transformaciones lentas (proceso anaerobio). Por tal motivo se recomienda que la humedad de la pila se mantenga en el intervalo de 40% a 60%, en condiciones de buena humectabilidad y aireación la proliferación microbiana es más favorable (Mullo, 2012).

### **2.2.7.2. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)**

Soliva y López (2004) mencionan que estos parámetros son de gran importancia durante el proceso debido a que sufren variaciones. pH's ácidos indican condiciones anaerobias y pH muy altos están relacionados con el contenido de nitrógeno amoniacal y carbonatos solubles. Sin embargo la CE tiende a elevarse durante el proceso de compostaje, pero valores excesivamente elevados pueden relacionarse con un mal control del proceso con materiales contaminados o con riegos excesivos con lixiviados o con aguas salinas.

### **2.2.7.3. TEMPERATURA**

La temperatura es un parámetro que indica el desarrollo del proceso, debido a que los microorganismos se desarrollan en temperaturas óptimas para realizar su actividad descomponiendo la materia orgánica para obtener materia y energía, emitiendo calor que puede hacer variar la temperatura de la pila con residuos. Durante el proceso de compostaje se observan tres fases: fase mesófila inicial

( $T < 45^{\circ}\text{C}$ ), donde se producen ácidos orgánicos por la acción microbiana; fase termófila ( $T > 55^{\circ}\text{C}$ ) donde se considera que se debe de alcanzar la sanitización del compostaje (destrucción de microorganismos patógenos); y fase mesófila final, considerándose finalizado el proceso cuando se llega a la temperatura inicial (Márquez *et al.*, 2008).

#### **2.2.7.4. NITRÓGENO ORGÁNICO**

El nitrógeno orgánico presente en los residuos agrícolas es biodegradable sin embargo no son aprovechados correctamente. Una de las formas de utilizar los materiales agrícolas desechados es mediante el proceso de descomposición en abonos orgánicos, el resultado de este compuesto puede ser aplicados como fuente de fertilización para las plantas y suelos mejorando sus propiedades físicas-químicas y microbiológicas (Barrera *et al.*, 2012).

#### **2.2.7.5. CARBONO ORGÁNICO**

El carbono orgánico gran parte se engloba en compuestos no biodegradables que impiden su disponibilidad en la agricultura por tal razón, que para realizar la descomposición de materiales orgánicos es necesario realizar una relación óptima de C/N para una correcta descomposición de los residuos agrícolas no aprovechados (Iñamagua, 2010).

#### **2.2.7.6. RELACIÓN C/N**

Es necesario obtener una relación C/N adecuada al inicio del proceso de compostaje para favorecer el crecimiento y reproducción de los microorganismos. Este factor se expresa en unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene el material a compostar, los microorganismo necesitan carbono como fuente de energía y el nitrógeno como un elemento necesario para la síntesis

proteica. Se considera como optima una relación C/N entre 20:1 – 30:1 unidades de carbono por una de nitrógeno (Gordillo, 2010).

### **2.2.8. FITOTOXICIDAD DEL COMPOSTAJE**

Un compost maduro puede ser utilizado como mejorador de suelos, o como fertilizante orgánico. Sin embargo al utilizar un producto inmaduro se pueden provocar efectos negativos en el desarrollo de las plantas por la presencia de metabolitos fitotóxicos, que retrasan el desarrollo de las mismas (Zucconi *et al.* 1985, citado por Fuentes *et al.*, 2004).

Varnero *et al.* (2007) manifiestan, que el porcentaje (%) de fitotóxicidad de un compostaje orgánico están relacionados al contenido de: amonio, ácidos volátiles orgánicos, metales pesados y sales.

### **2.2.9. TIPOS DE ABONOS ORGÁNICOS**

#### **2.2.9.1. ESTIÉRCOL**

Huerto (2012) indica, que un estiércol está formado por las heces de animales, que presentan diferentes contenido de nutrientes dependiendo del origen (equinaza, pollinaza, porquinaza, entre otros.) que aporta nutrientes, para el desarrollo de microorganismos que favorecen la fertilidad de la tierra.

#### **2.2.9.2. GALLINAZA**

Serrato (2012) define que la gallinaza es un estiércol cuyo principal componente son las heces de gallinas que se crían para la producción de huevo. Sin embargo se diferencia de la pollinaza que se compone del estiércol de los pollos que se crían para consumo de su carne.

### **2.2.9.3. TURBA**

La turba contiene nutrientes que dependen de la naturaleza y grado de descomposición de los residuos orgánicos. Constituyen la acumulación de materia orgánica que se produce en suelos húmedos. El contenido de humedad en la turba limita la actividad microbiana lo que produce el incremento de la materia orgánica (Paneque y Calaña, 2001).

### **2.2.9.4. ABONO VERDE**

La finalidad de los abonos verdes consiste en implantar cultivos que incorpore su biomasa al suelo en el que se ha desarrollado, las especies mas utilizadas son las leguminososas (alfalfa, trébol, mani forrajero) por la capacidad de fijar el nitrógeno (Huerto, 2012). Esta técnica incrementa la diversidad biológica y mejora la sustentabilidad de los sistemas, estimulando la actividad microbiana del suelo por el aporte de materia orgánica fresca y de sustancias exudadas por raíces, lo que mejora la estructura del suelo al formarse raicillas y formas microbianas filamentosas, así como por excreciones bacterianas entre otros beneficios (Ferrandiz *et al.*, 2010).

### **2.2.9.5. HUMUS DE LOMBRIZ**

Aycachi *et al.* (2007) definen al humus como el producto final de la descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos. Los mismos autores mencionan que de la totalidad de los ácidos húmicos el 50% son proporcionados por el proceso digestivo de las lombrices y el otro 50% es producto de la acción microbiana que se da durante el proceso de reposo o maduración.

#### **2.2.9.6. VERMICOMPOST**

El vermicompostaje es un proceso de transformación de la materia orgánica por la acción descomponedora de las lombrices, que mediante la digestión convierten los residuos en humus de lombriz o vermicompostaje. El producto final es utilizado como abono para las plantas. La lombriz roja Californiana o *Eisenia foetida*, es la protagonista del proceso por poseer mayor rendimiento en la producción de humus (Santos, 2013).

#### **2.2.9.7. EL BOCASHI**

El bocashi, se obtiene por la fermentación de materiales procedentes de actividades agrícolas tales como: cascarilla de café, restos de cosechas entre otros. Esta actividad es de gran utilidad para los agricultores que quieren aprovechar los recursos generados en los sistemas de producción, con bajos costos de inversión y al mismo tiempo recuperar la fertilidad de los suelos. (FAO, 2011).

#### **2.2.9.8. ABONOS LÍQUIDOS**

Los abonos líquidos también llamados biofermentados, son el producto de fermentación de materiales orgánicos (estiércol, leche, suero frutas, plantas, malezas etc). En donde los microorganismos mineralizan los materiales y dan como resultado un fertilizante que además de nutrir a las plantas, ayudan a restaurar la vida del suelo. Los abonos orgánicos líquidos pueden ser utilizados para el control fitosanitario en cultivos, debido a que los microorganismos presenten en los fermentos compitan con los agentes causantes de algunas enfermedades, colaborando de esta forma en la prevención y combate de enfermedades de plantas (IPADE, 2009).

### **2.2.9.9. PURÍN DE HIERBAS**

Gélvez (2014) menciona, que los purines de hierbas son líquidos que se obtienen al mezclar extractos de ciertas plantas con propiedades aleopáticas, las cuales tienen la capacidad de prevenir la aparición de plagas y enfermedades. Siguiendo el mismo autor los purines son utilizados en la agricultura orgánica por la necesidad de disminuir el uso de agroquímicos y preservar el ambiente.

### **2.2.9.10. PORQUINAZA**

Para Sánchez (2011), la porquinaza está compuesto por estiércol y la orina del ganado porcino, a la que se suma el material empleado como cama en la crianza de los cerdos y el agua que se pierde de los bebederos. Este compuesto aporta elementos como nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos menores; su pH es casi neutro, idóneo para mejorar la calidad de los suelos ácidos, contribuyendo a la fertilidad el mismo.

### **2.2.9.11. BOVINAZA**

Stency (2011) describe que la bovinaza son las heces de los bovinos en estado sólido, líquido o pastoso, ya sean puras o mezcladas con la cama de aserrín, viruta o cascarilla de arroz o con materiales higienizantes (cal agrícola y otros), estabilizadas y manejadas de manera ambientalmente.

### **2.2.9.12. CASCARILLA DE ARROZ**

Basaure (2008) indica que la cascarilla de arroz es un sustrato orgánico de difícil degradación, ya que su principal característica es que posee un alto contenido de hemicelulosa, celulosa, lignina y sílice, convirtiéndolo en un residuo con baja tasa de descomposición. Vásquez *et al.* (2011) menciona que la cascarilla de arroz al

ser una fuente rica en sílice, le otorga a los vegetales mayor resistencia al ataque de plagas insecticidas y enfermedades.

#### **2.2.10. NORMALIZACIÓN DEL COMPOST SEGÚN LA NORMA CHILENA (NCH2880)**

El Ecuador no cuenta con una norma que establezca requisitos para clasificar o categorizar un compostaje, por tal razón se ha considerado la normativa Chilena en esta investigación.

Esta norma tiene como objetivo establecer la clasificación y requisitos de calidad del compost producido a partir de residuos orgánicos y de otros materiales orgánicos generados por la actividad humana, tales como los agroindustriales, agrícolas, animales, pesqueros, de mercados y ferias libres en las que se comercializan vegetales, residuos domiciliarios verdes, entre otros.

##### **2.2.10.1. CLASIFICACIÓN**

De acuerdo a su nivel de calidad el compost se clasifica en las clases siguientes:

- a) **Compost Clase A:** producto de alto nivel de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase A. Este producto no presenta restricciones de uso, debido a que ha sido sometido a un proceso de humificación. Puede ser aplicado a macetas directamente y sin necesidad que sea previamente mezclado con otros materiales.
  
- b) **Compost Clase B:** producto de nivel intermedio de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase B. Este producto presenta algunas restricciones de uso. Para ser aplicado a macetas requiere ser mezclado con otros elementos adecuados.

- c) **Compost inmaduro o subestándar:** materia orgánica que ha pasado por las etapas mesofílica y termofílica del proceso de compostaje, donde ha sufrido una descomposición inicial, pero no ha alcanzado las etapas de enfriamiento y maduración necesarias para obtener un compost clase A o clase . Es un producto que se debe mezclar para ser aplicado para no producir hambre de nitrógeno.

## **2.2.10.2. REQUISITOS DEL PRODUCTO COMPOSTADO**

### **2.2.10.2.1. MATERIA PRIMA**

Las materias primas para el compostaje deben provenir de residuos vegetales y animales que aporten materia orgánica no contaminada para ser procesada.

### **2.2.10.2.2. HUMEDAD**

Todo tipo de compost producido y comercializado en el país (clase A, B o C) debe presentar un contenido de humedad no menor al 30% en peso.

### **2.2.10.2.3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)**

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de conductividad eléctrica siguientes:

- a) Para el compost Clase A, la conductividad eléctrica debe ser menor o igual a 5 mmho/cm.
- b) Para el compost Clase B, la conductividad eléctrica debe ser entre 5 mmho/cm y 12 mmho/cm.
- c) Este requisito no se aplica para los compost inmaduros o subestandar.

#### **2.2.10.2.4. RELACIÓN CARBONO/ NITRÓGENO (C/N)**

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de relación (C/N) siguientes:

- a) Para el compost Clase A, la relación (C/N) debe ser entre 10 y 25
- b) Para el compost Clase A, la relación (C/N) debe ser entre 10 y 40
- c) Para compost inmaduro o subestandar la relación (C/N) debe ser como máximo 50

#### **2.2.10.2.5. POTENCIAL DE HIDÓGENO (pH)**

- a) El pH normal del compost debe estar comprendido entre 5,0 y 7,5
- b) Si el pH está entre 7,5 y 8,5, la relación de adsorción de sodio debe ser menor a 7.
- c) Un compost se considera inmaduro si después de una incubación de 24 h en condiciones anaerobias, a una temperatura de 55°C, el pH del producto es mayor a 6.
- d) Si el pH es mayor a 7,5 se debe informar en el rotulo el contenido de  $\text{CaCO}_3$

#### **2.2.10.2.6. MATERIA ORGÁNICA**

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de materia orgánica siguientes:

- a) Para el compost Clase A, el contenido de materia orgánica debe ser mayor o igual a 45%
- b) Para el compost Clase B, el contenido de materia orgánica debe ser mayor o igual a 25%
- c) Este requisito no se aplica para los compost inmaduros o subestandar.

**2.2.10.2.7. FITOTOXICIDAD**

Para todas las clases de compost debe prosperar al menos el 90% de las semillas sembradas en el compost respecto al cultivo de referencia.

## **CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO**

Esta propuesta se enmarcó en la normativa institucional (ESPAM, 2012).

### **3.1. UBICACIÓN**

El estudio se desarrolló en el Campus Politécnico de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López “ESPAM-M.F.L” en las áreas de: microbiología, bromatología y química ambiental.

### **3.2. MÉTODO**

El método utilizado es el cualitativo-cuantitativo

### **3.3. DURACIÓN DEL TRABAJO**

Esta investigación tuvo una duración de 9 meses, desde noviembre 2014 hasta agosto 2015.

### **3.4. VARIABLES EN ESTUDIO**

#### **3.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Dosis de Inóculo microbiano

#### **VARIABLES DEPENDIENTES**

Físico-químicas

Bromatológicas

Microbiológicas

Fitotóxicas del compostaje

### **3.5. TÉCNICAS ESTADÍSTICAS**

Para el análisis de la información se utilizó el software InfoStat (Belzarini, 2001) en el que se analizó técnicas estadísticas como:

- Prueba de Duncan
- ANOVA

### **3.6. TÉCNICAS FÍSICAS – QUÍMICAS**

- Gravimetría
- Termometría
- Potencial de hidrogeno
- Método KJELDAHL (1883)
- Método VOLUMÉTRICO
- Método de JACKSON (1982)

### **3.7. TÉCNICAS MICROBIOLÓGICAS**

- NTE INEN 1529-8
- NTE INEN 1529-10

### **3.8. TÉCNICAS FITOTÓXICAS**

- Extracción de compuestos Fitotóxicos

### **3.9. MATERIAL EXPERIMENTAL**

El material experimental está compuesto por una mezcla de porquinaza + cáscara de maní en condiciones adecuadas para dar la relación de C/N ideal para la elaboración de compost. La porquinaza está compuesta por estiércol de ganado

porcino + cascarilla de arroz que permite la crianza de los cerdos en la ESPAM MFL.

### **3.10. PROCEDIMIENTO**

El procedimiento se desarrolló en base a los objetivos específicos:

#### **3.10.1. IDENTIFICACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS DEL MATERIAL A COMPOSTAR**

Se enviaron muestras de varios materiales orgánicos que son productos de las actividades agropecuarias de la ESPAM MFL, entre ellos la porquinaza (heces de porcino + cascarilla de arroz) al Laboratorio de Química Ambiental de este centro de educación superior. Para la determinación de nitrógeno total se empleó el método Kjeldahl (1883). El contenido de materia orgánica se estableció por el método volumétrico, y la relación C/N se realizó mediante el método de Jackson (1982).

