

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS PECUARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA ZOOTECNISTA



TESIS

**“UTILIZACIÓN DE BIOCATALIZADORES NATURALES EN LA PRODUCCIÓN
DE COMPOST DE CALIDAD, APLICADO EN SUSTRATOS DE ORIGEN
ANIMAL Y VEGETAL”**

**Para optar el Título profesional de:
INGENIERO ZOOTECNISTA**

Presentado por:

Bachiller: DAVID VILCA BARDALES

**Asesores: Dr. JOSÉ ANTONIO MANTILLA GUERRA
Dr. LUIS ASUNCIÓN VALLEJOS FERNÁNDEZ**

Co- Asesor: Ing. EDINSON ARMANDO TERÁN MEDINA

CAJAMARCA - PERÚ

2016

**UTILIZACIÓN DE BIOCATALIZADORES
NATURALES EN LA PRODUCCIÓN DE
COMPOST DE CALIDAD, APLICADO EN
SUSTRATOS DE ORIGEN ANIMAL Y
VEGETAL**

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en las dificultades que se presentaban, enseñándome a enfrentar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni decaer en el intento.

A mis queridos padres Daniel y María por ser el pilar más importante que mediante su apoyo y esfuerzo guiaron mis pasos con mucho amor, me enseñaron a continuar luchando para vencer los obstáculos, sin perder la esperanza de conseguir las metas propuestas, a pesar de los tropiezos y dificultades que se han presentado en el difícil camino de mi vida.

A mí amada esposa Carmen, y a mi hermosa hija Esther Judith, que son mi fortaleza, razón de mi vida, pilar de apoyo y compañeras inseparables de cada jornada que me han elevado espiritualmente y anímicamente para cumplir con mis objetivos.

A mis docentes de la universidad, quienes fueron personas importantes, que siempre estuvieron para brindarme toda su ayuda y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que me pone la vida, les dedico cada una de estas páginas de mi tesis.

El Autor

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a mi familia por el constante apoyo en la vida y en el transcurso de mi desarrollo profesional. Por sus consejos y enseñanzas que me llevaron a convertirme en el ser humano sólido que hoy en día culmina una nueva etapa mi vida.

A mis asesores Dr. José Antonio Mantilla Guerra, Dr. Luis Asunción Vallejos Fernández, y al Ing. Edinson Armando Terán Medina, mi más sincero agradecimiento por brindarme su apoyo con sus experiencias, capacidades y conocimientos en el desarrollo de esta nueva tesis, el cual ha finalizado colmando todas las expectativas.

A mis docentes de la universidad a quienes debemos gran parte de esta sabía formación, gracias a su paciencia y enseñanza.

A la Universidad Nacional de Cajamarca y a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Zootecnista, un imperecedero agradecimiento; por abrirme y abrir sus puertas a jóvenes ávidos de superación, preparándonos para un futuro competitivo en profesionales que contribuyan al progreso de la sociedad.

Al Ing. Santos Cotrina, Sra. Isabel Gutiérrez, Sr. Edwin Alva, Sr. Máximo Huaccha, y a la Sra. Claudina Herrera, mi agradecimiento sincero por su apoyo desinteresado en los meses que se realizó mi tesis.

El Autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PAGINAS
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	1
1.3. Justificación e importancia.....	2
CAPÍTULO II: OBJETIVOS	
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES	
3.1. Hipótesis	
3.1.1. Hipótesis de Investigación.....	4
3.1.2. Hipótesis Estadística.....	4
3.1.2.1. Hipótesis Nula.....	4
3.1.2.2. Hipótesis Alternante.....	4
3.2. Variables	
3.2.1. Variable Independiente.....	5
3.2.2. Variable Dependiente.....	5
CAPÍTULO IV: REVISIÓN LITERARIA	
4.1. Antecedentes.....	6
4.2. El compost en el Perú.....	7
4.3. Manejo de desechos sólidos orgánicos.....	7
4.3.1. Origen de la materia prima.....	8
4.4. Abono orgánico.....	9
4.5. El compost.....	10
4.5.1. Clasificación del compost.....	10
4.5.2. Sistemas de Compostaje.....	11
4.5.2.1. Sistemas de compostaje más utilizados.....	12

4.5.3.	Proceso del compostaje.....	13
4.5.4.	Fases del compostaje.....	14
4.5.5.	Parámetros del proceso de compostaje.....	17
4.5.5.1.	Parámetros físicos.....	17
4.5.5.2.	Parámetros químicos.....	20
4.5.5.3.	Composición química del compost.....	22
4.5.5.4.	Parámetros microbiológicos.....	26
4.5.6.	Beneficios del Compost.....	29
4.5.7.	Forma y dosis de aplicación del Compost.....	30
4.6.	El Biocatalizador Bio2 Prohumus.....	30
4.7.	El estiércol de cuy.....	32
4.8.	El Bagazo de caña de azúcar.....	33

CAPÍTULO V: METODOLOGÍA, TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN Y MATERIALES

5.1.	Lugar de ejecución.....	35
5.2.	Tipo de estudio.....	35
5.3.	Diseño estadístico	
5.3.1.	Tipo de diseño.....	35
5.3.2.	Tratamientos de estudio.....	35
5.3.3.	Características de las pilas de compostaje.....	36
5.3.4.	Dosis aplicadas del Biocatalizador natural (Bio2 Prohumus) a los tratamientos.....	36
5.4.	Variables a evaluarse	
5.4.1.	Determinación de la Temperatura.....	37
5.4.2.	Determinación del pH.....	38
5.4.3.	Calidad Nutricional del Compost.....	38
5.5.	Procesamiento y análisis de datos.....	39
5.6.	Metodología del trabajo	
5.6.1.	Preparación del terreno.....	39
5.6.2.	Recolección de la materiales para el compostaje.....	40

5.6.3.	Apilado de los materiales orgánicos.....	41
5.6.4.	Dimensión de las pilas de compostaje.....	42
5.6.5.	Picado de los materiales orgánicos.....	43
5.6.6.	Formación de las pilas de compostaje.....	44
5.6.7.	Aplicación del biocatalizador natural Bio2 Prohumus.....	45
5.6.8.	Aireación, control de temperatura, humedad, pH.....	46
5.6.9.	Maduración.....	47
5.6.10.	Cosecha.....	48
5.6.11.	Obtención de muestras para laboratorio	
5.6.11.1.	Análisis Físico - Químico.....	48
5.6.11.2.	Análisis Microbiológico.....	49
5.7.	Materiales y equipos	
5.7.1.	Materia prima.....	50
5.7.2.	Materiales y herramientas de campo.....	50
5.7.3.	Materiales de laboratorio.....	51
5.7.4.	Materiales de gabinete.....	51
5.7.5.	Equipos.....	51
5.7.6.	Insumos.....	51

CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1.	Contenido nutricional del Compost	
6.1.1.	Contenido de Nitrógeno.....	52
6.1.2.	Contenido de Fósforo.....	53
6.1.3.	Contenido de Potasio.....	54
6.1.4.	Contenido de Calcio.....	56
6.1.5.	Contenido de Magnesio.....	57
6.1.6.	Contenido de Sodio.....	58
6.2.	Características físico - químicas	
6.2.1.	Análisis del Potencial Hidrogeno.....	60
6.2.2.	Análisis de la Temperatura.....	62
6.2.3.	Contenido de Humedad.....	64

6.2.4. Análisis de la Conductividad Eléctrica.....	65
6.2.5. Contenido de Materia Orgánica.....	66
6.3. Análisis Microbiológico	
6.3.1. Bacterias Totales.....	68
6.3.2. Actinomicetos Totales.....	69
6.3.3. Hongos totales.....	70
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....	71
CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

	PAGINAS
Cuadro 1: Características de los materiales para el compostaje.....	9
Cuadro 2: Relación Carbono/Nitrógeno de los materiales orgánicos.....	22
Cuadro 3: Composición química del compost.....	22
Cuadro 4: Contenido de N, P, K en el compost.....	23
Cuadro 5: Resultados de las muestras de compost de la poza 1 y poza 2.....	24
Cuadro 6: Determinación de Nitrógeno total.....	25
Cuadro 7: Determinación de Materia orgánica.....	25
Cuadro 8: Determinación del pH.....	25
Cuadro 9: Determinación de Humedad.....	25
Cuadro 10: Medición de la Temperatura en los tratamientos.....	26
Cuadro 11: Índices de calidad microbiológica del compost.....	28
Cuadro 12: Calidad del suelo en base a bioindicadores y sus valores promedio.....	28
Cuadro 13: Determinación de la población total de bacterias.....	29
Cuadro 14: Determinación de la población total de hongos.....	29
Cuadro 15: Dosis para aplicar compost según el contenido de materia orgánica en el suelo.....	30
Cuadro 16: Ingredientes del Bio2 Prohumus.....	32
Cuadro 17: Características de estiércol por tipo de animal.....	33
Cuadro 18: Composición química del bagazo de caña de azúcar.....	33
Cuadro 19: Constitución del bagazo de caña de azúcar.....	34
Cuadro 20: Tratamientos de estudio.....	35
Cuadro 21: Cantidad de cada material que conforman la pilas de compostaje.....	36
Cuadro 22: Dosis aplicadas del Biocatalizador Natural.....	37
Cuadro 23: Valores promedios del contenido de nitrógeno en los tratamientos en estudio.....	5

Cuadro 24: Valores promedios del contenido de fósforo en los tratamientos en estudio.....	53
Cuadro 25: Valores promedios del contenido de potasio en los tratamientos en estudio.....	55
Cuadro 26: Valores promedios del contenido de calcio en los tratamientos en estudio.....	56
Cuadro 27: Valores promedios del contenido de magnesio en los tratamientos en estudio.....	57
Cuadro 28: Valores promedios del contenido de sodio en los tratamientos en estudio.....	58
Cuadro 29: Control de pH de los tratamientos durante el proceso de compostaje.....	60
Cuadro 30: Valores promedios de pH en los tratamientos en estudio.....	61
Cuadro 31: Control de Temperatura de los tratamientos durante el proceso de compostaje.....	63
Cuadro 32: Valores promedios del contenido de humedad en los tratamientos en estudio.....	65
Cuadro 33: Valores promedios de la CE en los tratamientos en estudio.....	65
Cuadro 34: Valores promedios del contenido de materia orgánica en los tratamientos en estudio.....	66
Cuadro 35: Valores obtenidos de la población de bacterias totales en los tratamientos en estudio.....	68
Cuadro 36: Valores obtenidos de la población de actinomicetos totales en los tratamientos en estudio.....	69
Cuadro 37: Valores obtenidos de la población de hongos totales en los tratamientos en estudio.....	70

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	PAGINAS
Fotografía 1: Medición de la Temperatura.....	37
Fotografía 2: Medición del pH.....	38
Fotografía 3: Muestras para enviar a laboratorio.....	39
Fotografía 4: Lugar para la ejecución de la investigación.....	40
Fotografía 5: Recolección del estiércol de cuy.....	41
Fotografía 6: Recolección de Hojas secas.....	41
Fotografía 7: Recolección del estiércol de vacuno.....	41
Fotografía 8: El Bio2 Prohumus.....	41
Fotografía 9: Apilado de los materiales orgánicos.....	42
Fotografía 10: Dimensión de las pilas de compostaje.....	42
Fotografía 11: Picado de los materiales orgánicos.....	44
Fotografía 12: Formación de las pilas de compostaje.....	45
Fotografía 13: Aplicación del biocatalizador natural Bio2 Prohumus.....	46
Fotografía 14: Aireación de las pilas de compostaje.....	47
Fotografía 15: Fase de maduración del compost.....	47
Fotografía 16: Cosecha del compost.....	48
Fotografía 17: Toma de muestras del compost para el análisis físico - químico.....	49
Fotografía 18: Toma de muestras del compost para el análisis microbiológico.....	50

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	PAGINAS
Gráfico 1: Esquema de los elementos que intervienen en la formación de compost.....	1
Gráfico 2: Etapas del crecimiento microbiano en función de la temperatura y pH.....	16
Gráfico 3: Distribución de las pilas de compostaje.....	43
Gráfico 4: Curva de comportamiento del pH de los tratamientos durante el proceso de compostaje.....	61
Gráfico 5: Curva de comportamiento de la Temperatura de los tratamientos durante el proceso de compostaje.....	64

RESUMEN

“UTILIZACIÓN DE BIOCATALIZADORES NATURALES EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST DE CALIDAD, APLICADO EN SUSTRATOS DE ORIGEN ANIMAL Y VEGETAL.”

Autor: David Vilca Bardales ⁽¹⁾

Asesores: Dr. José A. Mantilla Guerra ⁽²⁾, Dr. Luis A. Vallejos Fernández ⁽³⁾ y
Ing. Edinson A. Terán Medina ⁽⁴⁾

La investigación se realizó en el Centro de Producción de Genética Superior - CENPROGEN SUP - Mangallana - Condebamba - Cajabamba. El objetivo fue producir y evaluar los parámetros físico - químicos y microbiológicos del compost en donde se utilizó biocatalizadores naturales. Los datos se analizaron a través de un Diseño Completamente Randomizado con 4 tratamientos y 12 repeticiones, en donde cada repetición constituyó una pila de compostaje. La fase experimental duró un periodo de 60 días. Los resultados obtenidos, determinaron las siguientes conclusiones: Se obtuvo compost de manera técnica, con alto contenido nutricional, características físico - químicos y deseable población microbiana. No se encontraron diferencias estadísticas significativas en relación al uso del biocatalizador natural en el sustrato estiércol de cuy y bagazo de caña para el contenido de nitrógeno, fósforo, magnesio, sodio, conductividad eléctrica, contenido de humedad y materia orgánica, los valores se mostraron de manera similar. Lo mismo sucedió respecto a población microbiana, población total de bacterias, hongos y actinomicetos. Se encontró diferencias significativas con respecto al uso del biocatalizador natural Bio2 Prohumus en el sustrato estiércol de cuy para el contenido de potasio, calcio y valores promedio del pH. En términos generales, el mejor tratamiento en el presente trabajo de investigación fue el tratamiento T2, constituido por estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural, con mejores valores de contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio además del pH, contenido de humedad y conductividad eléctrica.

Palabras clave: compost, biocatalizador natural.

(1) Bachiller en Ingeniería Zootecnista - Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias - UNC

(2) Docente principal en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias - UNC

(3) Docente principal en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias - UNC

(4) Ing. Agrónomo. Alcalde de la Municipalidad Distrital de San Juan - Cajamarca

ABSTRACT

"USE OF NATURAL BIOCATALYSTS IN THE PRODUCTION OF COMPOST, APPLIED TO ANIMAL AND PLANT SUBSTRATES"

Author: David Vilca Bardales ⁽¹⁾

Advisors: Dr. José A. Guerra Mantilla ⁽²⁾, Dr. Luis A. Vallejos Fernández ⁽³⁾ and
Ing. A. Edinson Terán Medina ⁽⁴⁾

The research was conducted at the Center for Genetics Higher Production - CENPROGEN SUP - Mangallana - Condebamba - Cajabamba. The aim was to produce compost and evaluate the physical, chemical and microbiological parameters, where natural biocatalysts were used. Data were analyzed via a Fully Randomized Design with 4 treatments and 12 replications, where each repetition was a compost heap. The experimental phase lasted a period of 60 days. The results, determined the following conclusions: technically compost was obtained with high nutritional content, physical - chemical and desirable microbial population. No statistically significant differences were found related to the use of natural biocatalyst in the *Cavia cobayo* substrate and bagasse substrate for nitrogen content, phosphorus, magnesium, sodium, electrical conductivity, moisture content and organic matter, the values were similar. The same was true regarding microbial population, total population of bacteria, fungi and actinomycetes. There was found significant differences respect to the use of natural biocatalyst Bio2 Prohumus in *Cavia cobayo* substrate for the content of potassium, calcium and average pH values found. Overall, the best treatment in this research was the T2 treatment, consisting of *Cavia cobayo* manure + chip + waste green fodder + natural biocatalyst, with best values of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sodium addition pH, moisture content and electrical conductivity.

Keywords: compost, natural biocatalyst.

(1) Bachelor of Engineering Zootechny - Faculty of Engineering in Animal Sciences - UNC

(2) Senior Professor at the Faculty of Engineering in Animal Sciences - UNC

(3) Senior Professor at the Faculty of Engineering in Animal Sciences - UNC

(4) Ing. Agronomist. Mayor of the District Municipality of San Juan - Cajamarca

INTRODUCCIÓN

El compostaje es una forma de tratamiento para los residuos orgánicos, que tiene por finalidad transformar estos residuos en un producto beneficioso (compost) aplicable a la tierra como abono orgánico, con el fin de evitar la contaminación. Se utiliza frecuentemente como mejorador del suelo en la agricultura, jardinería, huerto y obra pública. La enunciación técnica de compostaje es “la descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos en condiciones controladas” (Altamirano & Cabrera, 2006).

Los factores determinantes para la formación del compost incluyen la aireación, la relación Carbono: Nitrógeno (C/N), el pH, la temperatura y la humedad. La aireación, por la falta de oxígeno, se constituye en un factor crítico limitante; mientras que, otros factores, por sus excesos o defectos, condicionan la velocidad y la calidad del subproducto final. En la conformación de las capas del compostaje, si bien se dan procesos de fermentación en determinadas etapas y bajo ciertas condiciones, lo deseable es que prevalezcan los microorganismos de tipo aerobio, tratando de minimizar los procesos fermentativos de tipo anaerobio, ya que sus productos finales, no son adecuados para su aplicación agrícola y conducen a la pérdida de nutrientes en el suelo (Jácome, 2013).

En el Valle de Condebamba existe 3500 productores asociados, dedicados a la ganadería, agricultura; fundamentalmente a la producción de cuyes, caña de azúcar y frutales (plátano, palta, mango, granadilla), donde se produce residuos orgánicos como el estiércol del cuy, bagazo de caña de azúcar, restos de cosechas y estiércol de vacuno, a los que no realizan ningún proceso para su descomposición, los cuales abonan periódicamente sus cultivos aplicándolo en forma directa. Estos materiales orgánicos pueden ser aprovechados en el proceso de obtención de compost de calidad. Para mejorar dicho proceso actualmente se utilizan biocatalizadores naturales en el proceso de compostaje que activan la diversidad microbiana benéfica y acelerar este proceso para la obtención del compost de calidad. Es por esta razón que se plantea la presente investigación con la utilización de biocatalizadores naturales aplicado a sustratos de origen animal y vegetal, en condiciones del Valle de Condebamba.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de la población ha sido acelerado en los últimos años, ha generado un aumento en la producción de residuos sólidos, registrándose un crecimiento exponencial de estos residuos con respecto al de la población, y a la vez formando un hábitat de vectores transmisores de enfermedades, causando malos olores y contaminación, por tal razón es necesario poner en marcha una propuesta de gestión de estos residuos.

En el Valle Condebamba existe 3500 productores asociados, dedicados a la agricultura, ganadería; fundamentalmente a la producción de cuyes y caña de azúcar, que producen residuos en exceso como el estiércol de cuy y bagazo de caña de azúcar, en los que no se realiza ningún tratamiento para su descomposición. Frente a estas situaciones, aparecen productos de tecnología moderna que se ofertan y promocionan a ser utilizados en la producción de compost de calidad. El Bio2 Prohumus producto alemán. En el Perú está siendo introducido pero no se tiene resultados concluyentes ni trabajos de investigación al respecto. Es el afán de probar dicho producto bajo condiciones del Valle de Condebamba y tratar de solucionar los problemas antes mencionados, se plantea el presente trabajo de investigación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema responde a la siguiente interrogante: ¿La utilización del biocatalizador natural Bio2 Prohumus permite la producción de compost de alta calidad desde el punto de vista del contenido nutricional y población microbiana?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La materia orgánica ocasiona serios problemas, si es acumulada y almacenada inadecuadamente forma un ambiente de vectores transmisores de enfermedades, causando malos olores y contaminación; por tal razón es necesario poner en marcha una propuesta de gestión de residuos.

La utilización continua de fertilizantes químicos en los cultivos hace que se detenga la actividad microbiana, perjudicando el nicho ecológico. Estos fertilizantes son utilizados, para obtener mayores producciones y aumentar la calidad de cultivo. El uso indiscriminado de estos fertilizantes sintéticos es un factor principal de la contaminación del suelo.

El presente trabajo de investigación trata sobre la producción de compost de calidad, para obtener un abono orgánico (compost), que permite mantener la fertilidad de las tierras de cultivo con mejores resultados.

Mediante el empleo del Bio₂ Prohumus en el compostaje es una alternativa para los agricultores y empresas en el tratamiento de los residuos orgánicos, que tiene por finalidad convertir estos residuos en un producto beneficioso (compost), que sirve para recuperar y/o mejorar la fertilidad de los suelos agrícolas, reducir los costos y contaminación por fertilizantes sintéticos.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo General:

- ✓ Utilización de biocatalizadores naturales para la producción de compost de calidad, aplicado en sustratos de origen animal y vegetal.

2.2. Objetivos Específicos:

- ✓ Producir compost con alto contenido nutricional y población microbiana, con la utilización del biocatalizador natural Bio2 Prohumus aplicado a los sustratos estiércol de cuy y bagazo de caña de azúcar.
- ✓ Evaluar los parámetros físico - químicos y microbiológicos del compost.

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. HIPÓTESIS

3.1.1. Hipótesis de Investigación

La utilización del biocatalizador natural “Bio2 Prohumus” aplicado al sustrato de origen animal (estiércol de cuy) y vegetal (bagazo de caña de azúcar), permite la producción de compost de calidad en el contenido nutricional y población microbiana.

3.1.2. Hipótesis Estadísticas

3.1.2.1. Hipótesis Nula (Ho):

No existen diferencias en los valores promedios de los indicadores de contenido nutricional y población microbiana entre los compost producidos con y sin la aplicación del biocatalizador natural Bio2 Prohumus.

$$H_o: \mu_1 = \mu_2$$

μ_1 : promedios de indicadores de contenido nutricional y población microbiana del compost con el uso del biocatalizador natural Bio2 Prohumus.

μ_2 : promedios de indicadores de contenido nutricional y población microbiana del compost sin el uso del biocatalizador natural Bio2 Prohumus.

3.1.2.2. Hipótesis Alternante (Ha):

Existen diferencias en los valores promedios de los indicadores del contenido nutricional y población microbiana entre los compost producidos con y sin la aplicación del biocatalizador natural Bio2 Prohumus.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

μ_1 : promedios de indicadores de contenido nutricional y población microbiana del compost con el uso del biocatalizador natural Bio2 Prohumus.

μ_2 : promedios de indicadores de contenido nutricional y población microbiana del compost sin el uso del biocatalizador natural Bio2 Prohumus.

3.2. VARIABLES

3.2.1. Variable Independiente: Uso del biocatalizador natural.

- Con biocatalizador natural
- Sin biocatalizador natural

3.2.2. Variable Dependiente: Parámetros físico - químicos y de contenido nutricional y los parámetros de población microbiana.

✓ **Parámetros físico - químicos y de contenido nutricional:**

- Aireación
- Temperatura
- Humedad
- pH
- Conductividad eléctrica
- Materia orgánica
- Nutrientes

✓ **Parámetros de población microbiana:**

- Hongos totales
- Bacterias totales
- Actinomicetos totales

CAPÍTULO IV

REVISIÓN LITERARIA

4.1. ANTECEDENTES

Chung (2003), en su tesis: “Análisis económico de la ampliación de la cobertura de manejo de residuos sólidos por medio de segregación en la fuente en Lima Cercado”, se refiere de como a lo largo de la historia, el hombre ha sido acompañado del problema de los residuos sólidos, para afrontarlo se recurre a las técnicas de minimización de residuos, las cuales constan de tres fases: prerrecolecta, recolecta y tratamiento. En cuanto a las técnicas que se utilizan tenemos: segregación en la fuente, reciclaje, incineración, compostaje y centros recolectores; todas estas son alternativas al relleno sanitario; sin embargo, es necesario la aplicación de políticas e instrumentos económicos para el desarrollo sostenible.

Moreno & Moral (2008), en su libro compostaje; menciona a Sir Albert Howard, agrónomo inglés, quien estuvo en la India entre los años 1905 y 1934, practicó por primera vez el “Método Indore”, desarrolló la técnica de compostar, para el mejoramiento de los terrenos de cultivos e incrementar la producción en la región; concluyó que los residuos animales y plantas sanas que caen en el suelo mejoran la fertilidad de éste debido al abundante humus. Aprendió de los agricultores chinos la importancia de usar todos los residuos orgánicos para fortalecer las tierras.

Facultad de Agronomía, de la Universidad de la Republica, Montevideo - Uruguay [FAGRO] (2000), un abono orgánico o compost es el producto de la transformación de residuos orgánicos en humus por restos orgánicos (bacterias, hongos, protozoarios, lombrices, etc.), la presencia de humus en el suelo cumple las siguientes funciones: provee elementos nutritivos, mejora la estructura la porosidad y retención de agua y aire en el suelo y aumenta la resistencia de las plantas a enfermedades.

Altamirano & Cabrera (2006), en su tesis: “Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual”, el compostaje es una forma de tratamiento para los residuos orgánicos, que tiene como meta transformar estos residuos en un

producto útil, aplicable a la tierra como abono que fertiliza a las tierras de cultivo. Este producto recibe el nombre de compost. La enunciación técnica de compostaje es “la descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos en condiciones controladas”.

Mendoza (2012), en su tesis: “Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura”, señala que el compost que es un abono orgánico que resulta de la degradación de los residuos orgánicos tanto vegetales como animales, transformados por la micro flora y la micro fauna del suelo en una sustancia que mejora la estructura y la estabilidad de la tierra. El compost tiene una particularidad especial respecto a los fertilizantes tradicionales, y es que sólo puede ser obtenido de una manera natural, utilizando los residuos que comúnmente botamos y ayudando a la no contaminación del medio ambiente.

4.2. EL COMPOST EN EL PERÚ

Gallardo (2013), en su tesis: “obtención de compost a partir de residuos orgánicos impermeabilizados con geomembrana”, se refiere sobre el compostaje; que esta práctica se inició en el Perú en 1940 en la estación experimental agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina, a través de experimentos empíricos con residuos de rastrojo y heces de los vacunos.

Desde 1985 se está realizando una amplia promoción del proceso de elaboración del compost, en las comunidades campesinas de la zona andina, a cargo de algunos instituciones privadas (ONG) que ejecutan proyectos de desarrollo rural integral, tales como IDEAS, EDAC en Cajamarca, IDMA en Huánuco. Además es de mencionar la enseñanza de esta técnica en escuelas rurales de Ancash, Cajamarca, Ayacucho y Celendín que vienen desarrollando la asociación evangélica LUTERANA de ayuda para el desarrollo comunal (DÍACONIA) con buenos resultados.

4.3. MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Jácome (2009), la generación de residuos domiciliarios es muy variable y está directamente relacionada con los hábitos de consumo y con el desarrollo económico

(patrones de producción); sin embargo, en términos generales, el mayor porcentaje de residuos sólidos domiciliarios lo tiene la materia orgánica.

Barrena (2006), la concentración de la población en núcleos urbanos y un aumento progresivo del nivel de vida han provocado un incremento en la generación de residuos urbanos. Ante la necesidad de buscar una solución a este problema, el compostaje ha recibido mucha atención como tecnología potencial para el tratamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos.

Roben (2002), con la utilización de plantas de compostaje, la cantidad de basura destinada para la disposición final en un relleno o botadero se puede reducir a un 50%. Este porcentaje puede variar según la composición de la basura. En caso que los desechos reciclables sean recogidos separadamente y los desechos orgánicos sean compostados, el porcentaje de la basura descargada en el relleno puede reducirse a un 35 - 40 %.

4.3.1. Origen de la materia prima

Jácome (2013), cualquier material orgánico es compostable (es decir, transformable por compostación); esto significa que de cualquier cuerpo que haya estado vivo, sus partes constitutivas y sus deyecciones son susceptibles de compostarse. Igualmente productos obtenidos de la transformación o elaboración de tales materiales, como: papel, cartón, pelos, cueros, huesos, ramas, flores y similares; desechos orgánicos de cocina y basuras orgánicas domiciliarias y municipales, así como aguas negras y sus lodos pueden transformarse por esta vía. Adicionalmente no son materiales compostables los plásticos, metales, vidrios, latas, etc., cuya estructura química no es fácilmente transformable por la vía enzimática de los seres actualmente existentes en el planeta.

Cuadro 1: Características de los materiales para el compostaje

INSUMO	MOLÉCULAS	ELEMENTOS QUE APORTA
Estiércol, vegetales verdes, plumas, contenido ruminal	Lípidos, celulosa, hemicelulosa, carbohidratos, aminoácidos, proteínas.	C,H,O,N,S,P, y Trazas de otros elementos
Aserrín, pajas, tamos, bagazo	Celulosa, hemicelulosa, lignina	C
Melaza	Carbohidratos, minerales, fosfo- azúcares	C,H,O,K y P

Fuente: López, 2006

López (2006), la materia prima debe provenir de un proceso normal de producción, es decir que la fuente de carbono: tamos, ramas, bagazo, hojas, tallos, aserrín, compuestos de (celulosa, hemicelulosa, quitina, lignina) no presente trazas de pesticidas (organoclorados, organofosforados, piretroides), ni metales pesados (mercurio, plata, cromo, plomo, etc.). El estiércol no debe provenir de animales enfermos o tratados con drogas convencionales por ejemplo: antibióticos que destruyen los microorganismos que obrarían como descomponedores.

Jácome (2011), el pelo de animales y personas, la lana y las plumas de aves pueden ser compostados. Todos estos materiales contienen altas cantidades de nitrógeno (hasta un sexto de su peso seco) por lo que son un material “verde”. Pueden tardar en compostarse (las queratinas que contienen son proteínas muy duras y resistentes) y dan un aspecto extraño a la pila por lo que hay quien prefiere no usarlos.

4.4. Abono orgánico

Dirección Regional Agraria Puno (2009), define a los abonos orgánicos como todo tipo de residuo orgánico (de plantas o animales), que después de descomponerse (podrirse), abonan los suelos con nutrientes necesarios para el

crecimiento y desarrollo de las plantas; así mismo, mejora las características físicas (textura, estructura, color) y químicas (humedad, pH) del suelo.

Mendoza (2012), en general los abonos orgánicos se clasifican en dos tipos:

- Abonos orgánicos sólidos: compost, humus de lombriz, bokashi, abonos verdes.
- Abonos orgánicos líquidos: biol, té de humus, té de compost.

4.5. El compost

Mendoza (2012), el compost es un abono orgánico que resulta de la degradación de los residuos orgánicos tanto vegetales como animales, transformados por la micro flora y la micro fauna del suelo en una sustancia que mejora la estructura y la estabilidad de la tierra. El compost tiene una particularidad especial respecto a los fertilizantes tradicionales, y es que sólo puede ser obtenido de una manera natural, utilizando los residuos que comúnmente botamos y ayudando a la no contaminación del medio ambiente.

El compost orgánico otorga muchos beneficios, debido a que es un acondicionador de suelos con características húmicas, no contiene microorganismos patógenos, por lo que puede ser manejado y almacenado sin riesgo. Es muy beneficioso para el crecimiento de las plantas, ya que sirve como fuente de materia orgánica para ayudar a la formación de humus en el suelo, y mejorar el crecimiento de los cultivos en la agricultura, dado que contiene valores apreciables de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.

4.5.1. Clasificación del compost.

Chávez (2015), los tipos de compost se pueden clasificar atendiendo a la etapa en que se encuentre el compost, esto es, dependiendo del grado de transformación que haya alcanzado durante el proceso, se pueden clasificar en frescos, maduros y curados.

4.5.1.1. Compost fresco

Chávez (2015), el material a compostar ha pasado por una fase termófila, habiendo experimentado una descomposición parcial y habiéndose eliminado los patógenos, pero aún no está estabilizado.

Al continuar con el proceso de degradación una vez añadido al suelo, no es conveniente aplicarlo directamente a los cultivos pues podría provocar reacciones adversas. Sin embargo, se logra una buena estabilización para la recuperación de suelos degradados o la preparación del suelo entre cosechas, aplicándolo a una profundidad de 5-10 cm.

4.5.1.2. Compost maduro

Chávez (2015), el material a compostar ha sufrido una fase de maduración, es el producto final de la fase de maduración y cumple los requisitos específicos sanitarios y de estabilización. Este tipo de compost se puede aplicar sobre los cultivos aunque no conviene que esté en contacto directo con el sistema radicular porque podría causar efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas.

4.5.1.3. Compost curado

Chávez (2015), el material a compostar ha sufrido un largo proceso de maduración y mineralización por lo que es un producto altamente estabilizado. Este tipo de compost se puede aplicar a los cultivos como sustrato, incluso aunque esté en contacto directo con el sistema radicular.

4.5.2. Sistemas de Compostaje

Moreno & Moral (2008), los sistemas de compostaje atendiendo a diferentes criterios tales como nivel de complejidad, grado de control del proceso o método de ventilación empleado, pueden clasificarse en sistemas abiertos y sistemas cerrados. En los sistemas de **compostaje cerrados** el proceso se realiza en unos recipientes llamados reactores, contenedores o digestores. Estos sistemas tienen la ventaja de un mayor control de las condiciones del proceso, la necesidad de un menor espacio para la construcción de sus instalaciones, los tiempos de compostaje son

relativamente más cortos y se evitan las emisiones de malos olores, pero en cambio tienen un elevado costo de inversión y mantenimiento que en muchas ocasiones los hacen inviables desde el punto de vista económico.

En los sistemas de **compostaje abiertos** los materiales a compostar se colocan en pilas/hileras, montones o mesetas y se diferencian dos tipos: dinámico y estático. En los sistemas dinámicos la aireación de la pila se realiza de forma periódica mediante volteos, requieren mayor espacio que en otros métodos, porque las pilas se voltean lateralmente. Otro aspecto a destacar es, que este sistema es menos efectivo en la inactivación de patógenos que los métodos estáticos. En los sistemas estáticos ventilados, el material a compostar se coloca sobre un conjunto de tubos perforados, conectados a un sistema que aspira o insufla aire a través de la pila. La ventilación controlada impulsa la actividad de los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje por lo que consigue una rápida transformación de los residuos de compost (4 – 8 semanas).