#### **3.10.2. DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LOS MICROORGANISMOS INOCULADOS**

##### **3.10.2.1. PREPARACIÓN DE INÓCULOS PARA BACTERIAS**

La bacteria que se empleó fue *bacillus sp.* (AO-19) la cual corresponde al banco de cepas que dispone la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí; para su activación se procedió a realizar resiembras en medio de cultivo agar nutriente (Difco <sup>TM</sup>). Luego se incubó por 24 horas a 37°C y finalmente se verificó su viabilidad y que estuvieran puras (Santambrosio *et al.*, 2009).

Para la multiplicación de la cepa AO-19 se preparó el medio de cultivo líquido optimizado, dicho medio estaba compuesto por 16,32 ml de melaza y 2,09 ml de levadura autolizada, el pH se ajustó a 7 (Guzmán, 2010). La masa microbiana que se desarrolló en el medio de cultivo agar nutritivo se removi6 por inundación con 2ml del medio líquido optimizado (Laurencio silva 2012) este medio una vez inoculado se incubó por 24 horas a 37°C (Riobo *et al.*, 2007).

Se realizaron diluciones seriadas hasta obtener un nivel de concentración establecido como 6ptimo (G6mez, 2008).

Realizadas las pruebas de viabilidad a los in6culos se procedi6 a ejecutar el recuento de microorganismos en cajas Petri, para esto se escogieron las placas que mostraron entre 30 y 300 UFC debido a que este n6mero es estadisticamente representativo (L6pez y Torres, 2006). La concentraci6n inicial para *Bacillus* se fij6 en  $1 \times 10^9$  UFC/ml (Valencia y Caicedo, 2004).

### **3.10.2.2. PREPARACI6N DE IN6CULOS PARA HONGOS**

Los aislados f6ngicos *Trichoderma harzianum* (AO-5) y *Trichoderma longibrachatum* (AO-8) que se emplearon para los in6culos, corresponden al banco de cepas que dispone la Escuela Superior Polit6cnica Agropecuaria de Manab6, se activaron en medio papa dextrosa agar. Para la siembra, se recolectaron las esporas de *Trichoderma harzianum* (AO-5) y *Trichoderma longibratum* (AO-8) por inundaci6n con 5ml de soluci6n Tween al 0,1 %. De las cajas Petri que conten6an los hongos, se tom6 1ml y esta sustancia se coloc6 en un tubo de ensayo con 9 ml de soluci6n salina; posteriormente, se tom6 0,1ml de la diluci6n y se coloc6 en el centro del medio de cultivo PDA y se incub6 por 10 d6as a 28°C. Se realiz6 el conteo de UFC, se recolectaron las esporas a  $1 \times 10^7$  con soluci6n Tween al 0,1 % por inundaci6n (5ml) y finalmente se aplic6 en el medio l6quido optimizado, a base de melaza de ca6a y de levadura de cerveza. (Gonz6lez *et al.*, 2007).

Dicho medio estaba compuesto por 37,13 ml de melaza y 7,69 ml levadura autolizada el cual debe tener un pH 5,6 (Guzmán, 2010).

Se realizaron diluciones seriadas hasta obtener un nivel de concentración establecido como óptimo (Gómez, 2008). Realizadas las pruebas de viabilidad a los inóculos se procedió a ejecutar el recuento de microorganismos en cajas Petri, para esto se escogieron las placas que mostraron entre 30 y 300 UFC debido a que este número es estadísticamente representativo (López y Torres, 2006). La concentración inicial para *Trichoderma longbratium* se fijó en  $1,0 \times 10^6$  UFC/ml y  $1,1 \times 10^6$  UFC/ml para *Trichoderma harzianum* (Valencia y Caicedo, 2004).

### **3.10.2.3. PREPARACIÓN DE LAS PILAS**

Para la elaboración de las pilas se contempló los resultados de la relación C/N de los materiales a compostar: porquinaza y cáscara de maní (Ver cuadro 1). Con estos resultados se formuló la mezcla apropiada entre los materiales a compostar. Para comprobar que se cumple la relación C/N 30:1 en las composteras se empleó la metodología de Pearson (Vasicek *et al.*, 2008); que dio como mejor mezcla la combinación porquinaza + cáscara de maní, de acuerdo a la composición que se especifica a continuación.

La preparación de las pilas sigue la modalidad de tambores, las que se realizaron en una plataforma impermeable de cemento (Cisterna, 2008) ubicada en el área de reciclaje de la ESPAM MFL pero que permite conducir los percolados del compuesto.

Las unidades experimentales estuvieron constituidas por composteras de malla metálica con 96cm de diámetro, 50cm de altura y  $0,33\text{m}^3$  de volumen. Dichas composteras facilitaron el manejo de la materia orgánica (MO) brindando un fácil volteo utilizando como herramienta un tornillo sin fin (Pacheco, 2009).

Cuadro3. 1. Composición de cada compostera

COMPONENTE	PESO Kg	%
Porquinaza+ cascarilla de arroz	33,00	54,86
Cáscara de maní	27,16	45,14

Fuente: Conforme y Vera.

### 3.10.2.4. APLICACIÓN DE DOSIS

#### FACTOR EN ESTUDIO

#### FACTOR A

Dosis de inóculo microbiano nativo

Cuadro 3.2. Niveles (concentración × dosis)

NIVEL DOSIFICACIÓN	CONCENTRACIÓN BACTERIAS	CONCENTRACIÓN HONGOS	DOSIS DE INÓCULO
A <sub>1</sub>	1 × 10 <sup>9</sup> UFC/ml	1 × 10 <sup>6</sup> UFC/ml	200ml /1m <sup>3</sup>
A <sub>2</sub>	1 × 10 <sup>9</sup> UFC/ml	1 × 10 <sup>6</sup> UFC/ml	300ml /1m <sup>3</sup>
A <sub>3</sub>	1 × 10 <sup>9</sup> UFC/ml	1 × 10 <sup>6</sup> UFC/ml	400ml /1m <sup>3</sup>
A <sub>4</sub> (Testigo)	Sin inóculo	Sin inóculo	Sin inóculo

Fuente: Conforme y Vera.

#### TRATAMIENTOS

La aplicación de las dosis al material experimental proporcionó tres tratamientos más un testigo sin aplicación de inóculo (sustrato de porquinaza + cáscara de maní) con tres repeticiones dispuestas en un diseño Completamente al Azar A+1, teniendo 12 unidades experimentales.

Cuadro 3.3. Tratamientos

Nº TRATAMIENTO	FACTOR A		
1	A <sub>1-1</sub>	A <sub>1-2</sub>	A <sub>1-3</sub>
2	A <sub>2-1</sub>	A <sub>2-2</sub>	A <sub>2-3</sub>
3	A <sub>3-1</sub>	A <sub>3-2</sub>	A <sub>3-3</sub>
4	A <sub>4-1</sub>	A <sub>4-2</sub>	A <sub>4-3</sub>

Fuente: Conforme y Vera.

Cuadro 3.3.1. Descripción de los tratamientos

Nº	CODIGO	DESCRIPCIÓN		
		Concentración Bacterias	Concentración hongos	Dosis de inóculo
1	A <sub>1</sub>	1 × 10 <sup>9</sup> UFC/ml	1 × 10 <sup>6</sup> UFC/ml	200ml /1m <sup>3</sup>
2	A <sub>4</sub>	1 × 10 <sup>9</sup> UFC/ml	1 × 10 <sup>6</sup> UFC/ml	300ml /1m <sup>3</sup>
3	A <sub>3</sub>	1 × 10 <sup>9</sup> UFC/ml	1 × 10 <sup>6</sup> UFC/ml	400ml /1m <sup>3</sup>
4	A <sub>4</sub> (testigo)	0	0	0

Fuente: Conforme y Vera.

Cuadro 3.3.2. Análisis de varianza

FUENTE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD
Total	11
Repeticiones	2
Tratamientos	3
Error experimental	6

Fuente: Conforme y Vera.

La aplicación del inóculo microbiano nativo (*Trichoderma longbratium*, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus sp.*) se realizó en tres dosis 200ml/m<sup>3</sup>, 300ml/m<sup>3</sup> y 400ml/m<sup>3</sup> de acuerdo a lo propuesto por Quishpe y Suquilanda (2008). La aplicación del inóculo se realizó al comienzo del proceso de compostaje asperjando las dosis con una bomba de mochila de 20lt de agua (Carlos *et al.* 2001 citado por Cariello *et al.*, 2007).

Los tratamientos estuvieron conformados por: porquinaza 45,14% + cáscara de maní 45,14%. Los tratamientos 1, 2 y 3 fueron inóculados con 200, 300 y 400 ml de microorganismos nativos respectivamente y el tratamiento 4 corresponde a un tratamiento testigo sin aplicación de inóculo.

### **3.10.2.5. SEGUIMIENTO A LOS MICROORGANISMOS INOCULADOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE**

Se realizó un aislamiento a los microorganismos nativos del compostaje para determinar la población microbiana existente antes de la aplicación del inóculo microbiano. Posteriormente cada 30 días se tomó muestras del compost para realizar el aislamiento de los hongos y bacterias que se inocularon al compostaje, con la finalidad de realizar un seguimiento a los microorganismos en estudio; para ello se realizaron diluciones seriadas y la siembra por diseminación con espátulas de Drigalsky. Transcurridos los días de incubación se efectuó el conteo de UFC de los hongos AO-5, AO-8 y de la bacteria AO-19. Posteriormente se realizó la observación micro y macroscópica de la forma y el color de las colonias.

### **1.3.3 CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y FITOTÓXICOS DEL COMPOSTAJE CON INÓCULOS MICROBIANOS**

#### **3.10.2.6. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

Cada 30 días se tomaron muestras en 3 puntos opuesto de la pila de control, se homogenizaron estas muestras y fueron enviadas a los Laboratorios de Química Ambiental y Bromatología de la ESPAM-MFL para determinar: Conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, carbono orgánico total, la relación carbono-nitrógeno, fibra bruta y ceniza.

### 3.10.2.7. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA

Durante los primeros 30 días se registró diariamente la temperatura en tres puntos diferentes del tambor, para lo cual se empleó un termómetro de punzón (Castro, 2011) posteriormente cada 8 días se realizó estas mediciones en los mismo puntos de los 12 tambores.

### 3.10.2.8. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

Durante los primeros 30 días se registró diariamente la humedad (Facundo, 2010) en tres puntos diferentes del tambor, para esto se pesó 10 g, de las muestras de compost y se colocó en papel aluminio, éstas muestras se las colocó en la estufa a 80°C, por 24 horas. Trascurrido éste tiempo se evaluó el peso de la muestra seca y se determinó el porcentaje (%) de humedad mediante la ecuación 3.1 (Silva *et al.*, 2013). Posteriormente cada 8 días se realizó estas mediciones en los mismos puntos.

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{peso fresco} - \text{peso seco}}{\text{peso fresco}} \times 100 \quad [3.1]$$

### 3.10.2.9. DETERMINACIÓN DEL PH

Durante los primeros 30 días se registró diariamente el pH en tres puntos diferentes del tambor, para lo cual se empleó un potenciómetro, la técnica consistió en pesar 10g del compostaje y se mezcló en 50ml de agua destilada (relación 1:5 p:v) manteniendo en agitación por 15 minutos, dejando en reposo por 5 minutos, seguidamente se midió el pH (Gordillo, 2010). Posteriormente cada 8 días se realizó estas mediciones en los mismo puntos del tambor (Yañes *et al.*, 2011).

### 3.10.2.10. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Cada 30 días se tomó una muestra compuesta de 500 g de compost a partir de tres puntos de muestreo del tambor y se envió a los Laboratorios de Microbiología de la ESPAM MFL para determinar el recuento de *E. coli*; *Coliformes Totales*; *Coliformes fecales*, *Salmonella*; *Staphylococcus aureus*, *Mohos* y *Levaduras*.

### 3.10.2.11. EVALUACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD

La evaluación de la fitotoxicidad se realizó por el método “Evaluación de la sensibilidad mediante la extracción de compuestos Fitotóxicos”.

Se llevaron muestras de las pilas de control al Laboratorio, a estas muestras se las centrifugó a 6000 revoluciones por 10 minutos, luego de esto se obtuvo el sobrenadante se realizarán diluciones en proporción 1:10 se colocó 5ml del extracto en cajas Petri las que contenían 5 semillas de rábano sobre papel filtro, éste tratamiento se comparó con un testigo conformado por agua destilada, las placas se mantuvieron a temperatura ambiente (25°C) cubiertas con fundas plásticas negras para dar las condiciones de oscuridad debido a que las semillas utilizadas son foto-negativas (Fuentes *et al.*, 2004).

Para evaluar el índice de germinación se empleó las siguientes fórmulas (Zucconi *et al.* 1985 citado por Fuentes *et al.*, 2004).

$$PGR = \frac{\text{Numero de semillas germinadas en el extracto}}{\text{Numero de semillas germinadas en el testigo}} \times 100 \quad [3.2]$$

$$CRR = \frac{\text{Elongación de radículas en el extracto}}{\text{Elongacion de radículas en el testigo}} \times 100 \quad [3.3]$$

$$IG = \frac{PGR \times CRR}{100} \quad [3.4]$$

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. IDENTIFICACIÓN PROPIEDADES QUÍMICAS DEL MATERIAL A COMPOSTAR

El cuadro 4.1 muestra los resultados obtenidos en la determinación de algunas propiedades químicas de los materiales a compostar (porquinaza + cáscara de maní).

**Cuadro 4.1. Análisis de la composición química de los materiales a compostar.**

MATERIALES	NITROGENO TOTAL %	MATERIA ORGÁNICA %	RELACIÓN C/N
Porquinaza	1,015	44,12	25,20
Cáscara de maní	0,955	55,91	33,95

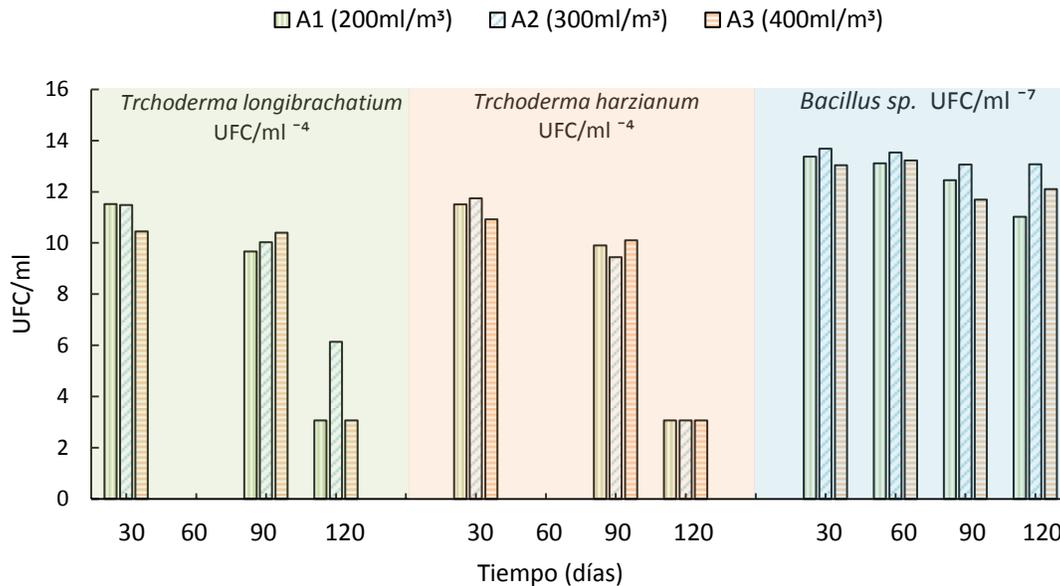
**Fuente:** Laboratorio de Química Ambiental ESPAM MFL (2014).