4.5.2.1. Sistemas de compostaje más utilizados

4.5.2.1.1. Compostaje en pilas con volteo

Barrena (2006), el material se dispone en hileras o pilas, de sección triangular, que son volteadas en repetidas ocasiones a lo largo del proceso. El volteo, que se realiza con máquinas volteadoras o con palas, oxigena el material y provoca un elevado grado de mezcla. Las dimensiones de la pila varían en función del material y del equipo de volteo. El parámetro limitante es la altura, pues si es excesiva provoca la compactación del material. Se recomienda una altura de 1,2 – 1,8m, y un ancho de 2,4 – 3,6m. La longitud de la pila solo queda limitada por las dimensiones o la distribución de la planta, ya que esta dimensión no está restringida por el proceso.

4.5.2.1.2. Compostaje en Canales

Barrena (2006), es un sistema de compostaje en continuo, donde el residuo fresco es alimentado por un extremo del canal y el producto final se obtiene por el otro extremo. El material a compostar se deposita al inicio de unos canales alargados de

sección rectangular. Estos canales disponen de un sistema de inyección de aire como las pilas estáticas. Una maquina volteadora que circula por unos railes situados en la parte superior de las paredes del canal voltea el material periódicamente, homogeneizándolo y haciéndolo avanzar a lo largo del canal. El tiempo de residencia del material en el canal es función del número de veces que pasa la maquina volteadora. La periodicidad de volteo se establece de modo que, al llegar al final del canal, se pueda dar por finalizada la etapa de descomposición.

4.5.2.1.3. Compostaje en Túneles

Barrena (2006), el material se introduce en un túnel cerrado que dispone de un sistema de aireación forzada. Las dimensiones de los túneles son variables, alrededor de 4m de altura, 5-6m de ancho y longitud variable en función de la cantidad de residuo a tratar, habitualmente 20m. La ventaja de ese tipo de sistema es que permite controlar mejor las condiciones del proceso y, al ser un sistema cerrado, el control de gases y malos olores. El inconveniente es el elevado costo de instalación. Estos sistemas se construyen preferentemente si el emplazamiento está próximo a núcleos urbanos, por el control de olores y por los menores requerimientos de espacio.

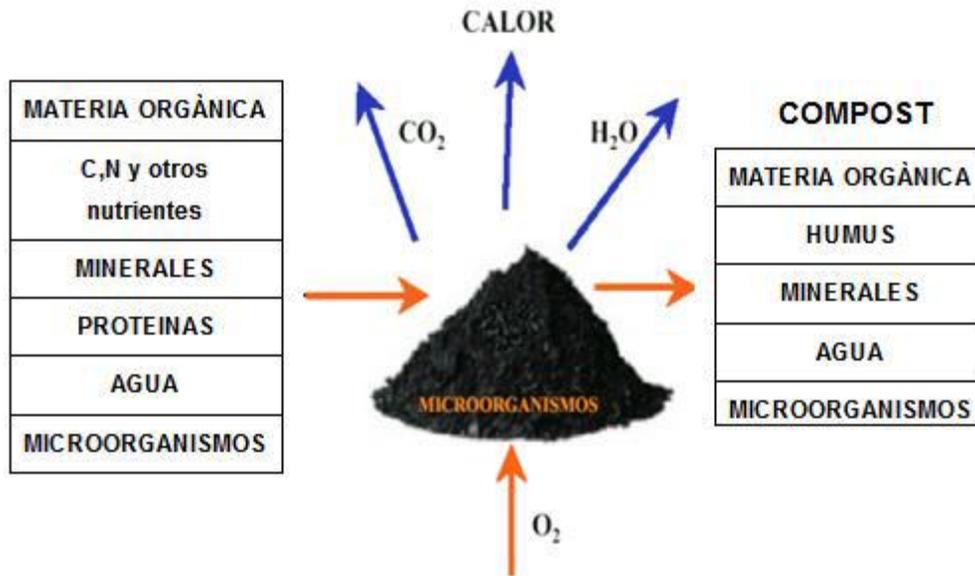
4.5.3. Proceso del compostaje

Silva, López, & Valencia (2006), el compostaje es un proceso mediante el cual diversos sustratos orgánicos se descomponen y estabilizan debido a la acción de una población mixta de microorganismos, obteniéndose un producto final denominado compost, orgánicamente estable, libre de patógenos y semillas de malezas que puede ser aplicado de manera eficiente al suelo para mejorar sus propiedades.

Gallardo (2013), el compostaje se puede definir como un proceso biológico que transforma la materia orgánica en humus (abono orgánico, debido a la actividad de los microorganismos que se desarrollan espontáneamente). Los principales organismos implicados en la transformación biológica aeróbica de los residuos orgánicos son las bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos. Este proceso

permite obtener un producto rico en materiales humificables, sales minerales y microorganismos beneficiosos para mejorar la estructura de los suelos y vida de las plantas.

Gráfico 1: Esquema de los elementos que intervienen en la formación de compost



Fuente: Jácome, 2013

4.5.4. Fases del compostaje

Chávez (2015); durante el proceso de compostaje, las actividades combinadas de microorganismos hace que se puedan dividir en 4 fases o etapas dependiendo de la temperatura: mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración

4.5.4.1. Fase mesófila.

Bonifaz (2012), Comprende temperaturas por debajo de los 40°C. En esta fase, la flora microbiana se activa y se inicia la degradación de la materia orgánica, posteriormente disminuye el pH, dando paso al desarrollo de otras especies. Es una fase completamente aeróbica, con humedad del 70 – 72%, y temperatura entre 25 - 35°C; que dura 7 – 14 días, los hongos que predominan en esta etapa son: *Penicillium spp.*, *Absidia glauca*, *Verticillium tenerum*, *Nectria inventa* y *Trichoderma spp.* La descomposición libera la energía contenida en los compuestos orgánicos.

Una parte de esta energía es ocupada por los microorganismos para su metabolismo, otra parte se transforma en calor.

Silva, López & Valencia (2006), Durante este período se descomponen compuestos como azúcares, almidones y grasas.

4.5.4.2. Fase termófila

Silva, López & Valencia (2006), Cuando la temperatura alcanza los 60°C, se presenta la etapa termófila, en ella la actividad de los hongos cesa y la descomposición es llevada a cabo por los actinomicetos y las cepas de bacterias que forman esporas. En esta etapa se degradan ceras, proteínas, hemicelulosa, algo de lignina y celulosa.

Bonifaz (2012), Las altas temperaturas ayudan a destruir la mayoría de patógenos, pero las bacterias y hongos benéficos pueden soportarlas, el CO₂ producido en grandes volúmenes, se difunden desde el núcleo a la corteza, resultando letal para larvas de insectos. Se registra un incremento de pH del 7,5; debido a la liberación de bases de los materiales orgánicos y a la producción de amoníaco.

4.5.4.3. Fase de enfriamiento

Villarroel (2011), Con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40°C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación tales como la celulosa y lignina.

Jácome (2009), En esta etapa incrementa la fracción mineral y los nitratos disponibles para las plantas y se reduce el porcentaje de carbono, se aumenta la cantidad de actinomicetos responsables del olor a tierra fresca.

Bonifaz (2012), indica que durante esta fase se concentran sustancias húmicas. El pH desciende por debajo del neutro (pH = 5-5,7), como consecuencia de la liberación de ácidos orgánicos en la fermentación y por la presencia de bacterias

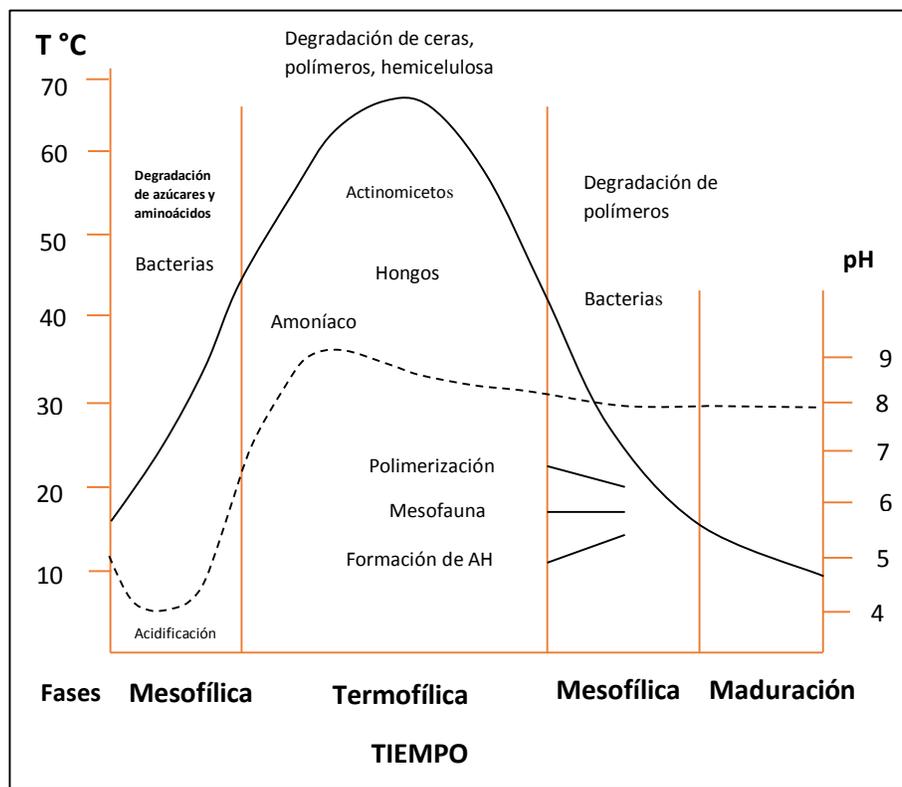
acidogénicas. Posteriormente el pH se eleva cercano a neutro (pH = 7-7,5), debido al poder amortiguador de las sustancias húmicas.

4.5.4.4. Fase de maduración

FAO (2013), es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

Chávez (2015), Durante esta fase predomina los actinomicetos que intervienen en la formación de ácidos húmicos y son productores de antibióticos que inhiben el crecimiento de bacterias y patógenos. Además aparecen otros organismos como nemátodos o lombrices que al remover los materiales exponen nuevas superficies para que los microorganismos puedan colonizarlas y seguir con el proceso de maduración. Una vez finalizado el proceso quedará un producto estable o maduro en el que la descomposición microbiana es casi inexistente o se hace de forma muy lenta.

Gráfico 2: Etapas del crecimiento microbiano en función de la temperatura y pH



Fuente: Jácome, 2013

4.5.5. Parámetros del proceso de compostaje

Jácome (2013), partiendo de la base que en un proceso de compostaje los responsables de la transformación son los microorganismos, todos aquellos factores que pueden limitar su desarrollo serán limitantes también del propio proceso. Para conseguir que esta transformación se realice en condiciones controladas (aeróbicas y termófilas) hace falta una serie de requisitos, que no son otros que los que necesitan los microorganismos para desarrollarse. Estos parámetros deben ser controlados durante todo el proceso debido a que son aquellos que afectan directamente a la acción de los microorganismos, quienes son los encargados de llevar a cabo el compostado con éxito. Entre los parámetros más importantes tenemos: temperatura, aireación, humedad, pH y relación Carbono/Nitrógeno (C/N).

4.5.5.1. Parámetros físicos

4.5.5.1.1. Temperatura

Jácome (2013), es una condición determinante en el proceso de fabricación de abonos orgánicos porque una temperatura muy baja no alcanza a destruir huevos de insectos, los hongos, bacterias y semillas, y una temperatura muy alta puede desnaturalizar las proteínas y las enzimas necesarias para que los microorganismos termófilos actúen. La temperatura ideal durante las primeras etapas de fermentación no debe exceder los 60°C a 70°C en la cual actúan los actinomicetos y bacterias termófilas descomponiendo celulosa y materiales ricos en carbono; y debe ir descendiendo gradualmente permitiendo la aparición de otros microorganismos descomponedores que la llevarán hasta el proceso de mineralización donde se debe encontrar la temperatura ambiente del lugar.

Chávez (2015), los restos orgánicos de animales y plantas se descomponen por la acción de los microorganismos que utilizan los azúcares, los hidratos de carbono y las proteínas de rápida asimilación. Debido a estas reacciones y a la cantidad de materia orgánica apilada, es mayor el calor que se genera que el que se pierde y por lo tanto la temperatura de la masa en compostaje aumenta.

Moreno & Moral (2008), la evolución de la temperatura representa muy bien el proceso de compostaje, pues se ha comprobado que pequeñas variaciones de temperatura afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios de la humedad, pH o C/N. Por la evolución de la temperatura se puede juzgar la eficiencia y el grado de estabilización a que ha llegado el proceso, ya que existe una relación directa entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica. **FAO (2013)**, se observan cuatro fases en el proceso de descomposición aeróbica: fase mesófila ($T < 45^{\circ}\text{C}$), al final de la cual se producen ácidos orgánicos; fase termófila ($T > 45^{\circ}\text{C}$); la fase de enfriamiento, la temperatura desciende (hasta 45°C) y la fase de maduración considerándose finalizado el proceso cuando se alcanza de nuevo la temperatura inicial. **Moreno & Moral (2008)**, cada especie de microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptima en el que su actividad es mayor y más efectiva: $15\text{-}40^{\circ}\text{C}$ para los microorganismos mesófilos y $40\text{-}70^{\circ}\text{C}$ para los termófilos. La variación de la temperatura de la pila de compostaje dependerá de la adecuación de los demás factores a los intervalos óptimos, del tamaño de la pila (el calor generado es proporcional al volumen o masa de la pila, pero la pérdida es proporcional a la superficie), de las condiciones ambientales y del tipo de adición de aire a la pila, ya sea con volteos o con aire a presión.

4.5.5.1.2. Aireación

APROLAB (2007), el objetivo de la aireación durante el proceso de compostaje es suministrar oxígeno para la degradación microbiana, controlar la temperatura y eliminar la humedad de la materia orgánica. Cuando existe una mala aireación en las pilas de compostaje, se producen condiciones favorables para el inicio de fermentaciones anaeróbicas (degradación por la vía de putrefacción) esta situación se diagnostica por la aparición de olores nauseabundos, o fuerte olor a amoníaco.

FAO (2013), así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica. La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por

evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H₂S) o metano (CH₄) en exceso. El volteo (aireación), normalmente, se hace un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones climáticas y de la humedad y aspecto del material que se está compostando. Se debe hacer un control de aspecto visual, olor y temperatura para decidir cuándo hacer el volteo.

4.5.5.1.3. Humedad

Jácome (2013), el contenido de humedad del material a compostar es muy importante ya que los microorganismos solo pueden utilizar las moléculas orgánicas si están disueltas en agua. Además, el agua favorece la migración y la colonización microbiana.

FAO (2013), La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material. El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base.

Mendoza (2012), el equilibrio ideal de la humedad generalmente se encuentra en el rango de 50% y 60%, dependiendo de los materiales y el método de compostaje, los contenidos de humedad de 40% a 70% son tolerables; niveles de humedad superiores a 70% harían que los espacios entre las partículas del material se saturen de agua, impidiendo el movimiento del aire dentro de la pila, en consecuencia, el proceso pasaría a ser anaeróbico, eso significa que los microorganismos no tendrían oxígeno, morirían y los microbios que aparecerán por

la ausencia de oxígeno tomarían el control. Este hecho puede provocar la aparición de malos olores, la generación de lixiviados y la pérdida de nutrientes.

4.5.5.2. Parámetros químicos

4.5.5.2.1. pH

FAO (2013), el pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoniaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro.

Silva, López, & Valencia (2006), el valor del pH óptimo para el compostaje esta entre 6.5 y 8.0. Si el grado de descomposición no es adecuado, el pH puede caer a valores entre 4 - 5, retrasándose el proceso.

Rocha (2009), valores de pH inferiores a 5,5 (ácidos) y alcalinos superiores a 9,5 inhiben el crecimiento de la gran mayoría de microorganismos, en este último valor se precipita nutrientes esenciales del medio que no son asequibles para los microorganismos.

Jaramillo & Zapata (2008), las bacterias prefieren un medio casi neutro, mientras los hongos se desarrollan mejor en un medio ligeramente ácido. El valor del pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento llegando a un valor de 6 a 7 en el compost maduro.

4.5.5.2.2. Materia orgánica

Chávez (2015), a lo largo del compostaje el contenido en materia orgánica total (MOT) debe ir disminuyendo, en más o menos proporción, en función del desarrollo del proceso pero también del tipo de material orgánico y de su degradabilidad. El compost u otros materiales orgánicos con pretensión de ser aplicados al suelo deben presentar contenidos destacables de materia orgánica (se aconseja superiores a 40% sms) pero, paralelamente un elevado porcentaje de ésta debe ser resistente a la descomposición biológica.

Mendoza (2012), la eficiencia en la degradación de la materia orgánica en el proceso de compostaje depende directamente de cómo se encuentran las comunidades microbianas al inicio del proceso. A través de diferentes tipos de enzimas hidrolíticas, los microorganismos desempeñan la degradación de los materiales orgánicos. Diversas de estas enzimas son las que controlan finalmente gran parte de la velocidad a la que los sustratos orgánicos son degradados. Las enzimas más importantes que intervienen en el proceso de compostaje son: las celulasas, despolimerasa celulasa, B-glucosidasa que hidroliza glucósidos, ureasa que participan en la mineralización del nitrógeno, fosfatasa y arylsulfatasa que eliminan los grupos de fosfato y de los sulfatos de los compuestos orgánicos.

4.5.5.2.3. Conductividad eléctrica (CE)

Moreno & Moral (2008), la conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formado durante el proceso.

Chávez (2015), la salinidad de un compost puede variar ampliamente en función de los materiales originales empleados en el proceso y puede alcanzar valores de en torno a $10 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. La CE se debe controlar durante el compostaje y sobre todo en el producto final lo deseable es que se encuentre en un intervalo comprendido entre $1.500 - 2.000 \text{ mS/cm}$.

4.5.5.2.4. Relación Carbono/Nitrógeno

Rodríguez & Córdova (2006), el carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales para la nutrición de cualquier organismo vivo, y deben encontrarse en proporciones adecuadas para un buen compostaje. Los microorganismos de una composta utilizan el carbono para conseguir energía, y el nitrógeno para la síntesis de proteínas, los valores ideales de esta relación C/N para un buen compostaje se encuentran entre 25 y 35 (25 - 35 partes de C por 1 de N). Si el material de partida contiene demasiado carbono la relación será muy alta y el proceso será lento, las temperaturas no subirán suficientemente y se perderá el exceso de carbono en

forma de dióxido de carbono. Si, por el contrario el material contiene demasiado nitrógeno, la relación es baja y se producirá pérdida de este elemento en forma de amoníaco (NH₃). Al finalizar el proceso de compostaje la relación C/N ira disminuyendo hasta alcanzar un valor entre 12 y 8 en el producto final

Cuadro 2: Relación Carbono/Nitrógeno de los materiales orgánicos

Nivel alto de nitrógeno 1:1 – 24:1		C:N equilibrado 25:1 – 40:1		Nivel alto de carbono 41:1 – 1000:1	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5	Estiércol vacuno	25 : 1	Hierba recién cortada	43 : 1
Gallinaza pura	7 : 1	Hojas de frijol	27 : 1	Hojas de árbol	47 : 1
Estiércol porcino	10 : 1	Crotalaria	27 : 1	Paja de caña de azúcar	49 : 1
Desperdicios de cocina	14 : 1	Pulpa de café	29 : 1	Basura urbana fresca	61 : 1
Gallinaza camada	18 : 1	Estiércol ovino/caprino	32 : 1	Cascarilla de arroz	66 : 1
		Hojas de plátano	32 : 1	Paja de arroz	77 : 1
		Restos de hortalizas	37 : 1	Hierba seca (gramíneas)	81 : 1
		Hojas de café	38 : 1	Bagazo de caña de azúcar	104 : 1
		Restos de poda	44 : 1	Mazorca de maíz	117 : 1
				Paja de maíz	312 : 1
				Aserrín	638 : 1

Fuente: FAO, 2013

4.5.5.3. Composición química del compost.

Jácome (2013), en el cuadro 3 figuran los 13 elementos químicos que las plantas necesitan tomar del suelo para poder vivir, su clasificación en función de la abundancia relativa en la composición vegetal y la proporción media aproximada de cada elemento dentro del conjunto.

Cuadro 3: Composición química del compost

MACRONUTRIENTES				MICRONUTRIENTES	
PRIMARIOS		SECUNDARIOS		Fe, Zn, Cu, Mn, B, Cl La suma de todos ellos se supone el 1% de la composición química de las plantas	
N	2.0%	Ca	1.3%		
P	0.4%	Mg	0.4%		
K	2.5%	S	0.4%		

Fuente: (Jácome, 2013).

FAO (2013), el compost contiene elementos fertilizantes para las plantas, aunque en forma orgánica y en menor proporción que los fertilizantes minerales de síntesis. Una de las mayores ventajas del uso de compost como aporte de materia orgánica es que en él se encuentran presentes nutrientes tanto disponibles como de lenta liberación, útiles para la nutrición de las plantas. Por otra parte, el compost presenta un alto contenido de materia orgánica con las ventajas que ello conlleva.

Los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta provienen del aire, del agua y del suelo, siendo la solución del suelo el medio de transporte de los nutrientes. El contenido en nutrientes del compost tiene una gran variabilidad, ya que depende de los materiales de origen.

Cuadro 4: Contenido de N, P, K en el compost

Nutriente	% en compost
Nitrógeno	0.3% – 1.5% (3g a 15g por Kg de compost)
Fósforo	0.1% – 1.0% (1g a 10g por Kg de compost)
Potasio	0.3% – 1.0% (3g a 10g por Kg de compost)

Fuente: (FAO, 2013)

Altamirano & Cabrera (2006), estableció la comparación de dos tipos de compost de elaboración manual en poza, uno con restos orgánicos y estiércol y el otro con rastrojo y estiércol. En la poza 1 utilizo restos vegetales (restos de cocina), rastrojos, excremento de animal (estiércol seco de vaca), minerales (agua, ceniza), en un tiempo de proceso fue de 3 meses y una semana; en la poza 2 utilizo restos vegetales: rastrojos (gras, lantana, hierba luisa, cucarda), aserrín, excremento de animal (estiércol seco de cuy) y minerales (agua, ceniza); en un tiempo de proceso de 4 meses y 2 semanas. A partir de este experimento se darán los resultados comparativos, desde la elaboración del compost, las características físicas, químicas y finalmente, la calidad del compost en sus principales constituyentes.

Cuadro 5: Resultados de las muestras de compost de la poza 1 y poza 2.

	Poza 1 (P1)	Poza 2 (P2)
pH	7,10	6,90
C.E. dS/m	21,10	16,83
M.O. %	14,90	23,10
N %	0,64	1,09
P ₂ O ₅ %	0,57	0,98
K ₂ O %	1,80	1,57
CaO %	4,05	5,09
MgO %	1,56	1,69
Hd %	26,34	35,74
Na %	0,40	0,25

Fuente: Altamirano & Cabrera ,2006

Mendoza (2012), evaluó los parámetros físicos y químicos en 4 tratamientos (T0 testigo, T1, T2 y T3), utilizando como materiales orgánicos para compostar como son: residuos de jardín, hojarasca de algarrobo, ramillas de algarrobo, y estiércol de vacuno, además aplico Microorganismos Eficaces (EM-Compost), a los tratamientos T1, T2 y T3; la cantidad que aplico a cada tratamiento fue T1 (0.5 litros), T2 (1litros), T3 (1.5 litros); con la finalidad de determinar cuál de estos sería el más óptimo, al adicionarle los microorganismos eficaces que contiene el EM-compost, y evaluar la eficiencia de cada uno respecto a la cantidad de material degradado en el tiempo que se llevó a cabo el proceso de compostaje.

Los análisis realizados para determinar los parámetros físicos y químicos se llevaron a cabo tal cual se estableció (cronograma establecido para la toma de muestras), considerando que se realizaron cuatro muestreos durante los 54 días que duró todo el proceso de compostaje. Los resultados obtenidos de los análisis realizados, considerando que la temperatura se realizó de manera inter diaria y dos veces al día (mañana y tarde). A continuación se muestra los resultados de los parámetros físicos y químicos evaluados.

Cuadro 6: Determinación de Nitrógeno total

Tratamientos	Toma de muestras (días)			
	8	21	36	54
Tratamiento 0	1,79	1,51	1,39	1,19
Tratamiento 1	1,66	1,54	1,32	1,05
Tratamiento 2	1,81	1,59	1,41	1,33
Tratamiento 3	1,68	1,73	1,29	1,23

Fuente: Mendoza, 2012

Cuadro 7: Determinación de Materia orgánica

Tratamientos	Toma de muestras (días)			
	8	21	36	54
Tratamiento 0	85,49	78,49	69,71	66,57
Tratamiento 1	88,72	74,71	65,52	61,92
Tratamiento 2	87,21	77,91	63,55	56,92
Tratamiento 3	92,21	76,45	64,75	59,01

Fuente: Mendoza, 2012

Cuadro 8: Determinación del pH

Tratamientos	Toma de muestras (días)			
	8	21	36	54
Tratamiento 0	8,2	7,8	7,91	7,8
Tratamiento 1	8,3	8,25	7,83	7,43
Tratamiento 2	8,21	8,14	7,69	7,39
Tratamiento 3	8,09	8,26	7,86	7,7

Fuente: Mendoza, 2012

Cuadro 9: Determinación de humedad.

Tratamientos	Toma de muestras (días)			
	8	21	36	54
Tratamiento 0	59,57	56,9	63,68	44,4
Tratamiento 1	59,61	54,85	48,91	39,94
Tratamiento 2	53,57	60,41	56,73	43,17
Tratamiento 3	56,38	55,06	55,72	41,36

Fuente: Mendoza, 2012

Cuadro 10: Medición de la Temperatura en los tratamientos

Temperatura (C°)					
Días de compostaje		T0	T1	T2	T3
Día 0	Mañana	30	29	31	31
	Tarde	29	29	29	29
Día 9	Mañana	62,3	60,6	62	63,3
	Tarde	60	60,3	59,6	56,6
Día 14	Mañana	42,6	41,3	40	46,3
	Tarde	40,6	40,6	39,3	45
Día 23	Mañana	38,6	36,6	39,6	36,6
	Tarde	36,3	36	38,3	36,6
Día 33	Mañana	35,3	33,5	33	35,3
	Tarde	33,3	32,6	32,6	33,6
Día 42	Mañana	30	29,6	28,3	29,6
	Tarde	29,6	29,3	27,3	29
Día 54	Mañana	28	27,6	27	27,6
	Tarde	27,3	27,3	26,6	27

Fuente: Mendoza, 2012

4.5.5.4. Parámetros microbiológicos

Mendoza (2012), El compostaje es un proceso en el que intervienen microorganismos que atacan a los residuos orgánicos. El 95% de estos microorganismos lo conforman las bacterias y los hongos, que son los responsables de la actividad microbiológica para descomponer los materiales, seguidos de los actinomicetos y los protozoos.

Durante el proceso pueden ocurrir cambios significativos tanto cualitativa como cuantitativamente en la microflora activa. Algunas especies de microorganismos se pueden multiplicar rápidamente y luego empiezan a desaparecer por la muerte de estos, para dar paso al crecimiento de otras poblaciones de microorganismos, esto es debido a algunos factores tanto físico como químicamente, tales como: el contenido de la humedad, la disponibilidad de oxígeno, la variación del pH y la temperatura.

Se afirma entonces, que los microorganismos que participan en el proceso de compostaje son organismos heterótrofos, es decir, obtienen carbono y nitrógeno de la materia orgánica presente en los materiales que han sido utilizados al inicio del proceso.

4.5.5.4.1. Población total de bacterias

Mendoza (2012), las bacterias que están presentes en el proceso de compostaje tiene mucha mayor predominancia en la actividad microbiológica que los hongos, por lo que la población total de las bacterias depende directamente del tipo de material que se ha empleado inicialmente, y de las condiciones ambientales del lugar del compostaje. Estas bacterias presentes generalmente suelen ser aerobias y se pueden clasificar de acuerdo a la temperatura en que se desarrollan, por ejemplo, para temperaturas entre 20 °C y 40 °C son mesofílicas, y para temperaturas entre 40 °C y 75 °C son termofílicas.

En conclusión, la población total de las bacterias se encarga de la descomposición de las proteínas, lípidos y las grasas a temperaturas termofílicas, además de toda la energía calorífica que hace que la temperatura se incremente en el material para el compostaje.

4.5.5.4.2. Población total de hongos

Mendoza (2012), los hongos tienen mucha importancia en la degradación de la materia orgánica, sobre todo de la celulosa, que es una de las partes más resistentes de la materia orgánica, representando el 60% de su masa total. Los hongos se destruyen mayormente cuando la temperatura está a 55 °C, por lo que algunos pueden permanecer en estado de latencia, reactivándose en la etapa de enfriamiento del compost.

4.5.5.4.3. Población total de actinomicetos

APROLAB (2007), la estructura de los Actinomicetos, intermedia entre la de las bacterias y hongos, produce sustancias antimicrobianas a partir de los aminoácidos y azúcares producidos por las bacterias fotosintéticas y por la materia orgánica. Esas sustancias antimicrobianas (antibióticos) suprimen hongos dañinos y bacterias patógenas. Los Actinomicetos pueden coexistir con la bacteria fotosintética. Así, ambas especies mejoran la calidad de los suelos a través del incremento de la actividad microbiana.

Álvarez (2009), en la cuadro 11; nos muestra los valores de los índices de calidad microbiológica del compost, estos rangos nos proporcionan un aproximado de entre qué valores pueden estar presentes las poblaciones de microorganismos en el compost para su aplicación tanto en suelos como en plantas.

Cuadro 11: Índices de calidad microbiológica del compost

Grupos funcionales	UFC / g de compost
Bacterias totales	5×10^{10}
Hongos totales	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^7$
Actinomicetos totales	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^8$

Fuente: Álvarez, 2009

Según el **Laboratorio de Microbiología de suelos, Facultad de Agronomía de la UNALM (ensayos 2012)**, en el cuadro 12 nos muestra los valores de calidad del suelo en base a bioindicadores de calidad y sus valores promedios de las poblaciones de microorganismos en el compost para su aplicación tanto en suelos como en plantas.

Cuadro 12: Calidad del suelo en base a bioindicadores y sus valores promedio

BIOINDICADOR	MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
Bacterias Totales y/o Actinomicetos Totales (UFC/g)	> 100 000	100 000 - 500.000	500 000 - 2'000 000	2'000 000 - 10'000 000	10'000 000
Hongos Totales (UFC/g)	< 5000	5000 - 10 000	10 000 - 30 000	30 000 - 100 000	> 100 000

Fuente: Laboratorio de Microbiología de Suelos, Facultad de Agronomía, UNALM (ensayos 2012)

Mendoza (2012), evaluó los parámetros microbiológicos que se llevaron a cabo según el cronograma establecido para la toma de muestras. Se realizaron un total de siete muestreos durante los 54 días que duró todo el proceso de compostaje. A continuación se muestra en los cuadros.

Cuadro 13: Determinación de la población total de bacterias

Tratamientos	Toma de muestras (días)						
	8	15	21	29	36	43	54
Tratamiento 0	$4,9 \times 10^8$	$9,1 \times 10^8$	$3,2 \times 10^8$	$1,5 \times 10^8$	$6,1 \times 10^7$	$6,8 \times 10^7$	$4,1 \times 10^7$
Tratamiento 1	$6,1 \times 10^8$	$3,9 \times 10^8$	$6,7 \times 10^8$	$1,7 \times 10^8$	$7,5 \times 10^7$	$6,8 \times 10^6$	$6,8 \times 10^7$
Tratamiento 2	$8,6 \times 10^8$	$2,2 \times 10^8$	$3,9 \times 10^8$	$3,7 \times 10^8$	$4,1 \times 10^7$	$6,9 \times 10^7$	$3,0 \times 10^7$
Tratamiento 3	$6,2 \times 10^8$	$1,5 \times 10^8$	$1,2 \times 10^8$	$5,3 \times 10^8$	$1,8 \times 10^7$	$4,1 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$

Fuente: Mendoza, 2012

Cuadro 14: Determinación de la población total de hongos

Tratamientos	Toma de muestras (días)						
	8	15	21	29	36	43	54
Tratamiento 0	$1,2 \times 10^5$	$5,2 \times 10^5$	$3,2 \times 10^4$	$3,7 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$
Tratamiento 1	$4,4 \times 10^4$	$7,4 \times 10^4$	$1,7 \times 10^6$	$5,9 \times 10^4$	$2,5 \times 10^5$	$6,4 \times 10^4$	$9,0 \times 10^4$
Tratamiento 2	$4,0 \times 10^4$	$7,2 \times 10^4$	$2,4 \times 10^6$	$8,0 \times 10^4$	$7,4 \times 10^4$	$7,1 \times 10^4$	$6,0 \times 10^4$
Tratamiento 3	$2,7 \times 10^4$	$4,9 \times 10^4$	$1,5 \times 10^6$	$5,4 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$8,4 \times 10^4$	$5,7 \times 10^4$

Fuente: Mendoza, 2012

4.5.6. Beneficios del Compost.

APROLAB (2007), el compost presenta los siguientes beneficios:

- **Mejora las propiedades físicas del suelo:** La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.
- **Mejora las propiedades químicas del suelo:** Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.
- **Mejora la actividad biológica del suelo:** Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.
- La población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo.

4.5.7. Forma y dosis de aplicación del Compost.

FAO (2013), el compost se puede aplicar semimaduro (en fase mesófila II) o ya maduro. El compost semimaduro tiene una elevada actividad biológica y el porcentaje de nutrientes fácilmente asimilables por las plantas es mayor que en el compost maduro. Por otro lado, al tener un pH no estable aún (tendiendo a la acidez), puede afectar negativamente a la germinación, por lo que este compost no se usa para germinar semillas, ni en plantas delicadas. La aplicación en horticultura del compost semimaduro es normalmente una aplicación de primavera de 4 - 5 kg/m² en el terreno previamente labrado (coliflor, apio, papa). En cultivos extensivos, la aplicación es de 7 - 10 T/ha de compost. El compost maduro se usa en gran medida para plántulas, jardineras y macetas. Se suele mezclar (20% - 50%) con tierra y otros materiales como turba y cascarilla de arroz como preparación de sustrato.