Se determinó la relación carbono nitrógeno C/N de la porquinaza y la cáscara de maní, utilizando para esto la metodología de Pearson (ver Anexo 1) obteniendo como resultado una relación 30:1. Morín (2012) sugiere que la relación C/N óptima en los materiales iniciales debe de estar en 25:1 – 30:1, por otro lado se menciona que una buena relación C/N es importante para suministrar un sustrato adecuado que permita el desarrollo de los microorganismos y al mismo tiempo acelere el proceso de descomposición y mejore la calidad del producto final (Cuadro, 2008).

### 4.2. DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LOS MICROORGANISMOS INOCULADOS

Para determinar la incidencia del inoculante microbiano nativo sobre un sustrato, es necesario realizar un seguimiento a la presencia de los diferentes microbios existentes en el reactor de fase sólida, como es el presente caso.

De esta forma en el gráfico 4.1, se muestran los resultados obtenidos del seguimiento de *Trichoderma longibrachatiun*, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus sp.* durante los 0- 30-60-90-120 días del tratamiento.



**Gráfico 4.1.** Seguimiento de los microorganismos inoculados en el proceso de compostaje con diferentes diluciones.

Al inicio del proceso (0 días) se evidenció que la cantidad de hongos que actúan en la fase inicial del compostaje fueron: *Aspergillus*, *Rhizopus* y *Penicillium* en bacterias se encontró *Bacillus sp.* Gramnegativos (ver anexo 3) coincidiendo con Zapata (2014) quien manifiesta que este tipo de microorganismos aparecen en etapas iniciales de descomposición de la materia orgánica por tener a disposición materiales lábiles (monosacáridos, polisacáridos de cadenas cortas).

El tratamiento que presentó el mayor número de hongos fue el A<sub>4</sub> con una población de  $1,86 \times 10^4$  UFC / g de compost, seguido del A<sub>1</sub>, cuya población es de  $1,72 \times 10^4$ , mientras que los tratamientos A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub> tienen poblaciones menores. La cantidad de microorganismos presente en el compostaje se debe a que la composición de la Porquinaza (cascarilla de arroz + heces de porcino) cuenta con

una variedad de microorganismos patógenos como lo indica CARIONTIOQUIA (2003).

A los 5 días de compostaje se inocularon las pilas con (*Trichoderma longibrachatiun*, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus sp.*) tal como se indica en la parte metodológica ya que en este lapso el proceso de sanitización es óptimo por fase termófila (Ordóñez, 2014). Posteriormente, a los 30 días se realizó un seguimiento de los microorganismos inoculados donde el tratamiento A<sub>2</sub> presentó la mayor densidad poblacional de los hongos en relación a los otros tratamientos; sin embargo, la mayor cantidad de UFC/g corresponde a *Trichoderma longibrachatiun* ya que las condiciones de pH y provisión de nutrientes es adecuada para el desarrollo de este organismo.

A pesar de lo explicado, Melek (2001) menciona que el tamaño de la partícula influye en el desarrollo de los *Trichoderma sp.*, debido que a menor tamaño de los materiales existe una mayor superficie de contacto entre el microorganismo y el sustrato, por consiguiente, un mejor aprovechamiento de los nutrientes y mejor transferencia de oxígeno. Cabe resaltar que los materiales compostados no fueron triturados, por esta razón en la evaluación que se realizó a los 60 días se evidenció una reducción total de los hongos inoculados. Los datos demuestran también que a mayor dosis del inóculo hay más descomposición de la materia orgánica que sirve de sustrato en el compostaje, por lo que la concentración y dosis de microorganismos influye significativamente en el proceso, lo dicho se relaciona a los resultados obtenidos por Naranjo (2013). En cuanto a la masa bacteriana, la mayor densidad de *Bacillus sp.* ( $13,53 \times 10^7$  UFC/ml) la presenta el tratamiento A<sub>3</sub>.

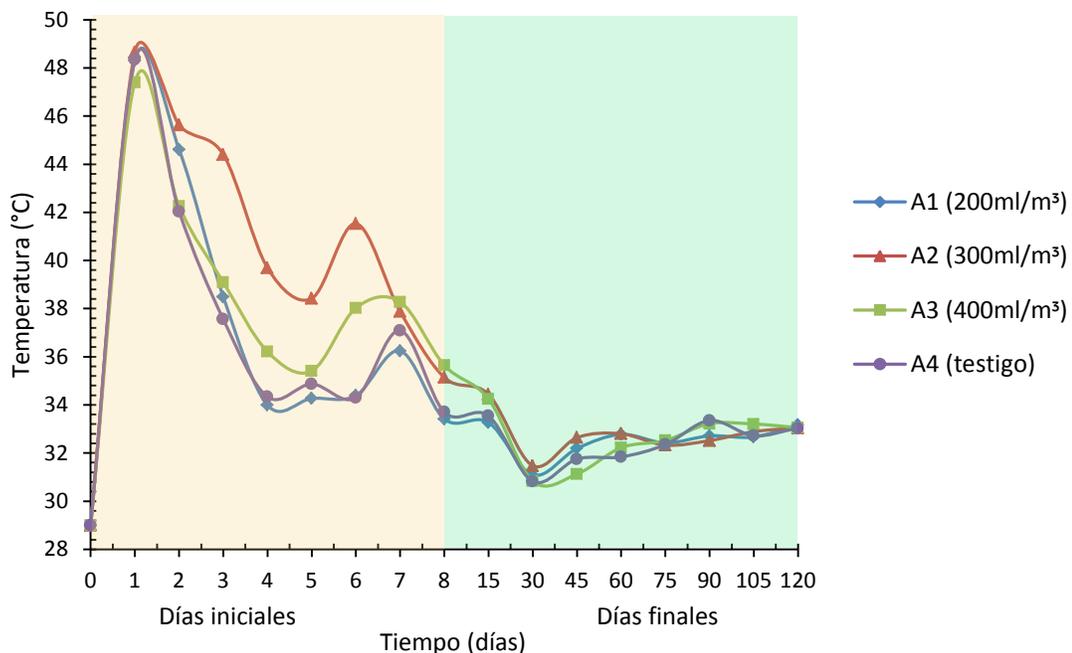
Debido a la reducción de microorganismos se realizó una re-inoculación para continuar con la descomposición del material, a los 90 días del proceso se mostró presencia de los microorganismos inoculados en los tratamientos A<sub>1-2</sub>, A<sub>2-2</sub>, A<sub>2-3</sub>, A<sub>3-1</sub>, A<sub>3-2</sub> A<sub>3-3</sub>, mientras que a los 120 días de transcurrido el ensayo, la presencia

de los microorganismos nativos disminuyó notoriamente ya que solo se presentaron en los tratamientos A<sub>1-3</sub>, A<sub>2-1</sub>, A<sub>2-2</sub>, A<sub>3-3</sub> (ver cuadro 4.2).

### 4.3. CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y FITOTÓXICOS DEL COMPOSTAJE CON INÓCULOS MICROBIANOS

#### 4.3.1. TEMPERATURA

El gráfico 4.1 se presenta la variación de la temperatura medida en el proceso de compostaje en los cuatro tratamientos.



**Gráfico 4.2.** Cambios de temperatura durante el compostaje de porquinaza y cáscara de maní, mostrados en dos escalas de tiempo.

Inicialmente, la combinación de los materiales estuvo a una misma temperatura ambiente (29°C) debido a que en la etapa inicial, el número de actinomicetos es bajo además existe un gran número de bacterias y hongos mesofílicos. La masa de microorganismos empezó a aumentar exponencialmente, la actividad

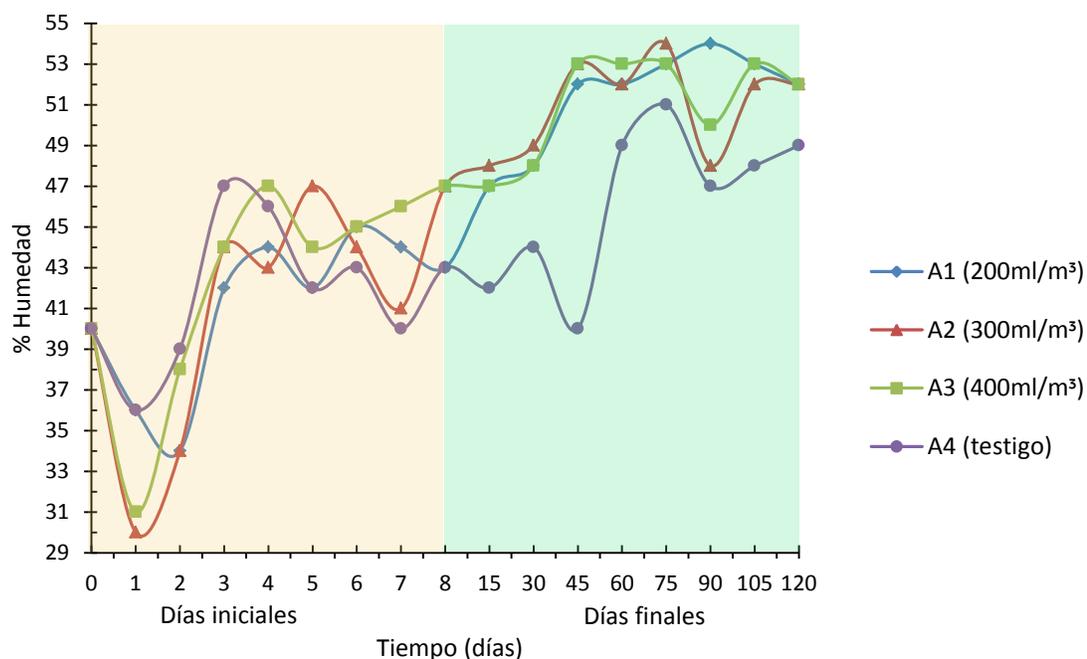
microbiana se incrementó y por lo tanto la temperatura también; al segundo día alcanzó un pico máximo de 48°C coincidiendo con lo publicado por los autores Pino *et al.* (2014).

De acuerdo a la norma chilena de clasificación y requisitos de calidad del compost, en el compostaje de apilamiento con volteos la temperatura se debe mantener mayor o igual a 55°C durante tres días consecutivos; además, para que ocurriera la higienización del compostaje (destrucción de patógenos) este factor debió alcanzar temperaturas superiores a la que indica la norma antes mencionada (fase termofílicas) concordando con estudios realizados por Álvarez (2003). La temperatura debió continuar incrementando, pero debido a que el tamaño de la partícula impedía la facilidad de acceso a los microorganismos (5 cm o más) la temperatura empezó a descender manteniéndose en fase mesofílica. Cuando en las mezclas de residuos para compostaje existen compuestos fácilmente alterables como azúcares, aminoácidos y almidón, existen una mayor biodegradación (Bernal *et al.*, 2009) sin embargo, Madrid *et al.* (2000) mencionan que al terminarse este tipo de compuestos la temperatura disminuye en la mezclas, esto debido a la presencia de residuos lignocelulósicos de lenta descomposición.

Durante el proceso de compostaje la temperatura se mantuvo en un rango de 30-35°C hasta culminar los 120 días del experimento, lo cual provocó una lenta descomposición del material procesado concordando con lo publicado por Contardi y Errasti (2012).

#### **4.3.2. HUMEDAD**

La variación de la humedad del compostaje durante los 120 días para los 4 tratamientos se muestra en el gráfico 4.3.

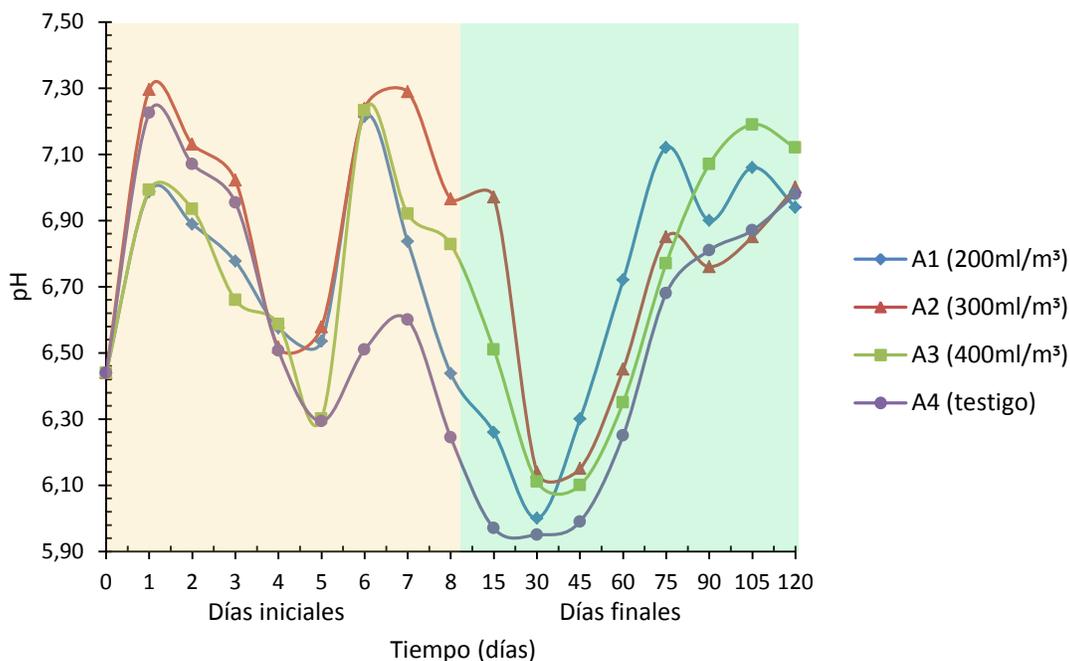


**Gráfico 4.3.** Cambios de la humedad durante el compostaje de porquinaza y cáscara de maní, mostrados en dos escalas de tiempo.