Jácome (2013), indica la cantidad de compost que debe aplicarse en el terreno según el contenido de materia orgánica que ese posea.

Cuadro 15: Dosis para aplicar compost según el contenido de materia orgánica en el suelo

Contenido de Materia Orgánica (%) en el terreno	Cantidad de compost a aplicar (Ton/ha/año)
2 a 3	> a 3
3,1 a 5	2 a 3
> a 5,1	1

Fuente: Jácome, 2013

4.6. El Biocatalizador natural Bio2 Prohumus

Bio2 Cultivos Inteligentes (2015), el concepto del Bio2 Prohumus, según Hydro2 es un biocatalizador natural que promueve la producción de compuestos húmicos de alta calidad, mediante el aprovechamiento de la materia orgánica de desecho y la activación de la vida microbiana benéfica.

- ✓ **Optimiza el proceso de compostaje.** Agiliza y facilita el manejo y tratamiento de residuos, mediante la fácil gestión del compostaje.

- ✓ **Acelera la descomposición** de materia vegetal en camas al suelo, como el Mulch, Rastrojo, etc. y facilita su sana integración al suelo.
- ✓ **En establos o granjas apoya el aprovechamiento y gestión limpia del estiércol como abono orgánico:** Reducción de malos olores y la presencia de moscas en las granjas o establos, previniendo enfermedades en los animales.

4.6.1. Beneficios generales:

- Genere su propio humus de alta calidad, mediante el aprovechamiento de materia orgánica de desecho.
- Ahorro de energía y mano de obra, mayor respeto del medio ambiente.
- Mejora el aprovechamiento de los fertilizantes.
- Reduce costos.
- Amplia la capacidad de aprovechamiento de abonos orgánicos.
- Ahorro de costos en fertilizantes, debido a su menor dosificación.
- Disminuye volumen de desechos
- Evita malos olores.

4.6.2. Usos y efectos

4.6.2.1. Bio2 Prohumus en composta, lombricomposta, Bocashi, etc., para la obtención de un abono fertilizante en menor tiempo y con mayor calidad.

- La composta enriquecida con microorganismos que permiten alta digestión de fibras de celulosa y lignina.

4.6.2.2. Bio2 Prohumus en la preparación de terrenos agrícolas y acelerada descomposición de materia vegetal en camas.

- Adiciona compuesto que estimulan el ambiente aeróbico y crecimiento activo de los microorganismos.
- Acelera y equilibra la temperatura durante la fase termófila para la máxima esterilización.

4.6.2.3. Bio2 Prohumus en establos o granjas apoya el aprovechamiento y gestión limpia del estiércol como abono orgánico.

- Licua el estiércol.
- Disuelve capas secas en canales y tanques.
- No es necesario el uso de medios mecánicos.
- Mejora el valor del abono fértil debido a la eliminación de amoníaco.
- Evite la “quema” de los cultivos (hojas) cuando el estiércol se pulveriza sobre los campos.
- Abono fértil sin olor desagradable.
- Aumenta la cosecha y el rendimiento en el cultivo.
- Ecológico, económico y fiable.

4.6.3. Contenido del Bio2 Prohumus

En cuadro 16 se muestra el contenido de ingredientes del Bio2 Prohumus, y son los siguientes:

Cuadro 16: Ingredientes del Bio2 Prohumus

Ingredientes		%
Carbonato de Calcio (CaCO_3)		90
Elementos Traza	Sulfato de Potasio (K_2SO_4)	10
	Sulfato de Calcio (CaSO_4)	
	Cloruro de Potasio (KCl)	
	Cloruro de Sodio (NaCl)	

Fuente: Bio2 Cultivos Inteligentes, 2015

4.7. El estiércol de cuy

Chirinos, O. y Muro, K (2008), El estiércol se puede aprovechar por su contenido en minerales y porcentaje de humedad. La diferencia con otras especies aparece en el cuadro 17. De acuerdo con el INIA, el estiércol de cuy concentra mayor cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio, componentes que son los que mayormente utilizan las plantas. Su bajo nivel de humedad lo hace más duradero.

Cuadro 17. Características de estiércol por tipo de animal

Especie	% Humedad	% Nitrógeno	% Fosforo	% Potasio
Cuy	30	1,90	0.80	0.90
Caballo	59	0.70	0.25	0.77
Vacuno	79	0.78	0.23	0.62
Ave	55	1.00	0.80	0.39
Cerdo	74	0.49	0.34	0.47

Fuente: Chirinos, O.; Muro, K (2008)

4.8. El Bagazo de caña de azúcar

Ramírez, M. (2008), Es un residuo orgánico que se obtiene del prensado de la caña de azúcar y constituye un subproducto de esta producción que se usa como fuente de energía.

Es un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña **(EcuRed)**.

4.8.1. Composición

Cuando el bagazo sale del molino posee aproximadamente la siguiente composición química que se muestra a continuación en el cuadro (EcuRed).

Cuadro 18: Composición química del bagazo de caña de azúcar

Composición	%
Humedad	50
Solidos solubles	5
Solidos insolubles o fibra cruda	45
Carbono	47
Hidrogeno	6.5
Oxigeno	44
Cenizas	2.5

Fuente: EcuRed

4.8.2. Constitución

En el cuadro 19 se muestra la constitución del bagazo de caña de azúcar (EcuRed).

Cuadro 19: Constitución del bagazo de caña de azúcar

Constitución	%
Holocelulosa	75
Celulosa	50
Celulosa Alfa	37
Celulosas Beta y Ganma	13
Hemicelulosa	25
Lignina	20
Otros componentes	5

Fuente: EcuRed

4.8.3. Estructura

El bagazo consta de dos partes fundamentales:

- **La fibra:** Fibras relativamente largas, derivadas principalmente de la corteza y otros haces de fibra del interior del tallo. La longitud media de las fibras del bagazo es de 1 a 4 milímetros y su ancho varía entre 0.01 y 0.04 milímetros.
- **El meollo:** Se deriva del parénquima, parte de la planta donde se almacena el jugo que contiene el azúcar.

4.8.4. Utilización

- El bagazo es una materia prima óptima y anualmente renovable para la producción de tableros aglomerados, papel, cartón, derivados de celulosa, productos químicos como el furfural o el xylitol.
- El bagazo se usa fundamental como combustible.
- También se utiliza para la fabricación de muebles y como aislante del sonido.
- Papel estucado y producción de papel (EcuRed).

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA, TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN Y MATERIALES

5.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La etapa experimental de la investigación se realizó en el Caserío Mangallana, Distrito de Condebamba, localizado en la Provincia de Cajabamba, Departamento de Cajamarca, cuyos datos de topografía y clima son los siguientes:

- Altitud : 2025 m.s.n.m.
- Humedad relativa anual : 70 – 80%
- Temperatura promedio anual : 16 – 18°C

*Fuente: SENAMHI – Cajamarca, 2015

5.2. TIPO DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación fue de carácter:

- Experimental
- Aplicativo

5.3. DISEÑO ESTADÍSTICO

5.3.1. Tipo de diseño

Se aplicó un **Diseño Completamente al Azar (DCA)** con 4 tratamientos y 3 repeticiones.

5.3.2. Tratamientos de estudio

Los tratamientos en estudio se indican a continuación:

Cuadro 20: Tratamientos de estudio

Tratamientos de estudio	Clave
Tratamiento 1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde)	ESB
Tratamiento 2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural)	ECB
Tratamiento 3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha)	BSB
Tratamiento 4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural)	BCB

5.3.3. Características de las pilas de compostaje

Se determinó que cada pila de compostaje estaría conformada por un total de 200 kg de material a compostar, constituido por estiércol de cuy, viruta, desperdicios de forraje verde (alfalfa), bagazo de caña de azúcar, estiércol de vacuno y residuos de cosecha (hojas de frutales, malezas de los pastos) en las proporciones indicadas en el siguiente cuadro.

Cuadro 21: Cantidad de cada material que conforman las pilas de compostaje

Tratamiento	Material a compostar						Total (kg)	Total %
	Estiércol de cuy (Kg)	%	Viruta (kg)	%	Desperdicios de Forraje Verde (Kg.)	%		
1	120	60	75	38	5	3	200	100
2	120	60	75	38	5	3	200	100
Tratamiento	Bagazo de caña (Kg)	%	Estiércol de vacuno (kg.)	%	Residuos de cosecha (kg)	%	Total (kg)	Total %
3	130	65	60	30	10	5	200	100
4	130	65	60	30	10	5	200	100

5.3.4. Dosis aplicadas del Biocatalizador natural (Bio2 Prohumus) a los tratamientos

Las dosis se aplicaron a los tratamientos T2 (tres repeticiones) y T4 (tres repeticiones) se establecieron con la finalidad de determinar cuál de estos sería el más óptimo, al adicionarle el biocatalizador natural Bio2 Prohumus, y evaluar la eficiencia de cada uno respecto a la cantidad de material degradado en el tiempo que se llevó a cabo el proceso de compostaje.

La preparación de las dosis se realizó utilizando una mochila de fumigación de 20 litros de capacidad. Estas dosis fueron de 20 gr diluido en 20 litros de agua, aplicadas 4 veces cada quince días a los tratamientos como se indica en el siguiente cuadro.

Cuadro 22: Dosis aplicadas del Biocatalizador Natural

Tratamientos	Dosis aplicadas de Bio2 Prohumus (g.)	Número de veces de dosis aplicadas	Total de Bio2 Prohumus (g.)
Tratamiento 1 (estiércol de cuy+ viruta + desperdicios de F.V.)			
Tratamiento 2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de F.V. + biocatalizador natural)	20	4	240
Tratamiento 3 (bagazo de caña+ estiércol de vacuno + residuos de cosecha)			
Tratamiento 4 (bagazo de caña+ estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural)	20	4	240

5.4. Variables a evaluarse

En el presente trabajo se evaluó los siguientes parámetros:

5.4.1. Determinación de la Temperatura

El monitoreo y registro de temperatura se realizó semanalmente, con un termohigrómetro digital, haciendo tres lecturas por cada unidad experimental, una en cada extremo y otra en la parte central; estos valores fueron promediados para obtener un valor promedio que se analizó estadísticamente.

Fotografía 1: Medición de la Temperatura



5.4.2. Determinación del pH

Utilizando cintas de pH, se realizó el control cada semana, durante el transcurso de compostaje, haciendo tres lecturas por cada pila de compostaje, una en cada extremo y la otra en la parte central; estos valores fueron promediados para obtener un valor promedio y analizarlo estadísticamente.

Fotografía 2: Medición del pH



5.4.3. Calidad Nutricional del Compost

Al finalizar el proceso de compostaje se envió una muestra representativa de cada tratamiento, para realizar un análisis en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina; en base a las propiedades físico - químicas, con los resultados realizamos comparaciones de la calidad nutricional del compost, correspondiente al contenido de N, P, K, Ca, Mg, Na, contenido de materia orgánica, humedad, pH y conductividad eléctrica; además de la población microbiana como la población total de hongos, bacterias y actinomicetos.

Fotografía 3: Muestras para enviar a laboratorio



5.5. Procesamiento y análisis de datos

Durante el proceso experimental se procedió a la tabulación electrónica de los datos para lo cual se hizo un base en formato del Programa Excel XP, de acuerdo a los parámetros en estudio. Los datos obtenidos fueron analizados a través de la estadística inferencial; según el diseño estadístico empleado.

5.6. Metodología del trabajo

La presente investigación, en su etapa pre - experimental se realizó entre el periodo del 20 de agosto al 20 de octubre del 2015.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se utilizó la siguiente metodología de trabajo:

5.6.1. Preparación del terreno

- El lugar de compostaje se acondicionó limpiando las malezas, ramillas, piedras y otros objetos existentes para evitar que afecten negativamente o dificulten el proceso de compostaje, además se niveló el suelo para que las pilas estén en las mismas condiciones físicas.

Fotografía 4: Lugar para la ejecución de la investigación.



5.6.2. Recolección de los materiales para el compostaje

- Los materiales utilizados en el compostaje fueron recogidos del Centro de Producción de Genética Superior “CENPROGEN SUP”, como el estiércol de los galpones, las hojas secas del huerto, las malezas de los pastos cultivados, y el estiércol de vacuno del establo Mangallana, el bagazo de caña de azúcar del trapiche Mangallana; además el biocatalizador natural Bio2 Prohumus de la empresa HydroO2 Perú SAC.
- Se determinó la cantidad requerida de cada material orgánico, la que fue acopiada y trasladada al área de compostaje para su posterior mezcla en las pilas de compostaje.

Fotografía 5: Recolección del estiércol



Fotografía 6: Recolección de Hojas secas



Fotografía 7: Recolección del estiércol de vacuno



Fotografía 8: El Bio2 Prohumus



5.6.3. Apilado de los materiales orgánicos

- Se procedió con el amontonamiento previo de los materiales orgánicos con el fin de secarlos mediante temperatura ambiental y viento, para luego retirar materiales inorgánicos mezclados entre éstos.

Fotografía 9: Apilado de los materiales orgánicos



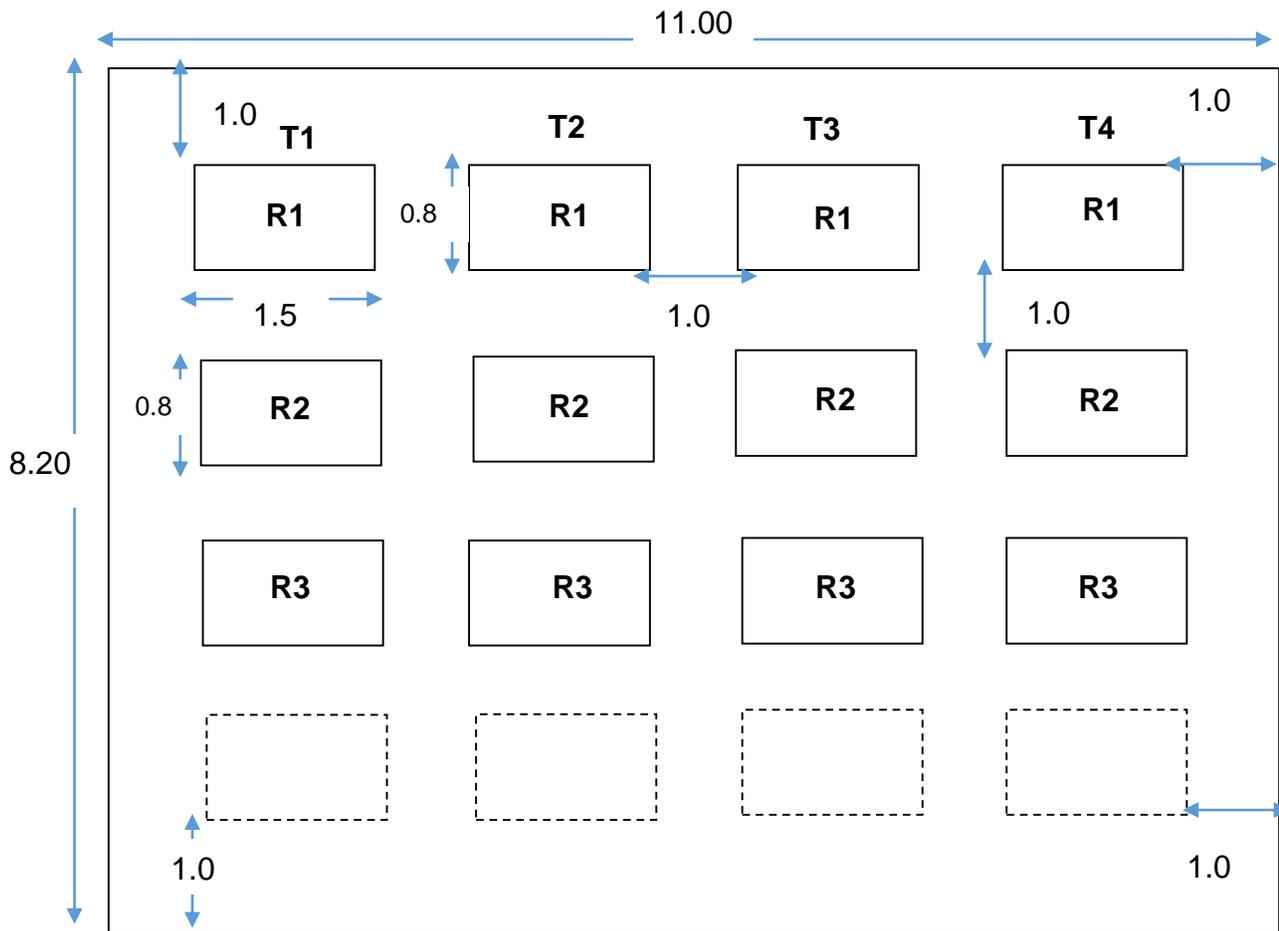
5.6.4. Dimensión de las pilas de compostaje

- En el experimento las pilas de compostaje, tuvieron una dimensión de: 0.5 m de alto, 0.8 m de ancho y 1.5 m. de largo, los caminos fueron de 1 m como lo muestra el siguiente gráfico.
- El área total para el desarrollo de la investigación fue de aproximadamente 90.2 m².