La humedad es considerada un factor de calidad para optimizar sistemas de compostaje. El gráfico 4.3 muestra que los cuatro tratamientos A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> y A<sub>4</sub> al inicio del compostaje presentaron un porcentaje de humedad de 39-41% debido a que el material utilizado (Porquinaza + Cáscara de maní) poseía poca retención de agua por el tiempo de permanencia en el ambiente bajo la influencia de factores climáticos de sequedad. Por la razón anotada, en la presente investigación se procedió a añadir agua hasta llegar a un rango óptimo (entre 50 - 60%) (Mullo, 2012) que permite la actividad biótica y disuelve nutrientes requeridos para el metabolismo microbiano (Larreategui y Banchón, 2014) coincidiendo con estudios realizados por Arias *et al.* (2009) donde se menciona que los materiales utilizados para compostaje, tenían un porcentaje de humedad inicial de 45 % por lo cual adicionaron agua para llevarlos a un valor cercano al 60%.

### 4.3.3. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

El gráfico 4.4 evidencia la variación del pH del compostaje durante los 120 días para los 4 tratamientos.



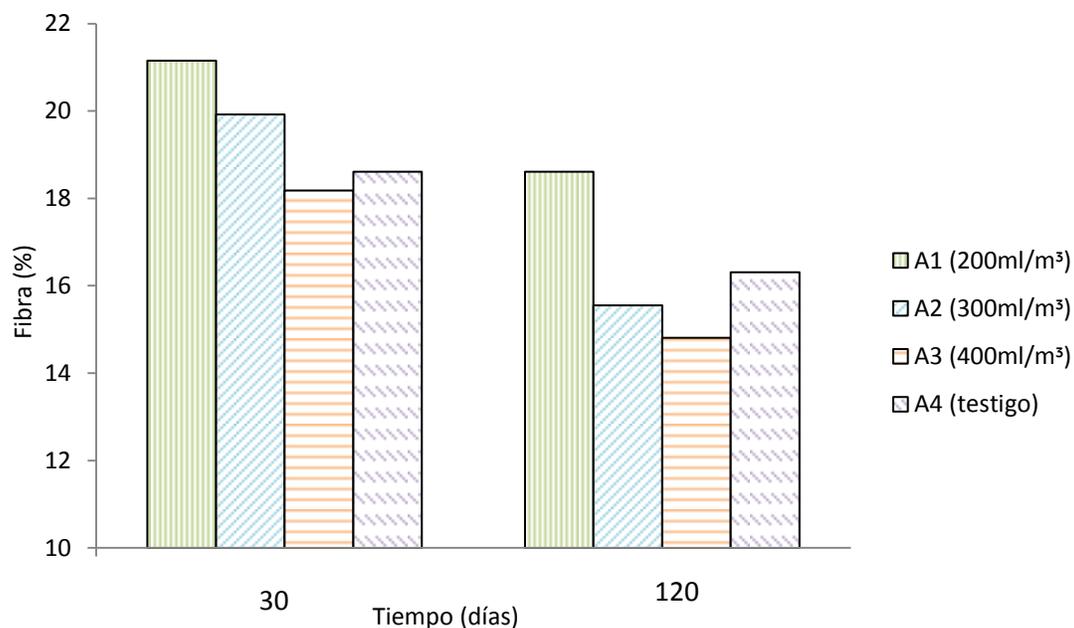
**Gráfico 4.4.** Cambios del pH durante el compostaje de porquinaza y cáscara de maní, mostrados en dos escalas de tiempo.

Durante el proceso de compostaje el comportamiento del pH fue similar en los 4 tratamientos, al inicio de la fase mesofílica las pilas presentaron un pH ácido por la actividad de los microorganismos descomponiendo los glúcidos y liberando ácidos orgánicos (Gordillo, 2010). Posteriormente, a partir del día 30 el pH aumentó paulatinamente en todos los tratamientos ocasionando la alcalinización, causada por la pérdida de ácidos orgánicos y generación de amoníaco resultado de la descomposición de proteínas (Moreno y Moral, 2007). Al finalizar el proceso de este compostaje, el tratamiento A<sub>1</sub> se neutralizó (para que el compost sea estable) con un pH de 7,10, seguido de los tratamiento A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> y A<sub>4</sub> con pH menores, de acuerdo a la norma chilena este compuesto estaría en categoría B. La Norma chilena, categoriza al compost una vez que culmina el proceso, en clase

(A) al compost que finalice con un pH de 7-8, y en categoría B los que tengan un pH final comprendido entre 6,5 y 8,5.

#### 4.3.4. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

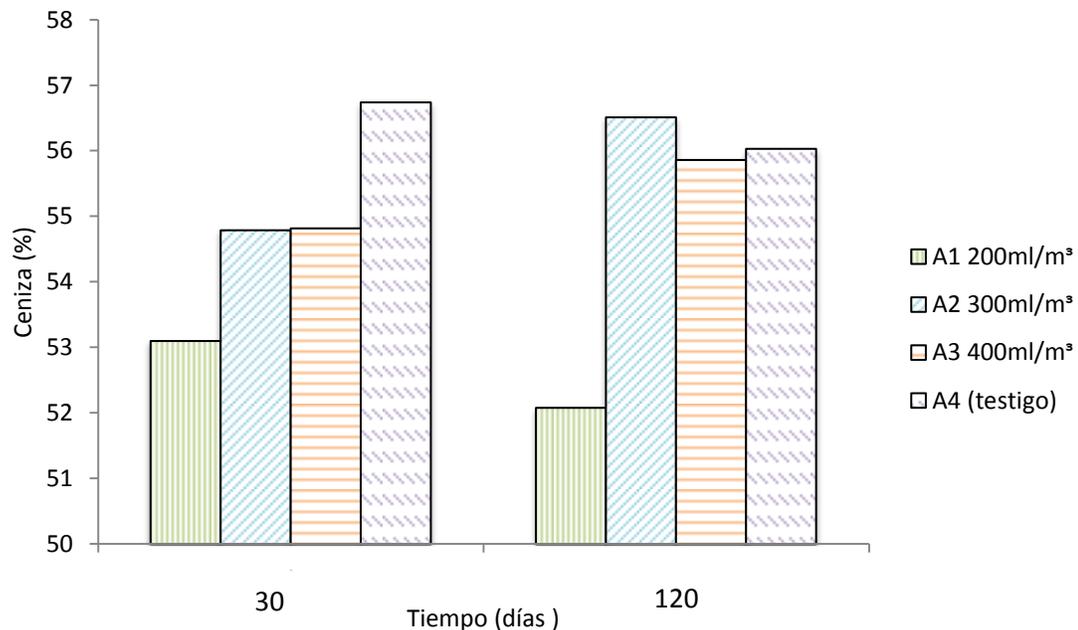
El análisis bromatológico de los tratamientos de compost, no mostró diferencias apreciables en el contenido de: fibra bruta, cenizas, y nitrógeno.



**Gráfico 4.5.** Análisis del contenido de fibra en los 4 tratamientos a los 30 y 120 días

A los 30 días del proceso de compostaje, los tratamientos presentaron un rango entre 18-21% de fibra; sin embargo, a los 120 días del experimento el tratamiento A<sub>1</sub> arrojó un porcentaje de fibra del 18,61%, seguido por los tratamientos A<sub>4</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> con 16,31, 15,55 y 14,81% respectivamente. El tratamiento A<sub>3</sub> presentó diferencias significativas en relación a los demás tratamientos. La prueba de Duncan (0,05) arrojó la mayor descomposición desde el inicio del proceso hasta el final del experimento con un porcentaje de fibra de 14,81%, producida por la

biodegradación de los residuos lignocelulósicos (carbonatos insolubles) debido a la acción de microorganismos inoculados, obteniendo como mejor resultado la dosis de 300ml/m<sup>3</sup> concordando con estudios realizados por Naranjo (2013) en los que la mayor dosis aplicada obtuvo el mejor efecto en el proceso de descomposición.



**Cuadro 4.6.** Análisis del contenido de ceniza en los 4 tratamientos a los 30 y 120 días

A los 30 días del proceso de compostaje, el contenido de ceniza se hallaba en un rango de 53-57%, sin embargo, a los 120 días del experimento se observó un incremento poco significativo. El porcentaje de ceniza de los tratamientos con más dosis de microorganismo (A<sub>2</sub> - A<sub>3</sub>) fue mayor que el que contenía menor dosis (A<sub>1</sub>) lo cual puso en evidencia la velocidad de descomposición y mineralización en función de las dosis aplicadas concordando con Melgarejo *et al.* (1997) quienes obtuvieron velocidad de mineralización similar en función del sustrato utilizado. Sin embargo, el tratamiento A<sub>4</sub> (testigo) presentó un contenido de ceniza relativamente alto ya que los microorganismos nativos actuaron libremente en ausencia de los que están contenidos en el inóculo.

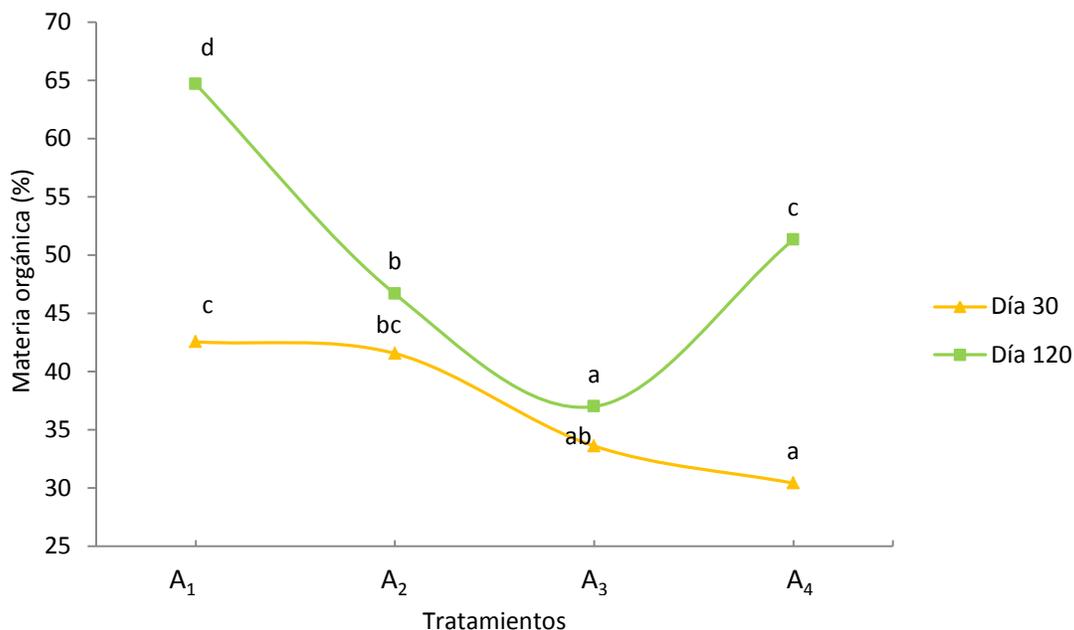
Posso (2010) manifiesta que la mineralización de compost es muy lenta debido a que la materia orgánica debe pasar por una fase de humificación, realizada por microorganismos y luego los minerales se liberan progresivamente. No obstante Álvarez (2003) explica que si la materia orgánica en descomposición presenta partículas muy pequeñas, el proceso se acelera. Por esta razón en el futuro deberá triturarse especialmente la cáscara de maní.

#### **4.3.5. ANÁLISIS QUÍMICO**

##### **4.3.5.1. MATERIA ORGÁNICA (MO) Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)**

El contenido de materia orgánica (MO) a los 30 días del proceso de compostaje estuvo en un rango de 30-43%, cabe recalcar que la determinación se la realizó mediante el método de Walkley-Blcak, el cual establece el contenido de MO y carbono orgánico total (COT) fácilmente oxidable (Eyherabide *et al.*, 2014). Al avanzar el tiempo de compostaje el resultado en cuanto al porcentaje de materia orgánica se eleva, puesto que la descomposición de la biomasa lignocelulósica (celulosa, hemicelulosa y lignina) involucra la transformación de polisacáridos a monosacáridos debido a que los microorganismos inoculados producen enzimas adecuadas para hidrolizar compuestos fibrosos (Zhou *et al.* 2000, citado por Grijalba, 2013).

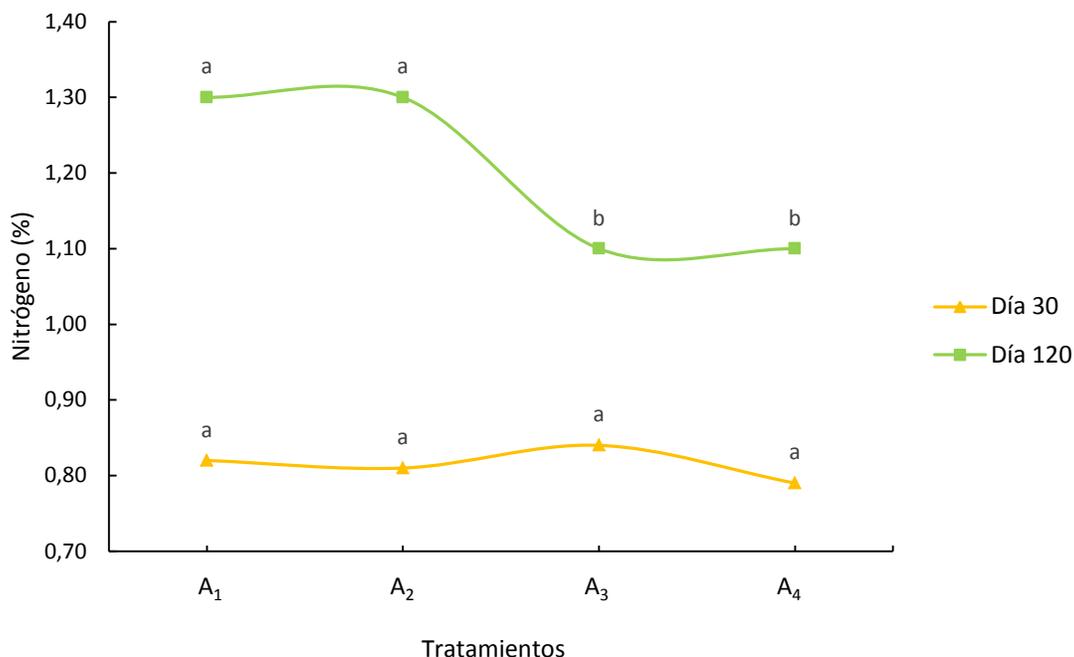
Serrato (2003) indica que la celulosa y la hemicelulosa se degradan más rápido que la lignina debido a que este es un polímero más complejo y de difícil descomposición, por tal razón en la evaluación final se reportó un incremento del contenido de MO y COT en todos los tratamientos.