Fotografía 10: Dimensión de las pilas de compostaje



Gráfico 3: Distribución de las pilas de compostaje



5.6.5. Picado de los materiales orgánicos

- Se realizó el picado de los materiales orgánicos de mayor tamaño que fueron separados, se sometieron a un picado manual, con la finalidad de reducir el tamaño y facilitar su descomposición en el proceso de compostaje.

Fotografía 11: Picado de los materiales orgánicos



5.6.6. Formación de las pilas de compostaje

Una vez establecida la cantidad de material, el número de capas y las dosis del biocatalizador natural a aplicarse a cada tratamiento, se procedió a la formación de las pilas de compostaje para su posterior evaluación. El procedimiento se describe a continuación:

- Se procedió a pesar la cantidad establecida de residuo, la cual corresponde al material según los tratamientos en estudio, para luego colocar la primera capa con una altura de 20 cm que se repartió por toda la base del área establecida para la formación de la pila de compostaje.
- Posteriormente se coloca la segunda capa de 20 cm de altura, este procedimiento se vuelve a repetir hasta completar 200 kg. Se construyeron 12 pilas de compostaje.
- Paralelo al proceso de la colocación de las capas de los diferentes materiales, se fue agregando agua para humedecer el material y al mismo tiempo se fue aplicando uniformemente con una bomba de mochila de 20 litros el biocatalizador natural, empleando las dosis establecidas para los tratamientos 2 y 4.

- Finalmente, se procedió a regar con agua toda la pila ya formada tratando en lo posible de humedecerla por completo, teniendo cuidado que no hayan lixiviados, quedando las doce pilas de compostaje formadas para el inicio del proceso de compostaje.

Fotografía 12: Formación de las pilas de compostaje



5.6.7. Aplicación del biocatalizador natural Bio2 Prohumus

- Paralelo al proceso de la formación de las capas con diferentes residuos orgánicos, se va aplicando uniformemente el biocatalizador natural (Bio2 Prohumus) diluido en una bomba de mochila, empleando una dosis de 20 gr en 20 litros de agua, para cada pila de compostaje.

Fotografía 13: Aplicación el biocatalizador natural bio2 prohumus



5.6.8. Aireación, control de temperatura, humedad, pH

- La aireación se realizó con la finalidad de mantener una fermentación aerobia, se procedió al volteo manual de las pilas de compostaje para evitar fermentaciones anaerobias proporcionando así un sustrato viable para el desarrollo de los microorganismos.
- Los volteos (aireación) se realizaron cada 7 días, las tres primeras semanas, luego se realizó cada 15 días. Además se realizó el control de la temperatura, humedad y pH de cada pila de compostaje.

Fotografía 14: Aireación de las pilas de compostaje



5.6.9. Maduración

- Después de realizar el último volteo se mantuvieron las pilas en reposo para completar el proceso de compostaje colonizándose con la mesofauna local.

Fotografía 15: Fase de maduración del compost



5.6.10. Cosecha

- Después de 60 días, la temperatura de la pila de compostaje empieza a bajar, el material tiene un color marrón oscuro, esponjoso y de un olor agradable a tierra; estos son indicadores que el compost está listo para ser cosechado.
- El compost, se puede usar inmediatamente en los cultivos o se puede almacenar en sacos en un lugar sombreado. También se puede dejar madurando en el área de compostaje manteniendo una humedad del 14% para mantener la población microbiana benéfica.

Fotografía 16: Cosecha del compost



5.6.11. Obtención de muestras para el laboratorio

- Al finalizar el proceso de compostaje se realizó la toma de muestras para realizar sus respectivos análisis físico-químicos y microbiológicos en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

5.6.11.1. Análisis Físico- Químico

- Se tomaron tres muestras de 1 kg de cada repetición (pila de compostaje) para mezclárselas y tomar una sola muestra de 1 kg, luego se realizó el embolsado en bolsas de polietileno identificándolo

a cada muestra, haciendo un total de doce muestras que se colocaron dentro de una caja de cartón, para enviárselo al laboratorio para el respectivo análisis.

Fotografía 17: Toma de muestras del compost para el análisis físico - químico



5.6.11.2. Análisis Microbiológico

- Se tomó una muestra de 1 kg de cada repetición (pila de compostaje) para mezclárselas y tomar una muestra de 1.5 kg, luego se realizó el embolsado en bolsas ziploc identificándolo a cada muestra, haciendo un total de cuatro muestras que se colocaron dentro de una caja de tecnoport con hielo gel, para que se mantengan conservadas con la finalidad de hacer una cadena de frío, posteriormente la caja de tecnoport bien cerrada se colocó dentro de una caja de cartón para enviárselo al laboratorio para el respectivo análisis.

Fotografía 18: Toma de muestras del compost para el análisis microbiológico



5.7. Materiales y equipos

En la elaboración de la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

5.7.1. Materia prima

- Estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde (alfalfa)
- Bagazo de caña de azúcar
- Estiércol de vacuno
- Residuos de cosechas (frutales, malezas)

5.7.2. Materiales y herramientas de campo

- Palana
- Rastrillo
- Regadera
- Baldes
- Rafia
- Estacas de madera
- Cal
- Carretilla

5.7.3. Materiales de laboratorio

- Cintas para medir pH
- Bolsas Ziploc
- Bolsas de polietileno
- Gel hielo
- Caja de tecnoport
- Caja de cartón

5.7.4. Materiales de gabinete

- Computadora
- Calculadora
- Lápiz
- Lapiceros
- Cuaderno de campo
- Papel bond
- Material bibliográfico
- Cámara digital

5.7.5. Equipos

- Mochila de fumigar
- Termo hidrómetro
- Balanza digital

5.7.6. Insumos

- Biocatalizador natural Bio2 Prohumus
- Agua

CAPÍTULO VI

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Contenido nutricional del Compost.

Para la determinación del contenido nutricional del compost, las muestras fueron enviadas al laboratorio cuyos valores promedios serán presentados en los diferentes cuadros que se presentan a continuación.

6.1.1. Contenido de Nitrógeno

Cuadro 23: Valores promedios del contenido de nitrógeno en los tratamientos en estudio

CONTENIDO DE N (%)					
Tratamientos	Repeticiones			Promedio	Promedio general
	I	II	III		
Tratamiento 1	1.61	1.75	1.83	1.73 ^b	1.83 ^b
Tratamiento 2	2.08	1.73	1.96	1.92 ^b	
Tratamiento 3	1.24	1.26	1.19	1.23 ^a	1.27 ^a
Tratamiento 4	1.23	1.34	1.34	1.30 ^a	

El cuadro 23, nos muestra los valores promedios del contenido de nitrógeno correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio, cuando los datos fueron analizados estadísticamente, los tratamientos; T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) y el T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) obtuvieron un promedio general de 1.83%, resultaron poseer un mayor contenido de nitrógeno que los tratamientos T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) y el T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) con un promedio general de 1.27%. Sin embargo, cuando se analizó el efecto de la utilización del biocatalizador natural no se encontró diferencias significativas. En términos generales los promedios para cada tratamiento con y sin la aplicación del biocatalizador natural se muestran similares.

La **FAO (2013)**, en su reporte respecto a la composición química del compost señala que el contenido de nutrientes del compost tiene una gran variabilidad, que depende de los materiales de origen, señala porcentajes para el contenido de nitrógeno de 0.3% - 1.5%. **Jácome (2013)**, considera valores de hasta 2.0% de contenido de nitrógeno. **Altamirano & Cabrera (2006)**, en un trabajo bastante similar al nuestro en donde utilizo materiales orgánicos como restos de vegetales, rastrojos excremento de animal (vaca, cuy) en diferentes tratamientos en periodos de 3.5 y 4.5 meses; encontró valores de 0.64% a 1.09% respectivamente. **Mendoza (2012)**, en un trabajo con diferentes sustratos y aplicación de Microorganismos Eficaces (EM - compost), en un proceso de compostaje 54 días, encontró valores que fluctuaron de 1.05% a 1.33%.

Como se puede observar, los valores de contenido de nitrógeno encontrados en nuestro trabajo se encuentran entre los rangos; estos valores obtenidos se debe al manejo en el proceso de compostaje, donde no se notó el efecto del uso del biocatalizador natural pero que en definitiva la variación del contenido de nitrógeno depende de los materiales de origen tal como lo menciona la **FAO (2013)**.

6.1.2. Contenido de Fósforo

Cuadro 24: Valores promedios del contenido de fósforo en los tratamientos en estudio

CONTENIDO DE P (%)					
Tratamientos	Repeticiones			Promedio	Promedio general
	I	II	III		
Tratamiento 1	1.11	1.40	1.41	1.31 ^b	1.44 ^b
Tratamiento 2	1.89	1.29	1.53	1.57 ^b	
Tratamiento 3	0.69	0.68	0.53	0.63 ^a	0.64 ^a
Tratamiento 4	0.67	0.63	0.64	0.65 ^a	

El cuadro 24, nos muestra los valores promedios de contenido de fósforo correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio, al análisis estadístico, los tratamientos; T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) y el T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje

verde) con un promedio general de 1.44%, obtuvieron un mayor contenido de fósforo que los tratamientos T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) y el T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) con un promedio general de 0.64%. Cuando se analizó el efecto de la utilización del biocatalizador natural no se encontró diferencias significativas. En términos generales los promedios para cada tratamiento con y sin la aplicación del biocatalizador natural se muestran similares.

La **FAO (2013)**, en su reporte respecto a la composición química del compost menciona que el contenido de nutrientes del compost tiene una gran variabilidad, que depende de los materiales de origen, señala porcentajes de 0.1% a 1.0% de contenido de fósforo. **Jácome (2013)**, considera valores de hasta 0.4% de contenido de fósforo. **Altamirano & Cabrera (2006)**, en un trabajo bastante similar al nuestro en donde utilizo materiales orgánicos como restos de vegetales, rastrojos excremento de animal (vaca, cuy) en diferentes tratamientos en periodos de 3.5 y 4.5 meses; encontró valores de 0.57% a 0.98% respectivamente.

Como se puede observar, los valores de contenido de fósforo encontrados en nuestro trabajo son mayores. Estos valores obtenidos se debe al manejo en el proceso de compostaje y además la variación del contenido de fósforo depende de los materiales de origen tal como lo menciona la **FAO (2013)**.

6.1.3. Contenido de Potasio

El cuadro 25, nos muestra los valores promedios de contenido de potasio correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio. El tratamiento T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) con un valor de 3.45 % resulto tener un mayor contenido de potasio que el T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un valor de 2.79%. El menor contenido de potasio se encontró en el tratamiento T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) con un valor de 1.93% y el T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) con un valor de 1.74% que al análisis estadístico son similares. Se concluye que los

tratamientos T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) y el T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un promedio general de 3.12% con mayor contenido de potasio que los tratamientos T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural y el T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) con un promedio general de 1.84%; observándose efecto positivo significativo del uso del biocatalizador natural en el sustrato estiércol de cuy pero no así en el sustrato bagazo de caña.

Cuadro 25: Valores promedios del contenido de potasio en los tratamientos en estudio

CONTENIDO DE K (%)					
Tratamientos	Repeticiones			Promedio	Promedio general
	I	II	III		
Tratamiento 1	3.20	2.26	2.92	2.79 ^b	3.12 ^b
Tratamiento 2	3.17	3.65	3.52	3.45 ^c	
Tratamiento 3	1.97	1.70	1.56	1.74 ^a	1.84 ^a
Tratamiento 4	2.08	1.99	1.73	1.93 ^a	

La **FAO (2013)**, en su reporte respecto a la composición química del compost menciona que el contenido de nutrientes del compost tiene una gran variabilidad, que depende de los materiales de origen y señala porcentajes de 0.3% – 1.0% de contenido de potasio. **Jácome (2013)**, considera valores de hasta 2.5% de contenido de potasio. **Altamirano & Cabrera (2006)**, en un trabajo bastante similar al nuestro en donde utilizo materiales orgánicos como restos de vegetales, rastrojos excremento de animal (vaca, cuy) en diferentes tratamientos en periodos de 3.5 y 4.5 meses; encontró valores de 1.57% a 1.80% respectivamente.

Como se puede observar, los valores de contenido de potasio encontrados en nuestro trabajo son mayores, estos valores obtenidos se debe al manejo en el proceso de compostaje, donde se notó el efecto del uso del biocatalizador natural en el sustrato estiércol de cuy, además la variación del contenido de potasio depende de los materiales de origen tal como lo menciona la **FAO (2013)**.

6.1.4. Contenido de Calcio

El cuadro 26, nos muestra los valores promedios de contenido de calcio correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio. El tratamiento T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) con un valor de 5.24 % resulto tener un mayor contenido de calcio que el tratamiento T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un valor de 4.42%. El menor contenido de potasio se encontró en el tratamiento T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) con un valor de 3.67% y el T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) con un valor de 3.49% que al análisis estadístico son similares.

Cuadro 26: Valores promedios del contenido de calcio en los tratamientos en estudio

CONTENIDO DE Ca (%)					
Tratamientos	Repeticiones			Promedio	Promedio general
	I	II	III		
Tratamiento 1	4.17	4.28	4.80	4.42 ^b	4.83 ^b
Tratamiento 2	5.15	4.77	5.80	5.24 ^c	
Tratamiento 3	3.69	3.35	3.43	3.49 ^a	3.58 ^a
Tratamiento 4	3.44	3.36	4.21	3.67 ^{ab}	

Se concluye que el tratamiento T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) y el T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un promedio general de 4.83% obtuvieron un mayor contenido de calcio que los tratamientos T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) y el T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) con un promedio general de 3.58%; observándose efecto positivo significativo del uso del biocatalizador natural en el sustrato estiércol de cuy pero no así en el sustrato bagazo de caña.

Jácome (2013), considera valores de hasta 1.3% de contenido de calcio. **Altamirano & Cabrera (2006)**, en un trabajo bastante similar al nuestro en donde utilizo materiales orgánicos como restos de vegetales, rastrojos excremento de

animal (vaca, cuy) en diferentes tratamientos en periodos de 3.5 y 4.5 meses; encontró valores de 4.05% a 5.09% respectivamente.

Como se puede observar, los valores de contenido de calcio encontrados en nuestro trabajo son similares, estos valores obtenidos se debe al manejo en el proceso de compostaje, donde sí se notó el efecto del uso del biocatalizador natural en el sustrato estiércol de cuy, además la variación del contenido de calcio depende de los materiales de origen tal como lo señala la **FAO (2013)**.

6.1.5. Contenido de Magnesio

Cuadro 27: Valores promedios del contenido de magnesio en los tratamientos en estudio

CONTENIDO DE Mg (%)					
Tratamientos	Repeticiones			Promedio	Promedio general
	I	II	III		
Tratamiento 1	2.00	1.80	1.92	1.91 ^a	1.92 ^a
Tratamiento 2	1.67	2.00	2.13	1.93 ^a	
Tratamiento 3	1.75	1.71	1.57	1.68 ^a	1.76 ^a
Tratamiento 4	1.92	1.75	1.84	1.84 ^a	

El cuadro 27, nos muestra los valores promedios de contenido de magnesio correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio, cuando los datos fueron analizados estadísticamente, el tratamiento T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) con un valor de 1.93%, T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un valor de 1.91%, T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) con un valor de 1.84% y el T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) con un valor de 1.68% son similares. Se concluye que el tratamiento T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) y el T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un promedio general de 1.92% tuvieron un similar contenido de magnesio que los tratamiento T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) y el T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno

+ residuos de cosecha) con un promedio general de 1.76%; donde no mostraron un efecto positivo significativo del uso del biocatalizador natural en los sustratos estiércol de cuy y bagazo de caña.

Jácome (2013), considera valores de hasta 0.4% de contenido de magnesio. **Altamirano & Cabrera (2006)**, en un trabajo bastante similar al nuestro en donde utilizo materiales orgánicos como restos de vegetales, rastrojos excremento de animal (vaca, cuy) en diferentes tratamientos en periodos de 3.5 y 4.5 meses; encontró valores de 1.56% a 1.69% respectivamente.

Como se puede observar, los valores de contenido de magnesio encontrados en nuestro trabajo son mayores. Estos valores obtenidos se deben al manejo en el proceso de compostaje, donde no se notó el efecto del uso del biocatalizador natural, además la variación del contenido de magnesio depende de los materiales de origen tal como lo menciona la **FAO (2013)**.