**Gráfico 4.7.** Dinámica de la materia orgánica en el proceso de compostaje en los cuatro tratamientos.

#### 4.3.5.2. NITRÓGENO

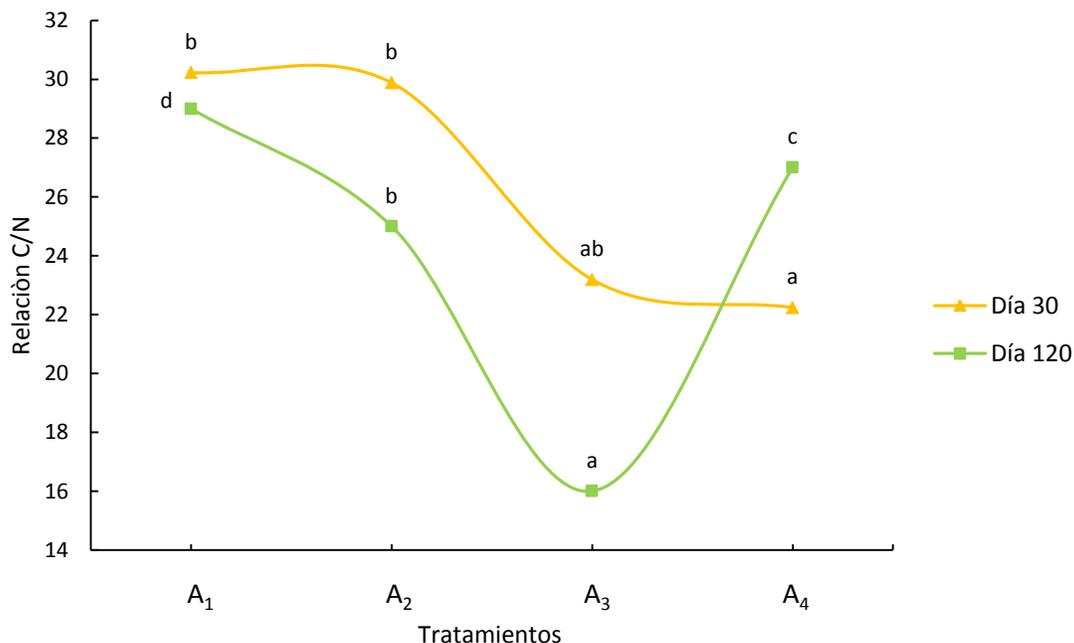
El contenido de Nitrógeno a los 30 días del compostaje estuvo en un rango de 0,79 - 0,82 % en los cuatro tratamientos, la prueba de Duncan (0,05) no mostró diferencias significativas; sin embargo, estos valores aumentaron al final del proceso (120 días); ese incremento se originó por la degradación de los compuestos orgánicos presentes, lo cual reduce el peso del material compostado y concentra la cantidad de nitrógeno (Bernal *et al.*, 1998) concordando con estudios realizados por Vargas (2007) que obtuvo un aumento de nitrógeno al final del proceso por la descomposición de la materia orgánica (cáscara de maní) y mineralización del nitrógeno por acción de microorganismos. Este recuento permite entender la lectura del nitrógeno a los 120 días que va de 1,1-1,3 detectándose mediante el análisis de varianza dos rangos estadísticos de significación (ver gráfico 4.5). La norma chilena establece que el contenido de nitrógeno al final de proceso debe ser  $\geq 0,8\%$  (clase A) para que el compost contribuya a la nutrición vegetal.



**Gráfico 4.8.** Contenido de nitrógeno en los cuatro tratamientos en el proceso de compostaje en los cuatro tratamientos.

#### 4.3.5.3. RELACIÓN C/N

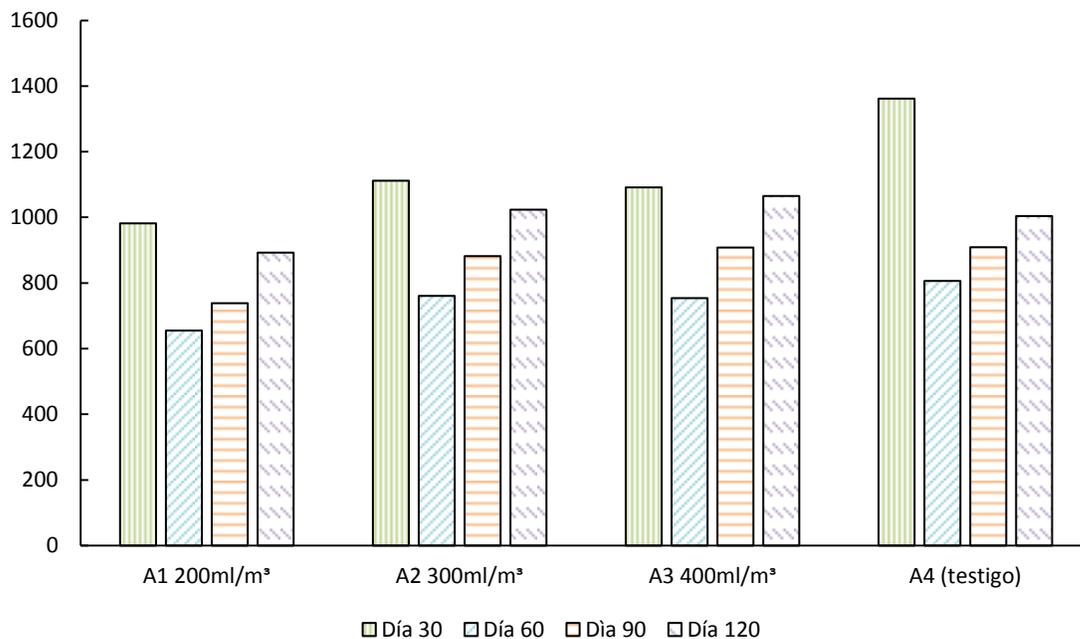
Al inicio del experimento se empezó con una relación carbono nitrógeno (C/N) 30:1 sugerida como óptima por Morín (2012). A los 120 días del compostaje se evidenció una disminución en la relación C/N en todos los tratamientos (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> y A<sub>4</sub>) siendo A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub> los que presentaron diferencia significativas, mostrando mayor reducción de esta variable con relaciones de C/N de 25:1 y 16:1 respectivamente, como se observa en el gráfico 4.6 Moreno y Moral (2011) establecen que al finalizar el proceso de compostaje el valor óptimo de la relación C/N debe ser 20:1, sin embargo este valor dependerá de las condiciones químicas del material, debido a que cuando el carbono está presente en formas resistentes a la degradación (lignina, celulosas y hemicelulosa) esta relación puede superar el valor de 20:1. La norma chilena, tantas veces nombrada, categoriza en clase A al compost que presente una relación C/N entre 10:1 y 25:1 al finalizar el proceso de biotransformación, por lo que de acuerdo a este criterio sería un compost de óptima calidad.



**Gráfico 4.9.** Variación de la relación C/N (rango estadístico) durante el proceso de compostaje en los cuatro tratamientos.

#### 4.3.5.4. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La prueba de significancia de Duncan al 0.05% muestra que a los 30 días la conductividad eléctrica (CE) se encontraba en un rango de 900-1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no encontrándose diferencias significativas en todos los tratamientos. A los 60 días se observa que ocurrió una disminución representativa (655-807  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) debido a la lixiviación en la masa provocado por una humectación excesiva de la misma, concordando con Márquez *et al.* (2008). En evaluaciones posteriores (90 y 120 días) este factor (CE) tuvo un aumento (1066  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) causado por la mineralización de la materia orgánica (Bárbaro *et al.*, 2011) hecho que produce un aumento en la concentración de nutrientes; por otro lado, Gordillo y Chávez (2010) mencionan que al finalizar el proceso de compostaje la CE no debe superar los 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

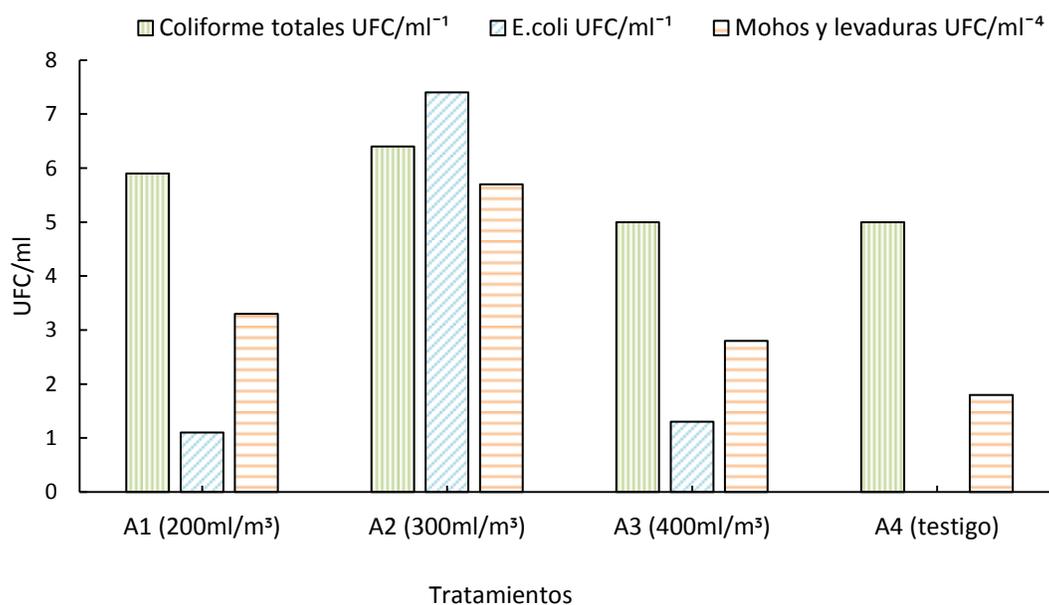


**Gráfico 4.10.** Variación de la conductividad eléctrica en el proceso de compostaje en los cuatro tratamientos.

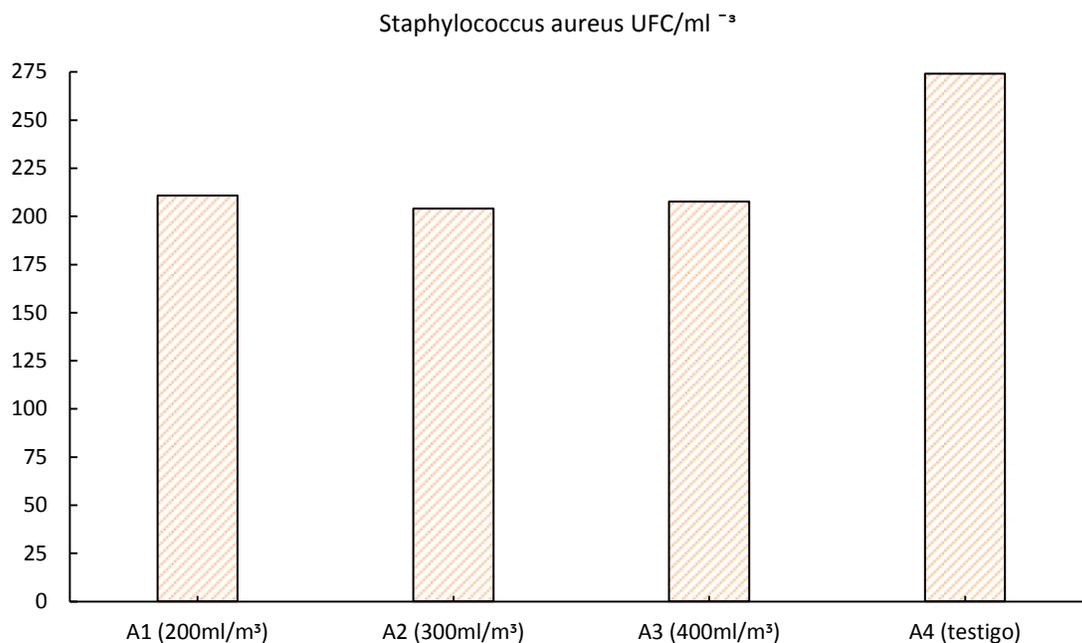
#### 4.3.6. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Los análisis microbiológicos realizados al inicio del proceso de la investigación, mostraron en cada uno de los tratamientos (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> y A<sub>4</sub>) la presencia de microorganismos patógenos como: *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, *Staphylococcus aureus.*, *Coliformes sp.*, *Escherichia coli.*, *Mohos* y *Levaduras*, coincidiendo con estudios realizados por Escobar *et al.* (2012) quienes evidenciaron la presencia de estos tipos de microorganismos al evaluar diferentes muestras de compostaje. La alta ocurrencia de estos microorganismos se debe a que en las heces animales se encuentra una significativa diversidad de poblaciones microbianas patógenas pero sobre todo con una alta capacidad de degradación de materiales carbonáceos como lo indica Rocha (2011).

Posteriormente, a los 90 días hubo un incremento poco significativo de los organismos patógenos ya mencionados, que nunca desaparecieron de las pilas de compostaje por la falta de sanitización en la denominada fase termofílica. Hay que añadir que el *Trichoderma sp.* actúa como antibiótico por la producción de metabolitos secundarios volátiles y no volátiles (Monte y Llobelf, 2003). A los 120 días, se observó una disminución de los microorganismos analizados en el proceso de compostaje ya que los materiales utilizados lograron cierta estabilidad biológica y disminuyó la disposición de materiales de consumo. La norma chilena establece que en todas las clases de compost debe existir un valor  $<1000$  UFC de coliformes fecales para que cumplan con los requisitos de calidad establecidos como óptimos. En los resultados obtenidos se muestra que todos los tratamientos están dentro de los límites permisibles.



**Gráfico.4.11.** Análisis microbiológico de los cuatro tratamientos a los 120 días en dos diluciones.



**Gráfico.4.12.** Análisis microbiológico de los cuatro tratamientos los 120 días.

#### 4.3.7. EVALUACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD

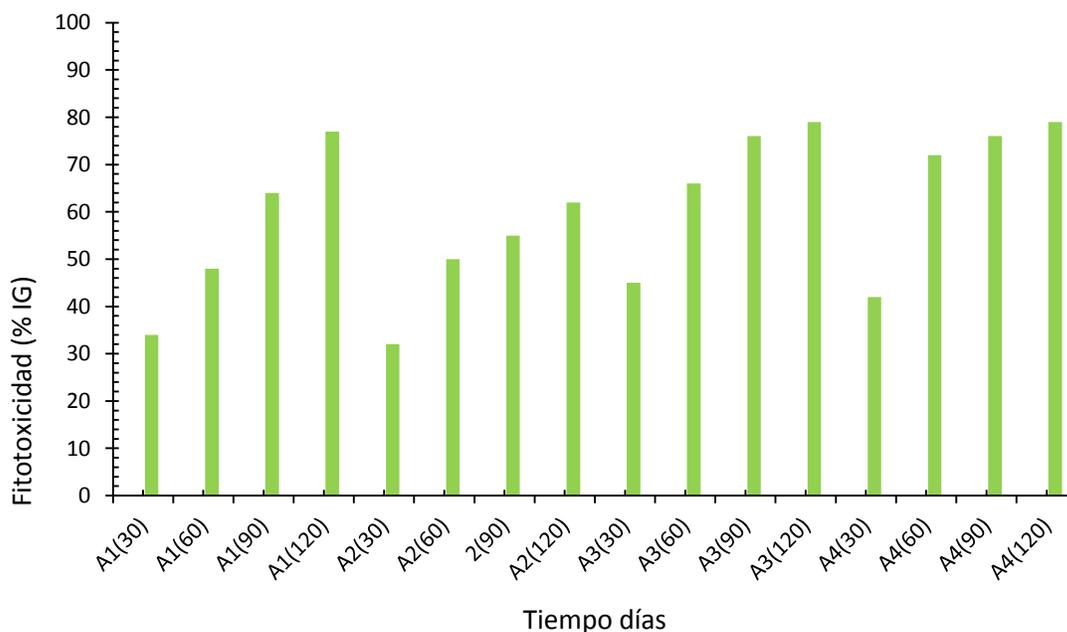
El gráfico 4.13 muestra los índices de germinación (IG) para las semillas de rábano (*Raphanus sativus*) sobre extractos de muestras de cuatro distintas etapas del compostaje (30, 60, 90 y 120 días).

A los 30 días de aplicar el extracto de residuos orgánicos a las semillas de rábano, en una relación de 1:10, los resultados muestran que el Índice de Germinación (IG) estuvo en un rango de 32-45% lo que revela la existencia de metabolitos fitotóxicos severos coincidiendo con estudios realizados por Varnero *et al.* (2011) que obtuvieron un rango inferior al 80% de germinación exigido como mínimo. Estos autores mencionan además que un IG  $\geq$  80% es un indicador óptimo para determinar la ausencia de compuestos fitotóxicos en la materia orgánica en descomposición. Madrid *et al.* (2000) manifiestan que a los 7 días obtuvieron un índice de germinación superior a 50 % en todas las muestras, no obstante, estos autores atribuyen estos resultados a que durante el proceso de

compostaje, disminuyen las sustancias tóxicas que retrasan la germinación y el crecimiento radicular.

Al finalizar el compostaje (120 días) el material obtenido del tratamiento A<sub>2</sub> presentó un índice de germinación de 62% ligeramente inferior en relación al tratamiento A<sub>1</sub> en el cual se registró un 77% de IG seguido por los tratamientos A<sub>3</sub> y A<sub>4</sub> con un índice germinación de 79 %, lo que indica una reducción significativa de metabolitos fitotóxicos como consecuencia de una biodegradación de acuerdo a lo mencionado por Moreno y Moral (2008).

Finalmente, los resultados obtenidos muestran que la materia orgánica se encontraba aún en descomposición y existían sustancias fitotóxicas que no se metabolizaron completamente, coincidiendo con lo expresado por Zucconi *et al.* (1985) citado por Fuentes *et al.* (2004), quien establece el 80% de índice de germinación como un indicador óptimo para esta variable.



**Gráfico 4.13.** Índice de germinación de semillas de rábano a los 30, 60, 90, 120 días de compostaje.

## CONCLUSIONES

- De la mezcla de materiales a compostar, la cantidad de materia orgánica lábil presente en el material porquinaza estuvo en un 44 % y en la cáscara de maní en un 56%, razón por la que la mezcla a utilizar tuvo dificultad de degradación; fue necesaria la aplicación de microorganismos adecuados (*Trichoderma Harzianum* y *Logibrachatium* y *Bacillus sp.*) para la degradación de los materiales lignocelulósicos.
- La presencia de estiércol en la porquinaza más la cáscara de maní, brindaron a la mezcla el nitrógeno necesario para establecer la relación C/N 30:1, indispensable en el proceso de compostaje.
- Existió presencia de los microorganismos inoculados (*Trichoderma Harzianum* y *Logibrachatium*) hasta los 30 días, por la presencia de materiales disponibles para asimilación de las diferentes especies de microbios. El tamaño grande de la partícula (de la cáscara de maní), influyó negativamente en la sobrevivencia de los hongos, lo que motivó la reinoculación a los 60 días.
- La poca disponibilidad del carbono lábil, en el compostaje impidieron el crecimiento exponencial de microbios característica de la fase termófila cuyo metabolismo eleva la temperatura (> 55°C), por lo que no se logró la sanitización, manteniendo el compostaje en temperatura mesofílica (20° a 45°C) hasta la finalización del proceso, lo que ocasionó la presencia de microorganismos patógenos (*E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella sp.*).

- La disponibilidad de materia orgánica aumentó a medida que el inóculo ejercía su actividad en las pilas de compostaje. Sin embargo, la medida de esta variable a los 120 días determinó que los materiales todavía no se han degradado, menos aún mineralizado. Organolépticamente, se pudo observar que todavía falta actividad del inóculo para que se obtenga un compost.
- La actividad del inóculo de los tratamientos con mayor dosis (A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>) fue mejor y la materia orgánica disponible así lo demuestra. Esto indica que la dosis adecuada para una biodegradación efectiva, puede ser más alta que la considerada para este ensayo.
- La fitotoxicidad del material resultante de la compostificación con inóculo microbiano de (*Trichoderma logibrachatum*, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus sp*) fue baja o nula, especialmente para las semillas de rábano (*Raphanus sativus*) consideradas sensibles para los tóxicos que arrojan los materiales en descomposición. Esto demuestra que el proceso fue relativamente exitoso para la porquinaza (heces de cerdo + cascarilla de arroz) con cáscara de maní.

## RECOMENDACIONES

- Colocar en compostificación materiales lignocelulósicos mezclados con otros de alto contenido nitrogenáceo como maní forrajero, para que haya un balance adecuado en estructura, textura y humedad de los materiales y de esta forma puedan actuar los microorganismos.
- Procurar mezclas con una adecuada relación C/N en los materiales para proveer a los microorganismos cantidades apropiadas de carbono y nitrógeno para favorecer su desarrollo durante el proceso de compostaje
- Reducir el tamaño de las partículas mediante el triturado para que el material sea susceptible a la invasión microbiana al disponer de carbono lábil y considerar la reinoculación como una alternativa para aumentar las poblaciones microbianas en estudio debido a que las condiciones ambientes no son las mismas para todos los microorganismos.
- Probar mayor concentración y dosis de microorganismos que las utilizadas en este ensayo para una degradación más efectiva.
- Emplear semillas de otras especies reconocidas como sensibles a metabolitos fitotóxicos, tales como lechuga (*Lactuca sativa*), rábano (*Raphanus sativus*).

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J. 2003. Manual de compostaje. (En línea). Consultado 15 de junio 2014. Formato PDF Disponible en: [http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia\\_ambiental/agricultura\\_ecologica/Manual%20compostaxe.pdf](http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/agricultura_ecologica/Manual%20compostaxe.pdf)
- AMPRECH. 1990. Suelos forestales. (En línea). Consultado 7 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://amazoniaforestal.blogspot.com>
- APROLAB, 2007. Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: [http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base\\_datos/manual\\_para\\_elaboracion\\_de\\_compost.pdf](http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/manual_para_elaboracion_de_compost.pdf)
- Arias, I; Pérez, M; Laines, J Y Castañón, G. 2009. Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://www.publicaciones.ujat.mx.pdf>
- Aycachi, R. 2007. Humus de lombriz. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/6397897/Monografia-Lombricultura>
- Barbaro, L; Karlanian, M; Morisigue, D; Rizzo, P; Riera, N; Torre, V y Crespo, D .2011. Compost de ave de corral como componente de sustratos. (En línea). Consultado 19 de mayo 2015. Formato PDF Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/scielo>.
- Barrena, R. 2006. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. (En línea)BA. Consultado el 11 de junio 2015. Formato PDF. Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>
- Barrera, A; Álvarez, J; Herrera, A; Salamanca, C y Pinzon, L. 2012. Determinación del Nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. (En línea). Consultado 20 de abril 2015. Formato PDF Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4230882>
- Basaure, P.2008. Cascarilla de arroz/ consideraciones al compostar. (En línea). Consultado 24 de marzo 2015. Formato HTML Disponible en: <http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/16663.html>

- Belzarini, M; Casanoves, F; Adirienzo, J; Laura, a y Robledo, 2001. Infostat Sftware estadístico versión 1. Còrdova Aargentina
- Bernal, M. P., Cegarra, J., Roig, A., Sánchez-Monedero, M. A., & Paredes, C. (1998, May). Composting of organic wastes as a strategy for producing high quality organic fertilizers. In 8th International Conference of the RAMIRAN Network. FAO European Cooperative (pp. 171-182)
- Bernal, M; Albuquerque, L y Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. Bioresource Technol. Vol 100 (22). P 5444-5453.
- Brechelt, A. 2008. El compost como abono orgánico. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: [http://www.rap-al.org/articulos\\_files/Manual%201%20Andrea%20Brechelt.pdf](http://www.rap-al.org/articulos_files/Manual%201%20Andrea%20Brechelt.pdf)
- CARANTIOQUIA (Corporación Autónoma Regional Del Centro De Antioquia), 2003. Manejo y evaluación de la Porquinaza mediante procesos de compostación. (En línea). Consultado 24 de mazo 2015. Formato PDF Disponible en: <http://www.corantioquia.gov>.
- Cariello, M; Castañeda, L; Riobo, I. y González, J. 2007. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. (En línea). Consultado 19 de mayo 2014. Formato PDF. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo.pdf>
- Castro, J. 2011. Medición de la temperatura. (En línea). Consultado 19 de mayo 2014. Formato DOC. Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/.../4/anexos%20verticales%203.doc>
- CCA (Comisión para la Cooperación Ambiental). 2014. La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas. (En línea) CA. Consultado el 11 de junio 2015. Formato PDF Disponible en: <http://www3.cec.org/islandora/es/item/11405-la-quema-de-residuos-agricolas-es-una-fuente-de-dioxinas-es.pdf>
- Cisterna, P. 2008. Preparación de pilas. (En línea). Consultado 19 de mayo 2014. Formato PDF. Disponible en [http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2008/perez\\_cl/doc/perez\\_cl.pdf](http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2008/perez_cl/doc/perez_cl.pdf)
- Contardi, L y Errasti, A. 2012. Evolución de la temperatura en pilas de compostaje de residuos agroforestales. (En línea). Consultado 08 de abril 2015. Formato PDF Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26668/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26668/Documento_completo.pdf?sequence=1)

- Cuadros, S. 2008. Compostaje y biometanización. (En línea). Consultado 22 de enero 2015. Formato PDF. Disponible en [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45609/componente45607.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45609/componente45607.pdf)
- Díaz, L; Hernández, A; Molina, R; Portillo, S; Rafaelano, J y Rivas A. 2008. Propiedades físicas del abono orgánico. (En línea). Consultado 15 de Junio 2014. Formato HTML Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/15402129/Abono-organico-col8>
- Escobar, F; Sanchez, J y Azero, M. 2012. Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. (En línea). Consultado 18 de febrero 2015. Formato HTML Disponible en: [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S16830789201200010004&script=sci\\_arttext](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S16830789201200010004&script=sci_arttext)
- ESPAM MFL (Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López). 2012. Manual de sistema de investigación institucional. 2ed. Calceta- Manabí EC. P 89
- Eyherabide, M; Saíenz, H; Barbieri, o y Echeverría, H. 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico. (En línea). Consultado 3 de junio 2015. Formato PDF Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/scielo>.
- Facundo, C. 2010. Rango de la humedad. (En línea). Consultado 06 de enero 2015. Formato PDF Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/37273101/contenido-de-humedad-de-una-pila-de-la-planta-de-compostaje-de-la-universidad-surcolombiana-de-neiva#scribd>
- FAO. 2011. El bocashi. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://www.coin.fao.org>
- Ferrandiz, J; Camañez,M; Domene,R;Giner,P; Sanjuan, J; Sanjuan, S Y Vidal, A. 2010. Abonos verdes. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: "<http://www.ivia.es/documentos/objetivosproyectos.pdf>.
- Fuentes, A; Lloréns, M; Sáez, J; Aguilar, M; Ortuño, J y Meseguer, V. 2004. Fórmulas para calcular el índice de germinación. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389404000949>
- Gélvez, L. 2014. Purín de hierbas. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en:<http://www.ingenieroambiental.com>

- Gomez, D. 2008. Inòculo Microbiano. (En línea). Consultado 13 de Noviembre 2014. Formato PDF Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis109.pdf>
- Gómez, D; Vásquez, M; Rodríguez, I y Posas, F. 2011. Abonos orgánicos. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://www.pymerural.org/abonos/abonos-24-05-2011.pdf>
- González, J; Castañeda, L; Riobo, I; y Cariello, M. 2007. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. (En línea). Consultado 19 de mayo 2014. Formato PDF. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo.pdf>
- Gordillo, F y Chávez, E. 2010. Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes desechos agroindustriales azucareros. (En línea). Consultado 19 de mayo 2015. Formato PDF Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9112/1/Evaluaci%C3%B3n%20Comparativa%20de%20la%20calidad%20del%20compost.pdf>
- Gordillo, F. 2010. Evaluación comparativa de la calidad del compost producido través de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. (En línea). Consultado 08 de abril 2015. Formato PDF Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13534/1/D-42782.pdf>
- Grijalva, N. 2013. Degradación de residuos vegetales mediante inoculación con cepas microbianas. (En línea). EC. Consultado 19 de mayo 2014. Formato PDF. Disponible en: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/full6.pdf>
- Guzmán, A. 2015. Comportamiento del compost de residuos agropecuarios con la inoculación de un biopreparado microbiano autóctono de Manabí, Ecuador. Tesis Doctorado en Ciencias Agrícolas. Universidad de Matanzas. Cuba
- Hernández, E. 2003. Inoculo microbiano. (En línea). EC. Consultado 19 de mayo 2014. Formato PDF. Disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Preparaci%C3%B3n-De-Inoculo-Microbiano/23905149.html>
- Huerto, M. 2012. Tipos de abonos orgánicos. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://www.ecoagricultor.com/2012/08/tipos-de-abonos-organicos/>

- INN (Instituto Nacional de Normalización). 2003. Proyecto de Norma Chilena de calidad de compost. (En línea). Consultado 8 de abril 2015. Formato PDF Disponible en: [http://www.sinia.cl/1292/articles-32296\\_Norma.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-32296_Norma.pdf)
- Iñamagua, J . 2010. Carbono Orgánico de sustratos no aprovechados. (En línea). Consultado 15 de abril 2015. Formato PDF Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/587/1/07910.pdf>
- IPADE. 2009. Abonos líquidos (En línea). Consultado 7 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: [http://www.canacacao.org/Abonos\\_organicos.pdf](http://www.canacacao.org/Abonos_organicos.pdf)
- Laich, F 2012. Microorganismo presente en el compostaje. (En línea). Consultado 14 de julio 2014. Formato PDF Disponible en: [http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/01Actualidad/documentos/f\\_laich\\_-\\_microorganismos\\_del\\_compost\\_y\\_del\\_te\\_-\\_lanzarote\\_2012.pdf](http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/01Actualidad/documentos/f_laich_-_microorganismos_del_compost_y_del_te_-_lanzarote_2012.pdf)
- Larreategui, E y Banchon, C. 2014. Un modelo matemático para la reducción del tiempo de compostaje. (En línea). Consultado 10 de abril 2015. Formato PDF Disponible en: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/38/40>
- López, L; Torres, C. 2006. Estudio cuantitativo de bacterias. (En línea). Consultado 14 de Noviembre 2014. Formato PDF Disponible en: <http://www.biologia.edu.ar/microgenera/tp5.pdf>
- Madrid, C; Quevedo, V y Andrade, E. 2000. Estudio de la biotransformación aeróbica de los desechos lignocelulósicos pergamino de café (*Coffea arabica* L.) y tallos de pasto guinea (*Panicum máximum*). (En línea). Consultado 10 de mayo 2015. Formato PDF Disponible en: <http://biblat.unam.mx/es/revista/revista-de-la-facultad-de-agronomia-universidad-del-zulia/articulo/estudio-de-la-biotransformacion-aerobica-de-los-desechos-lignocelulosicos-pergamino-de-cafe-coffee-arabica-l-y-tallos-de-pasto-guinea-panicum-maximum>
- Márquez, P; Días, M y Cabrera, F. 2008. Factores que afectan al proceso de Compostaje. (En línea). Consultado 15 de abril 2015. Formato PDF Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- Melek, S. 2001. Influencia de algunos parametros en la fermentación en estado solido del hongo *Trichoderma viride*. (En línea). Consultado 08 de abril 2015. Formato PDF Disponible en: <http://site.ebrary.com/lib/espamsp/reader.action?docID=10365624>