6.1.6. Contenido de Sodio

Cuadro 28: Valores promedios del contenido de sodio en los tratamientos en estudio

CONTENIDO DE Na (%)					
Tratamientos	Repeticiones			Promedio	Promedio general
	I	II	III		
Tratamiento 1	0.80	0.74	0.75	0.76 ^b	0.79 ^b
Tratamiento 2	0.80	0.80	0.87	0.82 ^b	
Tratamiento 3	0.62	0.62	0.62	0.62 ^a	0.69 ^a
Tratamiento 4	0.74	0.68	0.84	0.75 ^b	

El cuadro 28, nos muestra los valores promedios de contenido de sodio correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio, cuando los datos fueron analizados estadísticamente, los tratamientos T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) y el T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un promedio general de 0.79%, resultaron tener un mayor contenido de sodio que los tratamientos T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) y el T3

(bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) donde si mostraron diferencias significativas y obtuvieron un promedio general de 0.69%. Sin embargo, cuando se analizó el efecto de la utilización del biocatalizador natural solo se encontró diferencias significativas en el sustrato bagazo de caña; donde el T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) con un valor de 0.75% resulto tener un mayor contenido de sodio que el T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) con un valor de 0.62%.

Altamirano & Cabrera (2006), en un trabajo bastante similar al nuestro en donde utilizo materiales orgánicos como restos de vegetales, rastrojos excremento de animal (vaca, cuy) en diferentes tratamientos en periodos de 3.5 y 4.5 meses; encontró valores de 0.25% a 0.40% respectivamente.

Como se puede observar, los valores de contenido de sodio son mayores, estos valores obtenidos se debe al manejo en el proceso de compostaje, donde se notó el efecto del biocatalizador natural en el sustrato bagazo de caña, además la variación del contenido de sodio depende de los materiales de origen tal como lo menciona la **FAO (2013)**.

6.2. Características físico - químicas.

Para la caracterización del compost se analizó las variables químicas de pH y conductividad eléctrica y las variables físicas de temperatura interna, contenido de materia orgánica y humedad.

6.2.1. Análisis del Potencial Hidrogeno (pH)

Para esta variable se presenta la curva de pH durante el proceso de elaboración del compost de todos los tratamientos y se analiza estadísticamente los valores del pH final del producto.

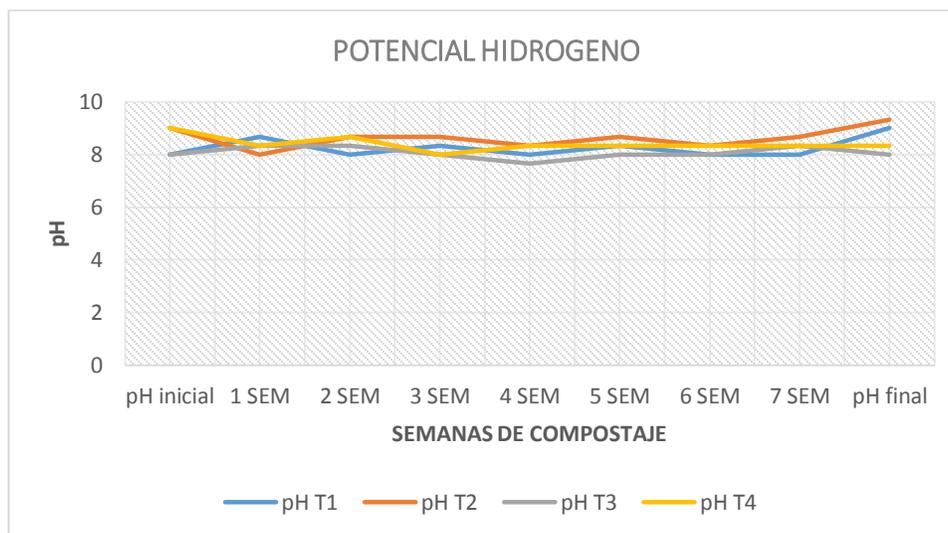
El cuadro 29, nos muestra el registro del potencial hidrogeno (pH) de todos los tratamientos en estudio; durante el proceso de compostaje, registrado cada 7 días (semanalmente).

Cuadro 29: Control de pH de los tratamientos durante el proceso de compostaje

pH				
Semanas de compostaje	T1	T2	T3	T4
pH inicial	8.00	9.00	8.00	9.00
1 SEM	8.67	8.00	8.33	8.33
2 SEM	8.00	8.67	8.33	8.67
3 SEM	8.33	8.67	8.00	8.00
4 SEM	8.00	8.33	7.67	8.33
5 SEM	8.33	8.67	8.00	8.33
6 SEM	8.00	8.33	8.00	8.33
7 SEM	8.00	8.67	8.33	8.33
pH final	9.00	9.33	8.00	8.33

En el gráfico 4, nos muestra el comportamiento del pH en los diferentes tratamientos en estudio, al inicio del proceso de compostaje presentaron un pH alcalino; estos valores de pH alcalino se mantuvieron hasta finalizar el proceso de compostaje.

Gráfico 4: Curva de comportamiento del pH de los tratamientos durante el proceso de compostaje.



Cuadro 30: Valores promedios del pH en los tratamientos en estudio.

pH					
Tratamientos	Repeticiones			Promedio	Promedio general
	I	II	III		
Tratamiento 1	9.24	9.11	9.19	9.18 ^b	9.29 ^b
Tratamiento 2	9.34	9.54	9.30	9.39 ^c	
Tratamiento 3	8.27	8.28	8.20	8.25 ^a	8.25 ^a
Tratamiento 4	8.39	8.15	8.21	8.25 ^a	

El cuadro 30, nos muestra los valores promedios del pH correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio, cuando los datos fueron analizados estadísticamente, el tratamiento T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) con un valor de 9.39 resulto tener un mayor valor de pH que el tratamiento T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un valor de 9.18. El menor valor de pH se encontró en el tratamiento T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) con un valor de 8.25 y el T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha +

biocatalizador natural) con un valor de 8.25% que al análisis estadístico son similares. Se concluye que el tratamiento T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) y el T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un promedio general de 9.29 son diferentes y más altos que los valores correspondientes al T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) y el T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) con un promedio general de 8.25, en todos los casos el pH fue alcalino; observándose efecto positivo significativo del uso del biocatalizador natural en el sustrato estiércol de cuy pero no así en el sustrato bagazo de caña.

Altamirano & Cabrera (2006), en un trabajo bastante similar al nuestro en donde utilizo materiales orgánicos como restos de vegetales, rastrojos excremento de animal (vaca, cuy) en diferentes tratamientos en periodos de 3.5 y 4.5 meses; encontró valores de 6.90 a 7.10 respectivamente. **Mendoza (2012)**, en un trabajo con diferentes sustratos y aplicación de Microorganismos Eficaces (EM - compost), en un proceso de compostaje 54 días, encontró valores que fluctuaron de 7.39 a 7.8.

Como se puede observar, los valores de pH encontrados en nuestro trabajo son mayores y por lo tanto con un pH más alcalinos. La variación del pH depende de los materiales de origen y al periodo de proceso del compostaje tal como lo menciona la **FAO (2013)**.

6.2.2. Análisis de la Temperatura

Para esta variable se presenta la curva de Temperatura durante el proceso de elaboración del compost de todos los tratamientos, datos registrados semanalmente.

El cuadro 31, nos muestra el registro de temperatura (T°) de todos los tratamientos en estudio; durante el proceso de compostaje, registrado cada 7 días (semanalmente).

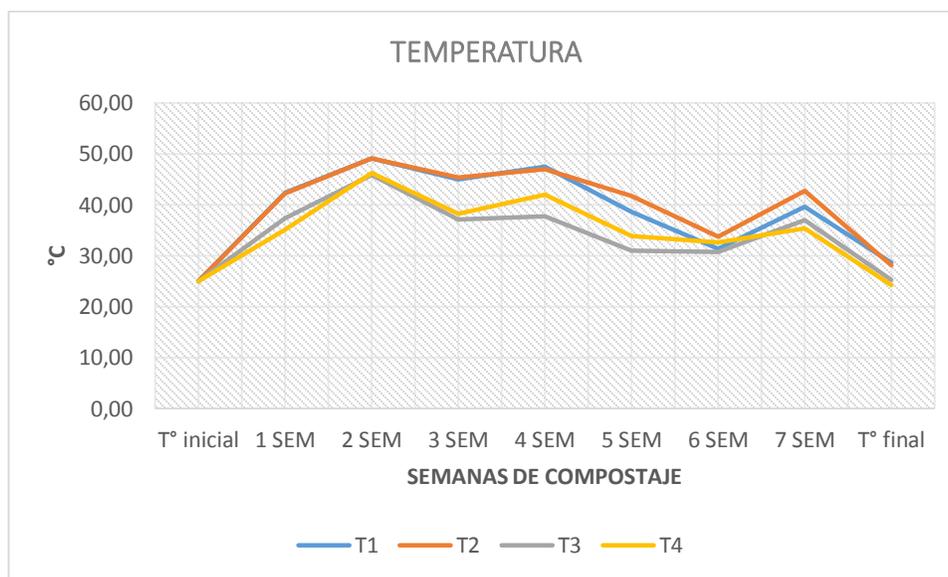
Cuadro 31: Control de Temperatura de los tratamientos durante el proceso de compostaje.

Temperatura (°C)				
Semanas de compostaje	T1	T2	T3	T4
T° inicial	25.00	25.00	25.00	25.00
1 SEM	42.40	42.27	37.33	35.13
2 SEM	49.10	49.17	45.83	46.27
3 SEM	45.00	45.33	37.17	38.27
4 SEM	47.57	47.03	37.73	42.00
5 SEM	38.60	41.77	31.00	33.93
6 SEM	31.33	33.77	30.73	32.63
7 SEM	39.60	42.70	37.03	35.33
T° final	28.70	28.20	25.27	24.30

En el gráfico 5, nos muestra el comportamiento de la temperatura de los tratamientos en estudio, al inicio del proceso de compostaje todos los tratamientos; presentaron una temperatura promedio de 25°C, a partir de la primera semana la temperatura ascendió en todos los tratamientos, entre 35°C y 42°C; desde la segunda semana hasta la cuarta la temperatura tuvo valores entre 37°C y 49°C; a partir de la quinta, sexta, setima, y octava semana (temperatura final) descendió la temperatura. Los valores promedios estuvieron entre 38°C y 24°C, en la fase experimental.

Mendoza (2012), en un trabajo con diferentes sustratos y aplicación de Microorganismos Eficaces (EM - compost), en un proceso de compostaje 54 días, encontró valores que fluctuaron de 29°C y 42°C, 45 °C y 66 °C, 58 °C y 38 °C, 35 °C y 27 °C. **Jácome (2013)**, considera valores de 60 °C a 70 °C. Como se puede observar, los valores de temperatura encontrados en nuestro trabajo se encuentran entre los rangos para un buen proceso de compostaje. En definitiva la variación de la temperatura depende de la acción de los microorganismos y a la cantidad de materia orgánica apilada tal como lo menciona **Chávez (2015)**, y además del tamaño de la pila, de las condiciones ambientales y del tipo de adición de aire a la pila, ya sea con volteos o con aire a presión como lo señala **Moreno & Moral (2008)**.

Gráfico 5: Curva de comportamiento de la Temperatura de los tratamientos durante el proceso de compostaje.



6.2.3. Contenido de Humedad

El cuadro 32, nos muestra los valores promedios del contenido de humedad correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio. Al análisis estadístico los tratamientos; T1 (estiércol de cuy + viruta + residuos de forraje verde) con un valor de 63.34% y el T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) con un valor de 61.18% no mostraron diferencias significativas que los tratamientos T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) con un valor de 70.48% y el T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) con 65.14% mostraron diferencias de contenido de humedad. En términos generales el sustrato bagazo de caña con un promedio general de 67.81% mostro mayor contenido de humedad que el sustrato estiércol de cuy con un promedio general 62.26%.

Altamirano & Cabrera (2006), en un trabajo bastante similar al nuestro, encontró valores de 26.34% a 35.74% respectivamente. **Mendoza (2012)**, en un trabajo con diferentes sustratos y aplicación de Microorganismos Eficaces (EM - compost), en un proceso de compostaje 54 días, encontró valores que fluctuaron de 39.94% a 44.40%.

Cuadro 32: Valores promedios del contenido de humedad en los tratamientos en estudio.

Contenido de Humedad (%)					
Tratamientos	Repeticiones			Promedio	Promedio general
	I	II	III		
Tratamiento 1	62.55	64.19	63.27	63.34 ^a	62.26^a
Tratamiento 2	59.93	61.44	62.16	61.18 ^a	
Tratamiento 3	67.87	72.29	71.28	70.48 ^b	67.81^b
Tratamiento 4	66.71	60.62	68.10	65.14 ^a	

Como se puede observar, los valores de contenido de humedad obtenidos en nuestro trabajo son mayores, estos valores obtenidos se debe al manejo en el proceso de compostaje, donde solo se notó el efecto del biocatalizador natural en el sustrato bagazo de caña, además la variación del contenido de humedad depende de los materiales de origen empleados y el método de compostaje en el proceso tal como lo menciona *Mendoza (2012)*.

6.2.4. Análisis de la Conductividad Eléctrica

Cuadro 33: Valores promedios de la CE en los tratamientos en estudio.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (dS/m)					
Tratamientos	Repeticiones			Promedio	Promedio general
	I	II	III		
Tratamiento 1	15.00	13.00	14.20	14.07 ^a	15.65^b
Tratamiento 2	16.90	17.80	17.00	17.23 ^b	
Tratamiento 3	12.90	13.70	12.20	12.93 ^a	13.28^a
Tratamiento 4	14.20	12.50	14.20	13.63 ^a	

El cuadro 33, nos muestra los valores promedios de la conductividad eléctrica correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio. Al análisis estadístico, los tratamientos; T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) con un valor de 17.23dS/m y el T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con 14.07dS/m se mostraron diferentes con mayores valores por efecto del biocatalizador natural. En términos generales el valor

de la conductividad eléctrica fue mayor en el sustrato estiércol de cuy con un valor de 15.65dS/m que en el sustrato bagazo de caña con un valor de 13.28dS/m.

Altamirano & Cabrera (2006), en un trabajo bastante similar al nuestro en donde utilizo materiales orgánicos como restos de vegetales, rastrojos excremento de animal (vaca, cuy) en diferentes tratamientos en periodos de 3.5 y 4.5 meses; encontró valores de 16.83dS/m a 21.10dS/m respectivamente.

Como se puede observar, los valores de conductividad eléctrica encontrados en nuestro trabajo son menores, donde se notó el efecto del biocatalizador natural en el sustrato estiércol de cuy pero no en el sustrato bagazo de caña, además la variación de la conductividad eléctrica depende de los materiales de origen empleados en el proceso tal como lo menciona **Chávez (2015)**.

6.2.5. Contenido de Materia Orgánica

Cuadro 34: Valores promedios del contenido de MO en los tratamientos en estudio.

CONTENIDO DE M.O (%)					
Tratamientos	Repeticiones			Promedio	Promedio general
	I	II	III		
Tratamiento 1	71.47	56.73	64.90	64.37 ^b	62.47 ^b
Tratamiento 2	57.02	58.04	66.64	60.57 ^b	
Tratamiento 3	45.94	44.71	42.61	44.42 ^a	43.76 ^a
Tratamiento 4	40.70	43.98	44.61	43.10 ^a	

El cuadro 34, nos muestra los valores promedios del contenido de materia orgánica correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio, cuando los datos fueron analizados estadísticamente, los tratamientos; T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) y el T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) con un promedio general de 62.47%, resultaron poseer un mayor contenido de materia orgánica que los tratamientos T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) y el T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) con un

promedio general de 43.76%. Sin embargo, cuando se analizó el efecto de la utilización del biocatalizador natural no se encontró diferencias significativas. En términos generales los promedios para cada tratamiento con y sin la aplicación del biocatalizador natural se muestran similares.

Altamirano & Cabrera (2006), en un trabajo bastante similar al nuestro en donde utilizo materiales orgánicos como restos de vegetales, rastrojos excremento de animal (vaca, cuy) en diferentes tratamientos en periodos de 3.5 y 4.5 meses; encontró valores de 14.90% a 23.10% respectivamente. **Mendoza (2012)**, en un trabajo con diferentes sustratos y aplicación de Microorganismos Eficaces (EM - compost), en un proceso de compostaje 54 días, encontró valores que fluctuaron de 56.92% a 66.57%.

Como se puede observar, los valores de contenido de materia orgánica encontrados en nuestro trabajo son similares a los de **Mendoza (2012)** pero diferentes a los de **Altamirano & Cabrera (2006)**, estos valores obtenidos se debe al proceso de compostaje; donde no se notó el efecto del uso del biocatalizador natural. La **FAO (2013)**, menciona que la variación del contenido de materia orgánica depende de los materiales de origen y de las comunidades microbianas como lo señala **Mendoza (2012)**.

6.3. Análisis Microbiológico

Para esta variable se envió una muestra representativa al laboratorio para determinar la población microbiana de bacterias totales, actinomicetos totales, hongos totales, luego se realizó un análisis para cada población.