- Melgarejo, M; Ballesteros , M; Bendeck, L.1997 . Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y nutricionales en humus de lombriz y composts derivados de diferentes sustratos. (En línea). Consultado 18 de mayo 2015. Formato PDF Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/20256/1/16360-51016-1-PB.pdf>
- Monte, E y Llobelf, A.2003. Trichoderma in organic agricultura. IN Proceedings V World Avocado Congress. P.725-733. Consultado en 16 de junio del 2014. Disponible en:<http://www.avocadosource.com/WAC5/WCA5 TOC.htm>
- Moreno, J y Moral, R. 2011. Compostaje. Madrid. México. Ediciones Mundi-Prensa. Progreso. p 295.
- Moreno,J y Moral, R. 2007. Compostaje. (En línea). Consultado 08 de abril 2015. Formato PDF Disponible en: <http://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484763468/compostaje>
- Morin, N. 2012. Relación Carbono Nitrógeno. (En línea). Consultado 20 de Noviembre 2014. Formato PDF Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31114/1/MorinZaragoza.pdf>
- Mosquera, B. 2010. Abonos orgánicos (En línea). Consultado 18 de marzo 2015. Formato PDF Disponible en: [www.fonag.org.ec](http://www.fonag.org.ec).
- Mullo, I. 2012.Manejo y procesamiento de la Gallinaza. (En línea). Consultado 10 de abril 2015. Formato PDF Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2114/1/17T1106.pdf>
- Naranjo, E. 2013. “Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost”. (En línea). Consultado el 11 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/5310>
- Olalde, V y Aguilera, L. 1998. Microorganismos y biodiversidad. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: [www.chapingo.mx/terra/contenido/16/3/art289-292.pdf](http://www.chapingo.mx/terra/contenido/16/3/art289-292.pdf)
- Ordóñez, G. 2014. Transformación de los lodos generados en el camal municipal en compost para uso en el cultivo de vicia (vicia sativa). En línea. Consultado 1 de diciembre 2014. Formato PDF Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec>.
- Pacheco, F. 2009. Evaluación de la eficacia de la aplicación de inóculos microbiales en el proceso de compostaje doméstico de desechos urbanos.

(En línea) NA. Consultado 19 de mayo 2014. Formato PDF. Disponible en: <http://www.rapaluruquay.org/>

Pacheco, J; Cabrera, A; Steinich, B; Frías, J; Coronado, V y Vázquez, J. 2002. Efecto de la aplicación agrícola de la excreta porcina en la calidad del agua subterránea. (En línea)ME. Consultado el 11 de junio 2015. Formato PDF Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/467/46760301.pdf>

Paneque, V y Calaña, M. 2001. Tipos de abonos orgánicos. (En línea) HA. Consultado 19 de mayo 2014. Formato PDF. Disponible en: <http://www.ediciones.inca.edu.cu/>

PASE. 2007. Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. (En línea). Consultado 15 de junio 2014. Formato PDF Disponible en: [http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base\\_datos/manual\\_para\\_elaboracion\\_de\\_compost.pdf](http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/manual_para_elaboracion_de_compost.pdf)

Pino, P; Varnero, M y Alvarado, P. 2014. Fases del compostaje. (En línea). Consultado 15 de junio 2014. Formato PDF Disponible en: [http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S071827912005000200004&script=sci\\_arttext porcinas-sistemas-t375/124-p0.htm](http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S071827912005000200004&script=sci_arttext%20porcinas-sistemas-t375/124-p0.htm)

Posso, J. 2010. Evaluación de diferentes dosis de compost y lombricompost aplicado al suelo de vivero de palma aceitera (*Elaeis guinensis*). (En línea). Consultado 15 de junio 2014. Formato PDF Disponible en: [www.bdigital.unal.edu.co/2728/1/juliocesarpossoagudelo.2010.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/2728/1/juliocesarpossoagudelo.2010.pdf)

Quishpe, D; Suquilanda, M. 2008. Dosis de Microorganismos. (En línea). Consultado 12 de Noviembre 2014. Formato PDF Disponible en: <http://www.secsuelo.org/XICongreso/Simposios/Nutricion/Documento/Ponencias/17.%20Ing.%20Diego%20Quishpe.pdf>

Riobo, I; González, J; Castañeda, L; y Cariello, M. 2007. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. (En línea). Consultado 19 de mayo 2014. Formato PDF. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo.pdf>

Rocha, J .2011. Cerdaza. (En línea). Consultado 15 de abril 2015. Formato PDF Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/55057562/Cerdaza#scribd>

Ruilova, M y Hernández, A. 2014. Evaluación de residuos agrícolas para la producción de *Pleurotus ostreatus*. (En línea). CU. Consultado el 11 de junio 2015. Formato PDF Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223131337008.pdf>

- Sánchez, E. 2011. Porquinaza. (En línea). Consultado 5 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/53113105>
- Sánchez, S; Hernández, M y Ruz, F.2011. Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo>.
- Santabrosio, E; Ortega, M; Garibaldi, P.2009.Siembra y recuento de microorganismos. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: [http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5\\_anio/biotecnologia/practicoll.pdf](http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/biotecnologia/practicoll.pdf)
- Santos, S; Urquiaga. 2013. Compostaje y vermicompostaje (En línea). Consultado 7 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/>
- Serrato, G. 2012.Gallinaza. (En línea). Consultado 13 de junio 2014. Formato PDF Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/95091904/La-Gallinaza>
- Serrato, M. 2003. La descomposición de residuos orgánicos. (En línea). Consultado 3 de junio 2015. Formato PDF Disponible en: [http://www.pro-amb.com/descargas/La\\_descomposicion\\_de\\_residuos\\_organicos.pdf](http://www.pro-amb.com/descargas/La_descomposicion_de_residuos_organicos.pdf)
- Silva, C; Alay, A y Negrón, N. 2013. Ecuación para medir la humedad. (En línea). Consultado 5 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/idesia/v31n3/art15.pdf>
- Soliva, M; Lòpez, M 2004. Calidad del compostaje. (En línea). Consultado 14 de julio 2014. Formato PDF Disponible en: [http://mie.esab.upc.es/ms/recerca\\_experimentacio/articles\\_ESAB/Calidad%20compost%20lodos.pdf](http://mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/articles_ESAB/Calidad%20compost%20lodos.pdf)
- Stency, G. 2011. Bovinaza. (En línea). Consultado 5 de mayo 2014. Formato PDF Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/65974267/Bovinaza>.
- Valencia J, D; Caicedo B, M. 2004. Concentración de Microorganismos. (En línea). Consultado 14 de Noviembre 2014. Formato PDF Disponible en: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/222/1/arc055%2801%29016-028.pdf>
- Vargas, Y. 2007. Evaluación del contenido nutrimental del compost elaborado con tres tipos de muestras de desechos organicos y su efecto en el redimiento del cultivo de brócoli (Brassica oleracea). (En línea). Consultado 20 de mayo 2015. Formato PDF Disponible en: <http://www.repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/.../t-senescyt-0148.p>

- Varnero, M; Galleguillos, K y Rojas, R, 2011, Sistemas de Compostaje para el Tratamiento de Alperujo. (En línea). Consultado 29 de enero 2015. Formato PDF Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v22n5/art07.pdf>
- Varnero, M; Rojas, C; Orellana, R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. (En línea). Consultado 29 de enero 2015. Formato PDF Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071827912007000100003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071827912007000100003&script=sci_arttext)
- Vasicek, A; Baridón, E; Pellegrini, A; Millán, G; Mildemberg,J; Mildemberg,V; Fittipaldi, C y Iribar, T . 2008. Cuadrado de Pearson para formular las mezclas con diferente relación C/N. (En línea). Consultado 14 de Noviembre 2014. Formato PDF Disponible en: <http://www.usodelsuelo.unlp.edu.ar/capacitacion.pdf>
- Vásquez, P; Salinas, E; Nuñez, J; Vásquez, F; Calletano, L y Merino, M. 2011. Cascarilla de arroz. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato HTML Disponible en: <http://fdcvasquez987.blogspot.com>
- Yañez, P; Levy, A y Azero, M. 2011. Determinación del pH. (En línea). Consultado 1 de mayo 2014. Formato HTML Disponible en: [http://researchgat.net/publication/228351660\\_evaluacion\\_de\\_compostaje\\_de\\_residuos\\_de\\_deos\\_agroindustrias\\_palmiteras\\_del\\_tròpico\\_de\\_cochabamba\\_en\\_solos\\_hiperventidos](http://researchgat.net/publication/228351660_evaluacion_de_compostaje_de_residuos_de_deos_agroindustrias_palmiteras_del_tròpico_de_cochabamba_en_solos_hiperventidos)
- Zapata, J. 2014. Determinar la compatibilidad y el tiempo de sobrevivencia de tres microorganismos benéficos de uso agrícola: beauveria bassiana, bacilus thuringiensis y paecilomyces lilacinus en compost". (En línea). Consultado 20 de febrero 2015. Formato HTML Disponible en: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7809/1/tesis031%20Maestr%C3%ADa%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20%20CD%20262.pdf>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. CÁLCULOS PARA EL BALANCE DE MATERIALES

**Materiales a utilizar:**

**Porquinaza + cascarilla de arroz:**

$$Kg \text{ de porquinaza} = 304,55 \text{ kg/m}^3$$

**Cáscara de maní:**

$$Kg \text{ de cáscara de maní} = \frac{26,00 \text{ Kg}}{0,33\text{m}^3} = 78,79 \text{ kg/m}^3$$

**Peso y volumen de cada material en la compostera**

$$\frac{mp}{dp} + \frac{mc}{dc} = V_{requerido}$$

$$\frac{mp}{304,55} + \frac{mc}{78,79} = 0,33$$

$$\frac{mc}{mp} + \frac{45,14}{54,86} = 0,823$$

$$mc = 0,823$$

$$\frac{mp}{304,55} + \frac{0,823 \text{ mp}}{78,79} = 0,33$$

$$\frac{1}{304,55} + \frac{0,823 \text{ mp}}{78,79} = 0,33$$

$$0,00328 + 0,010 = 0,33 \text{ m}^3$$

$$mp = \frac{0,33\text{m}^3}{0,01}$$

$$mp = 33,00 \text{ kg}$$

$$mc = 0,823(33,00)$$

$$mc = 27,16 \text{ kg}$$

$$V_p + V_c = V_T$$

$$V_T = 33,00 + 27,16$$

$$V_T = 60,16 \text{ kg}$$

### Determinación del porcentaje de cada material

$$\begin{array}{r} 8,75 \\ 4,80 \end{array} \quad \begin{array}{l} 100 \\ x = 54,86 \% \end{array}$$

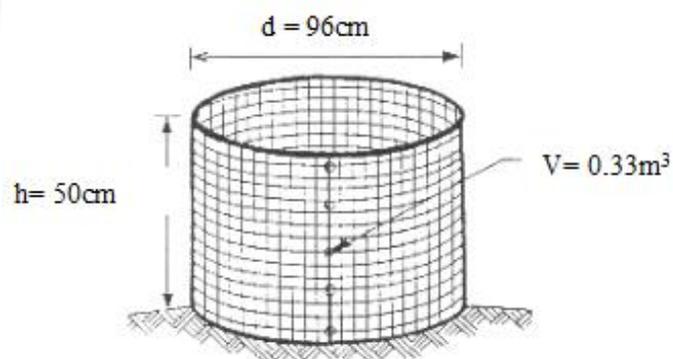
$$\begin{array}{r} 8,75 \\ 3,95 \end{array} \quad \begin{array}{l} 100 \\ x = 45,14 \% \end{array}$$

### Determinación de la cantidad de material a utilizar

$$\begin{array}{l} \% mc \times mt \div 100 \\ 54,86 \times 60,16 \text{ kg} \div 100 = 33,00 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \% mp \times mt \div 100 \\ 45,14 \times 60,16 \text{ kg} \div 100 = 27,16 \end{array}$$

### ANEXO 2. DIMENSIONES DE LAS COMPOSTERAS



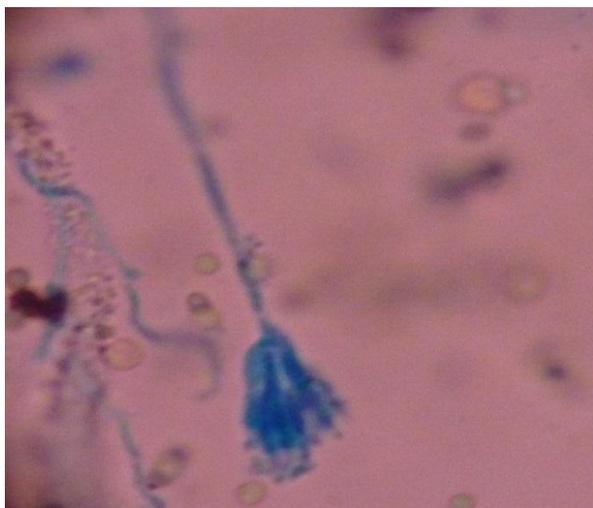
**ANEXO 3. IMÁGENES MICROSCÓPICAS DE LOS HONGOS NATIVOS IDENTIFICADOS EN LA FASE INICIAL DEL PROCESO DE COMPOSTAJE**



**3-A** *Aspergillus* sp.



**3-B** *Rhizopus* sp.



**3-C** *Penicillium* sp.

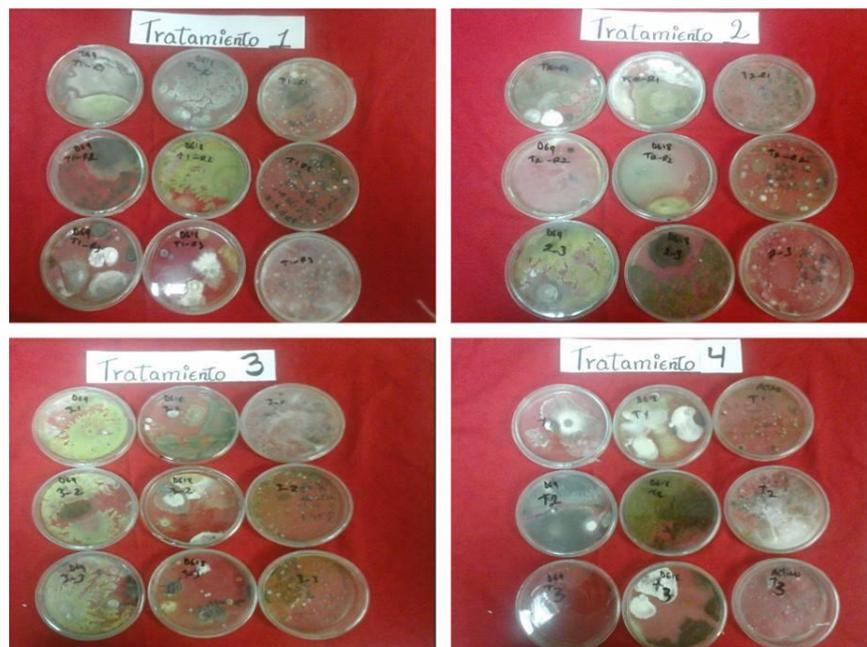


**3-D** *Bacillus* sp. Gram negativos

## ANEXO 4. SEGUIMIENTO DE MICROORGANISMO INOCULADOS EN EL PROCESO DE COMOSTAJE



4-A Diluciones seriadas para la siembra de microorganismos inoculados en el compostaje



4-B. Hongos inoculados luego del periodo de incubación (5 días).

DÍAS	TRATAMIENTOS	<i>TRICHODERMA LONGIBRATIUM</i>	<i>TRICHODERMA HARZIANUM</i>	<i>BACILLUS</i>	NATIVOS
0	A1	0,00	0,00	13,28	13,17
30	A1	11,52	11,51	13,38	13,21
60	A1	0,00	0,00	13,11	12,37
90	A1	9,67	9,90	12,45	12,76
120	A1	3,07	3,07	11,02	12,47
0	A2	0,00	0,00	13,75	13,34
30	A2	11,48	11,74	13,68	12,26
60	A2	0,00	0,00	13,53	12,50
90	A2	10,03	9,44	13,06	12,32
120	A2	6,14	3,07	13,08	12,63
0	A3	0,00	0,00	13,27	13,08
30	A3	10,45	10,93	13,04	13,70
60	A3	0,00	0,00	13,23	12,56
90	A3	10,40	10,11	11,70	12,47
120	A3	3,07	3,07	12,10	12,86
0	A4	0,00	0,00	12,96	13,48
30	A4	0,00	0,00	13,27	11,51
60	A4	0,00	0,00	13,64	12,42
90	A4	0,00	0,00	13,00	12,65
120	A4	0,00	0,00	12,01	12,04

**4-C** Conteo de UFC/ml de los microorganismos inoculados en el compostaje de porquinaza más cáscara de maní.

## ANEXO 5. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL COMPOSTAJE CON INÓCULOS MICROBIANOS

TRATAMIENTO	% FIBRA	% CENIZA
A1 (0 DÍAS)	23,54	49,05
A1 (30 DÍAS)	21,15	53,10
A1 (60 DÍAS)	35,07	54,33
A1 (90 DÍAS)	31,23	53,47
A1 (120 DÍAS)	18,61	52,08
A2 (0 DÍAS)	23,61	46,76
A2 (30 DÍAS)	19,92	54,79
A2 (60 DÍAS)	28,15	55,17
A2 (90 DÍAS)	31,71	51,24
A2(120 DÍAS)	15,55	56,51
A3 (0 DÍAS)	22,08	48,62
A3 (30 DÍAS)	18,18	54,82
A3(60 DÍAS)	16,54	54,63
A3 (90 DÍAS)	30,65	52,16
A3(120 DÍAS)	14,81	55,86
A4 (0 DÍAS)	21,43	51,26
A4 (30 DÍAS)	18,61	56,74
A4 (60 DÍAS)	27,57	57,23
A2 (90 DÍAS)	30,19	53,69
A2(120 DÍAS)	16,31	56,03

**5-A** Porcentaje de fibra y ceniza en los 4 tratamientos a los 30-60-90-120 días del proceso de compostaje

TRATAMIENTO	30 DÍAS	120 DÍAS
A1	21,15 b	18,61 b
A2	19,92 b	15,55 a
A3	18,18 a	14,81 a
A4	18,61 a	16,31 a
p-valor	<0,0025	<0,0056
Error	0,39	0,54
CV	3,46	2,74

**5-B** Análisis de varianza del porcentaje de fibra y ceniza en los 4 tratamientos a los 30 y 120 días

## ANEXO 6. ANÁLISIS QUÍMICO DEL COMPOSTAJE

TRATAMIENTO	MATERIA ORGÁNICA %	CARBONO ORGÁNICO TOTAL %	NITRÓGENO %	RELACIÓN C/N
A1 (30 DÍAS)	43	25	1,0	30
A1 (120 DÍAS)	65	38	1,3	29
A2 (30 DÍAS)	42	24	0,8	30
A2 (120 DÍAS)	47	27	1,1	25
A3 (30 DÍAS)	34	19	0,8	23
A3 (120 DÍAS)	37	21	1,3	16
A4 (30 DÍAS)	30	18	0,8	22
A4(120 DÍAS)	51	30	1,1	27

**6-A** Porcentaje de Materia Orgánica - Carbono Orgánico Total - Nitrógeno y Relación C/N a los 30 y 120 días del compostaje

TRATAMIENTO	30 DÍAS	120 DÍAS
A1	42,55 c	64,67 d
A2	41,55 bc	46,67 b
A3	33,61 ab	37 a
A4	30,42 a	51,33 c
p-valor	<0,0232	<0,0001
Error	2,52	0,29
CV	11,79	1,00

**6-B** Análisis de varianza de la materia orgánica a los 30 y 120 días

TRATAMIENTO	30 DÍAS	120 DÍAS
A1	24,68 c	37,67 d
A2	24,10 bc	27,00 b
A3	19,49 ab	21,00 a
A4	17,65 a	30,00 c
p-valor	<0,0232	<0,0001
Error	1,46	0,17
CV	11,79	1,00

**6-C** Análisis de varianza de carbono orgánico total a los 30 y 120 días

TRATAMIENTO	30 DÍAS	120 DÍAS
A1	0,82 a	1,3 a
A2	0,81 a	1,3 a
A3	0,84 a	1,1 b
A4	0,79 a	1,1 b
p-valor	0,4714	<0,0001
Error	0,02	0,01
CV	4,3	0,64

6-D Análisis de varianza de nitrógeno total a los 30 y 120 días

TRATAMIENTO	30 DÍAS	120 DÍAS
A1	30,23 b	29 d
A2	29,88 b	25 b
A3	23,19 ab	16 a
A4	22,24 a	27 c
p-valor	0,0548	<0,0001
Error	2,16	0,17
CV	14,15	1,19

6-E Análisis de varianza de la relación C/N los 30 y 120 días

## ANEXO 7. MONITOREO DE LA TEMPERATURA EN LAS PILAS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

DÍAS	TEMPERATURA			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
0	29,00	29,00	29,00	29,00
1	48,31	48,66	47,40	48,36
2	44,61	45,62	42,26	42,03
3	38,49	44,40	39,10	37,56
4	33,99	39,69	36,21	34,33
5	34,27	38,42	35,41	34,87
6	34,39	41,53	38,02	34,30
7	36,24	37,88	38,28	37,09
8	33,41	35,14	35,64	33,70
15	33,27	34,43	34,24	33,54
30	31,09	31,47	30,83	30,82
45	32,19	32,64	31,13	31,75
60	32,77	32,80	32,22	31,84
75	32,42	32,33	32,52	32,35
90	32,71	32,52	33,22	33,35
105	32,67	32,89	33,21	32,72
120	33,17	33,04	33,06	33,03

7-A Evolución de la temperatura durante los 120 días del compostaje

## ANEXO 8. MONITOREO DE LA HUMEDAD EN LAS PILAS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

DÍAS	HUMEDAD			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
0	40	40	40	40
1	36	30	31	36
2	34	34	38	39
3	42	44	44	47
4	44	43	47	46
5	42	47	44	42
6	45	44	45	43
7	44	41	46	40
8	43	47	47	43
15	47	48	47	42
30	48	49	48	44
45	52	53	53	40
60	52	52	53	49
75	53	54	53	51
90	54	48	50	47
105	53	52	53	48
120	52	52	52	49

8-A Variación de la humedad durante los 120 días del compostaje

## ANEXO 9. MONITOREO DEL pH EN LAS PILAS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Días	pH			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
0	6,44	6,44	6,44	6,44
1	6,99	7,30	6,99	7,23
2	6,89	7,13	6,93	7,07
3	6,78	7,02	6,66	6,95
4	6,58	6,52	6,59	6,51
5	6,53	6,58	6,30	6,29
6	7,21	7,24	7,23	6,51
7	6,84	7,29	6,92	6,60
8	6,44	6,96	6,83	6,24
15	6,26	6,97	6,51	5,97
30	6,00	6,14	6,11	5,95
45	6,30	6,15	6,10	5,99
60	6,72	6,45	6,35	6,25
75	7,12	6,85	6,77	6,68
90	6,90	6,76	7,07	6,81
105	7,06	6,85	7,19	6,87
120	6,94	7,00	7,12	6,98

9-A Variación del pH en los cuatro tratamientos durante los 120 días del compostaje

### ANEXO 10. ANALISIS MICROBIOLÓGICO DEL COMPOSTAJE A LOS 0-30-60-90-120 DIAS EN LOS 4 TRATAMIENTOS

Individuo	Coliforme totales UFC/g	<i>E.coli</i> UFC/g	Mohos y levaduras UFC/g	<i>Staphylococcus aureus</i> UFC/g
A <sub>1</sub> ( 0 DÍAS )	2,9 x 10 <sup>8</sup>	2,2 x 10 <sup>6</sup>	0	0
A <sub>1</sub> ( 30 DÍAS)	5,3 x 10 <sup>1</sup>	0	4,7 x 10 <sup>3</sup>	173 x 10 <sup>3</sup>
A <sub>1</sub> ( 60 DÍAS)	6,3 x 10 <sup>1</sup>	7,1 x 10 <sup>1</sup>	3,6 x 10 <sup>4</sup>	Incontable
A <sub>1</sub> ( 90 DÍAS)	3,0 x 10 <sup>3</sup>	4,4 x 10 <sup>1</sup>	3,4 x 10 <sup>4</sup>	391 x 10 <sup>3</sup>
A <sub>1</sub> (120 DÍAS)	5,9 x 10 <sup>2</sup>	1,1x10 <sup>1</sup>	3,3 x10 <sup>4</sup>	210,7 x10 <sup>3</sup>
A <sub>2</sub> ( 0 DÍAS )	6,5 x 10 <sup>10</sup>	2,2 x 10 <sup>6</sup>	0	0
A <sub>2</sub> ( 30 DÍAS )	4,5 x 10 <sup>1</sup>	0,4 x 10 <sup>1</sup>	5,3 x 10 <sup>3</sup>	163 x 10 <sup>3</sup>
A <sub>2</sub> ( 60 DÍAS )	5,2 x 10 <sup>2</sup>	2,0 x 10 <sup>1</sup>	2,6 x 10 <sup>4</sup>	Incontable
A <sub>2</sub> (90 DÍAS)	3,4 x 10 <sup>3</sup>	2,4 x 10 <sup>1</sup>	3,4 x 10 <sup>3</sup>	139 x 10 <sup>3</sup>
A <sub>2</sub> (120 DÍAS)	6,4 x 10 <sup>1</sup>	7,4x 10 <sup>1</sup>	5,7 x10 <sup>4</sup>	204 x10 <sup>3</sup>
A <sub>3</sub> ( 0 DÍAS )	5,5 x 10 <sup>6</sup>	4,2 x 10 <sup>5</sup>	0	0
A <sub>3</sub> ( 30 DÍAS )	4,5 x 10 <sup>1</sup>	1,3 x 10 <sup>1</sup>	3,1 x 10 <sup>3</sup>	119,7 x 10 <sup>3</sup>
A <sub>3</sub> ( 60 DÍAS )	4,3x 10 <sup>1</sup>	0	2,4 x 10 <sup>4</sup>	119,7 x 10 <sup>3</sup>
A <sub>3</sub> ( 90 DÍAS )	6,5 x 10 <sup>1</sup>	3,0 x 10 <sup>1</sup>	3,3 x 10 <sup>4</sup>	172 x 10 <sup>3</sup>
A <sub>3</sub> (120 DÍAS)	5 x10 <sup>1</sup>	1,3 x10 <sup>1</sup>	2,8 x10 <sup>4</sup>	207,7 x10 <sup>3</sup>
A <sub>4</sub> ( 0 DÍAS )	9,8 x10 <sup>1</sup>	7,2 x10 <sup>7</sup>	0	0
A <sub>4</sub> ( 30 DÍAS )	5 x10 <sup>1</sup>	0	3,6 x 10 <sup>1</sup>	248 x 10 <sup>3</sup>
A <sub>4</sub> ( 60 DÍAS )	6 x10 <sup>1</sup>	3 x10 <sup>1</sup>	1,8 x 10 <sup>4</sup>	Incontable
A <sub>4</sub> ( 90 DÍAS )	1 x10 <sup>3</sup>	1,5 x10 <sup>1</sup>	2,1 x 10 <sup>4</sup>	212 x 10 <sup>3</sup>
A <sub>4</sub> (120 DÍAS)	5x10 <sup>1</sup>	0	1,8 x10 <sup>4</sup>	274 x10 <sup>3</sup>

10-A UFC/ml de microorganismos patógenos en el compostaje durante los 120 días.

## ANEXO 11. FITOTOXICIDAD DEL COMPOSTAJE

TRATAMIENTOS	DÍAS	N° DE SEMILLAS EXTRACTO	N° DE SEMILLAS TESTIGO	LONGITUD MEDIA DE LAS RAICES (cm)	LONGITUD MEDIA DE LAS RAICES EN EL TESTIGO(cm)	PORCENTAJE DE GERMINACIÓN RELATIVO (PGR)	CRECIMIENTO RADICULAR RELATIVO(CRR)	INDICE DE GERMINACIÓN (%) (IG)
A1	30	14	15	4,11	11,00	93	37	34
	60	13	15	4,05	7,38	87	55	48
	90	12	15	8,00	110,00	80	80	64
	120	13	15	10,95	12,34	87	89	77
A2	30	13	15	3,81	10,32	87	37	32
	60	15	15	7,00	14,14	100	50	50
	90	15	15	6,00	11,00	100	55	55
	120	14	15	5,75	10,03	93	67	62
A3	30	13	15	5,39	10,34	87	58	45
	60	15	15	6,90	10,45	100	66	66
	90	15	15	8,40	11,00	100	76	76
	120	15	15	10,97	13,80	100	79	79
A4	30	14	15	4,38	9,36	93	46	42
	60	14	15	6,95	8,25	93	84	72
	90	14	15	8,80	10,00	93	82	76
	120	14	15	8,19	10,44	93	78	79

11-A Evaluación de la sensibilidad del rábano a los compuestos fitotoxicos del compostaje.