6.3.1. Bacterias Totales

Cuadro 35: Valores obtenidos de la población de bacterias totales en los tratamientos en estudio

Tratamientos	organismos mesófilos (UFC/g compost seco)
	Bacterias
Tratamiento 1	4.37×10^7
Tratamiento 2	5.30×10^6
Tratamiento 3	9.50×10^7
Tratamiento 4	2.25×10^7

En el cuadro 35, nos muestra los valores de la población total de bacterias correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio. El T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosechas) resulto tener una mayor población total de bacterias con un valor de 9.50×10^7 UFC/g, le sigue el T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un valor de 4.37×10^7 UFC/g, luego el T4 (bagazo de caña + estiércol de cuy + residuos de cosechas + biocatalizador natural) con 2.25×10^7 UFC/g y finalmente el T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) con una menor población con un valor de 5.30×10^6 UFC/g. Cuando se analizó el efecto de la utilización del biocatalizador natural no se encontró diferencias.

Álvarez (2009), en su trabajo señala los índices de calidad microbiológica del compost y nos proporciona valores aproximados que pueden estar presentes las poblaciones de microorganismos; con respecto a bacterias totales considera valores de 5×10^{10} UFC/g. El **Laboratorio de Microbiología de suelos, Facultad de Agronomía de la UNALM (2012)**, en sus ensayos considera valores de 100 000 UFC/g hasta 10 000 000 UFC/g. **Mendoza (2012)**, en un trabajo con diferentes sustratos y aplicación de Microorganismos Eficaces (EM - compost), en un proceso

de compostaje 54 días, encontró valores que fluctuaron de 3.0×10^7 UFC/g a 6.8×10^7 UFC/g. En conclusión la variación de la población total de bacterias depende de los materiales de origen, de las condiciones ambientales del lugar tal como lo indica **Mendoza (2012)**.

6.3.2. Actinomicetos Totales

Cuadro 36: Valores obtenidos de la población de actinomicetos totales en los tratamientos en estudio

Tratamientos	organismos mesófilos (UFC/g compost seco)
	Actinomicetos
Tratamiento 1	9.70×10^6
Tratamiento 2	1.80×10^6
Tratamiento 3	2.30×10^7
Tratamiento 4	1.43×10^6

En el cuadro 36, nos muestra los valores de la población total de actinomicetos correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio. El T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha) obtuvo una mayor población total de actinomicetos con un valor de 2.30×10^7 UFC/g, le sigue el T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un valor de 9.70×10^6 UFC/g, luego el T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) con 1.80×10^6 UFC/g y finalmente el T4 (bagazo de caña + estiércol de cuy + residuos de cosecha + biocatalizador natural) con una menor población con un valor de 1.43×10^6 UFC/g. Sin embargo, cuando se analizó el efecto de la utilización del biocatalizador natural no se encontró diferencias

Álvarez (2009), en su trabajo señala los índices de calidad microbiológica del compost, con respecto a actinomicetos totales considera valores de 1×10^4 UFC/g - 1×10^8 UFC/g. El **Laboratorio de Microbiología de suelos, Facultad de Agronomía de la UNALM (2012)**, en sus ensayos considera valores de 100 000 UFC/g hasta 10 000 000 UFC/g. En conclusión la variación de la población total de actinomicetos depende de los materiales de origen, de las condiciones ambientales del lugar tal como lo menciona **Mendoza (2012)**.

6.3.3. Hongos totales

En el cuadro 37, nos muestra los valores de la población total de hongos correspondiente a cada uno de los tratamientos en estudio. El T3 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosechas) obtuvo una mayor población total de hongos con un valor de 5.00×10^5 UFC/g, seguidamente del T1 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde) con un valor de 2.00×10^5 UFC/g, luego el T4 (bagazo de caña + estiércol de vacuno + residuos de cosecha + biocatalizador natural) con 1.50×10^5 UFC/g y finalmente el T2 (estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural) resulto tener una menor población con un valor de 1.23×10^5 UFC/g. Sin embargo, cuando se analizó el efecto de la utilización del biocatalizador natural no se encontró diferencias

Cuadro 37: Valores obtenidos de la población de hongos totales en los tratamientos en estudio

Tratamientos	organismos mesófilos (UFC/g compost seco)
	Hongos
Tratamiento 1	2.00×10^5
Tratamiento 2	1.23×10^5
Tratamiento 3	5.00×10^5
Tratamiento 4	1.50×10^5

Álvarez (2009), en su trabajo señala los índices de calidad microbiológica del compost, con respecto a hongos totales considera valores de 1×10^3 UFC/g - 1×10^7 UFC/g. El **Laboratorio de Microbiología de suelos, Facultad de Agronomía de la UNALM (2012)**, en sus ensayos considera valores de 5000 UFC/g hasta 100 000 UFC/g. **Mendoza (2012)**, en un trabajo con diferentes sustratos y aplicación de Microorganismos Eficaces (EM - compost), en un proceso de compostaje 54 días, encontró valores que fluctuaron de 5.7×10^4 UFC/g a 1.3×10^5 UFC/g. En conclusión la variación del contenido de población total de hongos depende de los materiales de origen, de las condiciones ambientales del lugar tal como lo menciona **Mendoza (2012)**.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

- ✓ Se obtuvo compost de manera técnica, con alto contenido nutricional, características físico - químicas y deseable población microbiana.
- ✓ No se encontraron diferencias estadísticas significativas en relación al uso del biocatalizador natural en el sustrato estiércol de cuy y bagazo de caña para el contenido de nitrógeno, fósforo, magnesio, sodio, conductividad eléctrica, contenido de humedad y materia orgánica, los valores se mostraron de manera similar. Lo mismo sucedió respecto a población microbiana, población total de bacterias, hongos y actinomicetos.
- ✓ Se encontró diferencias significativas con respecto al uso del biocatalizador natural Bio2 Prohumus en el sustrato estiércol de cuy para el contenido de potasio, calcio y valores promedio del pH.
- ✓ En términos generales, el mejor tratamiento en el presente trabajo de investigación fue el tratamiento T2, constituido por estiércol de cuy + viruta + desperdicios de forraje verde + biocatalizador natural, con mejores valores de contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio además del pH, contenido de humedad y conductividad eléctrica.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda probar el uso del biocatalizador natural Bio2 Prohumus en las pilas de compostaje en niveles y tiempo de proceso mayor a los del presente trabajo que podrían generar otros resultados diferentes.
- ✓ Continuar con la realización de trabajos similares de investigación, para lograr resultados que permitan realizar conclusiones de manera más concluyente.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Altamirano, M.; Cabrera, C. (2006).** *Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual. Disponible en http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol9_n17/a10.pdf. 76, p.*
2. **Álvarez, J. (2009).** *Tesis: "La calidad del suelo y del compost del parque de Itchimbía en su proceso de recuperación". Escuela politécnica del ejército – Departamento de ciencias de la vida ingeniería en biotecnología. Quito Ecuador. 14 p.*
3. **APROLAB. (2007).** *Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. Lima: Pase. 9, 15 p.*
4. **Barrena, R. (2006).** *Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Barcelona. 11, 19, p.*
5. **Bonifaz, N. (2012).** *Obtención de bioabono (compostaje) a partir de las aves de desecho (mortalidad) en la granja avícola "Jatumpamba". Quito, Pichincha, Ecuador. 13 p.*
6. **Bio2 Cultivos Inteligentes (2015).** *Boletín de información del Bio2 Prohumus. Disponible en www.bio2-agro.com*
7. **Chávez, P. (2015).** *Informe final de práctica pre profesional caracterización fisicoquímica y madurez del compost de las ciudades de Tingo María y Aucayacu mediante test de autocalentamiento. Tingo María - Perú. 14, 22 p.*
8. **Chirinos, O.; Muro, K.; Concha, W.; Otiniano, J.; Quezada, J. y Ríos, V. (2008).** *Crianza y Comercialización de cuy para el mercado limeño. Lima. Disponible en www.esan.edu.pe. 17 p.*
9. **Chung, A. (2003).** *Análisis económico de la ampliación de la cobertura de manejo de residuos sólidos por medio de segregación en la fuente en Lima Cercado. Lima. 7 p.*

10. **Dirección Regional Agraria - Puno (2009).** *Producción, manejo y aplicación de abonos orgánicos.* Disponible en www.agropuno.gob.pe/sites/default/files/documentos/manuales/abonos_organicos_c.pdf. Puno. 4 p.
11. **EcuRed.** Disponible en www.ecured.cu/Bagazo_de_ca%C3%B1a
12. **FAGRO (2000).** www.fagro.edu.uy/huertas/docs/cartillacompost.pdf
13. **FAO (2013).** *Manual de compostaje del agricultor.* Disponible en www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf. 25 p.
14. **Gallardo (2013).** “Obtención de compost a partir de residuos orgánicos impermeabilizados con geomembrana.” Lima - Perú. 73 p.
15. **Jácome, G. (2013).** *Elaboración de compost utilizando cabello humano y aplicando dos fuentes de microorganismos: Microorganismos Eficientes (EMs) y Trichoderma spp, como agentes aceleradores de compostaje.* 12, 18p.
16. **Jaramillo, G., & Zapata, L. (2008).** *Aprovechamiento de los Residuos sólidos en Colombia. Antioquia, Medellín, Colombia.* 37 p.
17. **Laboratorio de microbiología de suelos, Facultad de Agronomía, UNALM (2012).** *Ensayos.*
18. **López, O. (2006).** *Agroecología y Agricultura Orgánica en el Trópico.* Tunja, Boyacá, Colombia: UPTC.
19. **Mendoza, M. (2012).** *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura.* Piura, 13 p.
20. **Moreno, J. & Moral, R. (2008).** *Compostaje.* Madrid: Mundi - Prensa. 81, 481p.

- 21. Ramírez, M. (2008),** *Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos. Módulo V: Caña de azúcar Tegucigalpa, Honduras, Centroamérica.* 8 p
- 22. Roben, E. (2002).** *Manual de Compostaje de Municipios.* Loja, Loja, Ecuador.
<http://www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf>. 4 p
- 23. Rocha, A. (2009).** *Estudio de diferentes tipo de inóculos en la elaboración de compost, a partir de desechos domésticos orgánicos.* Quito, Pichincha, Ecuador. 37 p.
- 24. Rodríguez, M., & Córdova, A. (2006).** *Manual de Compostaje Municipal.* México: GTZ. 24 p.
- 25. Silva, J., López, P., & Valencia, P. (2006).** *Recuperación de nutrientes en fase solida a través del compostaje.* Cali, Colombia. 10 p.
- 26. Villarroel, A. (2011).** *Estudio técnico financiero de la implementación de una planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra.* Santa Cruz, Bolivia. 28 p.

ANEXOS

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS VARIABLES EVALUADAS

Anexo 1: ANVA para el contenido de Nitrógeno

CONTENIDO DE N (%)				
Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1	1.61	1.75	1.83	1.73
T2	2.08	1.73	1.96	1.92
T3	1.24	1.26	1.19	1.23
T4	1.23	1.34	1.34	1.30

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L	S.C	C.M	Fc	F.05	F.01
TOTAL	11	1.104				
TRATAMIENTOS	3	1.005	0.335	27.142**	4.070	7.590
ERROR EXPERIMENTAL	8	0.099	0.012			

Var. Total	0.100
Var. Trat.	1.005

Anexo 2: ANVA para el contenido de Fósforo

CONTENIDO DE P (%)				
Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1	1.11	1.40	1.41	1.31
T2	1.89	1.29	1.53	1.57
T3	0.69	0.68	0.53	0.63
T4	0.67	0.63	0.64	0.65

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L	S.C	C.M	Fc	F.05	F.01
TOTAL	11	2.274				
TRATAMIENTOS	3	2.016	0.672	20.889**	4.070	7.590
ERROR EXPERIMENTAL	8	0.257	0.032			

Var. Total	0.207
Var. Trat.	2.016

Anexo 3: ANVA para el contenido de Potasio

CONTENIDO DE K (%)				
Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1	3.20	2.26	2.92	2.79
T2	3.17	3.65	3.52	3.45
T3	1.97	1.70	1.56	1.74
T4	2.08	1.99	1.73	1.93

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L	S.C	C.M	Fc	F.05	F.01
TOTAL	11	6.364				
TRATAMIENTOS	3	5.622	1.874	20.205**	4.070	7.590
ERROR EXPERIMENTAL	8	0.742	0.093			

Var. Total	0.579
Var. Trat.	5.622

Anexo 4: ANVA para el contenido de Calcio

CONTENIDO DE Ca (%)				
Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1	4.17	4.28	4.80	4.42
T2	5.15	4.77	5.80	5.24
T3	3.69	3.35	3.43	3.49
T4	3.44	3.36	4.21	3.67

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L	S.C	C.M	Fc	F.05	F.01
TOTAL	11	7.013				
TRATAMIENTOS	3	5.740	1.913	12.026**	4.070	7.590
ERROR EXPERIMENTAL	8	1.273	0.159			

Var. Total	0.638
Var. Trat.	5.740

Anexo 5: ANVA para el contenido de Magnesio

CONTENIDO DE Mg (%)				
Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1	2.00	1.8	1.92	1.91
T2	1.67	2.00	2.13	1.93
T3	1.75	1.71	1.57	1.68
T4	1.92	1.75	1.84	1.84

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L	S.C	C.M	Fc	F.05	F.01
TOTAL	11	0.285				
TRATAMIENTOS	3	0.120	0.040	1.931	4.070	7.590
ERROR EXPERIMENTAL	8	0.165	0.021			

Var. Total	0.026
Var. Trat.	0.120

Anexo 6: ANVA para el contenido de Sodio

CONTENIDO DE Na (%)				
Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1	0.80	0.74	0.75	0.76
T2	0.80	0.80	0.87	0.82
T3	0.62	0.62	0.62	0.62
T4	0.74	0.68	0.84	0.75

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L	S.C	C.M	Fc	F.05	F.01
TOTAL	11	0.085				
TRATAMIENTOS	3	0.066	0.022	9.594**	4.070	7.590
ERROR EXPERIMENTAL	8	0.018	0.002			

Var. Total	0.008
Var. Trat.	0.066

Anexo 7: ANVA para el contenido de pH

pH				
Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1	9.24	9.11	9.19	9.18
T2	9.34	9.54	9.30	9.39
T3	8.27	8.28	8.20	8.25
T4	8.39	8.15	8.21	8.25

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L	S.C	C.M	Fc	F.05	F.01
TOTAL	11	3.369				
TRATAMIENTOS	3	3.292	1.097	114.515**	4.070	7.590
ERROR EXPERIMENTAL	8	0.077	0.010			

Var. Total	0.306
Var. Trat.	3.292

Anexo 8: ANVA para el contenido de humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1	62.55	64.19	63.27	63.34
T2	59.93	61.44	62.16	61.18
T3	67.87	72.29	71.28	70.48
T4	66.71	60.62	68.10	65.14

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L	S.C	C.M	Fc	F.05	F.01
TOTAL	11	188.619				
TRATAMIENTOS	3	142.292	47.431	8.191**	4.070	7.590
ERROR EXPERIMENTAL	8	46.327	5.791			

Var. Total	17.147
Var. Trat.	142.292

Anexo 9: ANVA para la Conductividad Eléctrica

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (dS/m)				
Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1	15.00	13.00	14.20	14.07
T2	16.90	17.80	17.00	17.23
T3	12.90	13.70	12.20	12.93
T4	14.20	12.50	14.20	13.63

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L	S.C	C.M	Fc	F.05	F.01
TOTAL	11	38.147				
TRATAMIENTOS	3	32.580	10.860	15.607**	4.070	7.590
ERROR EXPERIMENTAL	8	5.567	0.696			

Var. Total	3.468
Var. Trat.	32.580

Anexo 10: ANVA para la materia orgánica

CONTENIDO DE M.O (%)				
Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1	71.47	56.73	64.90	64.37
T2	57.02	58.04	66.64	60.57
T3	45.94	44.71	42.61	44.42
T4	40.70	43.98	44.61	43.10

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L	S.C	C.M	Fc	F.05	F.01
TOTAL	11	1253.686				
TRATAMIENTOS	3	1074.292	358.097	15.969**	4.070	7.590
ERROR EXPERIMENTAL	8	179.394	22.424			

Var. Total	113.971
Var. Trat.	1074.292

ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MATERIA ORGÁNICA

Anexo 11: Análisis de laboratorio de materia orgánica de los tratamientos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : DAVID VILCA BARDALES
PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ CAJABAMBA/ CONDEBAMBA/ MANGALLANA
MUESTRA DE : COMPOST
REFERENCIA : H.R. 51824
BOLETA : 12567
FECHA : 02/11/15

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
724	ECR 1	9.34	16.90	57.02	2.08	1.89	3.17
725	ECR 2	9.54	17.80	58.04	1.73	1.29	3.65
726	ECR 3	9.30	17.00	66.64	1.96	1.53	3.52
727	ESR 1	9.24	15.00	71.47	1.61	1.11	3.20
728	ESR 2	9.11	13.00	56.73	1.75	1.40	2.26
729	ESR 3	9.19	14.20	64.90	1.83	1.41	2.92

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
724	ECR 1	5.15	1.67	59.93	0.80
725	ECR 2	4.77	2.00	61.44	0.80
726	ECR 3	5.80	2.13	62.16	0.87
727	ESR 1	4.17	2.00	62.55	0.80
728	ESR 2	4.28	1.80	64.19	0.74
729	ESR 3	4.80	1.92	63.27	0.75

Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 12: Análisis de laboratorio de materia orgánica de los tratamientos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : DAVID VILCA BARDALES
 PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ CAJABAMBA/ CONDEBAMBA/ MANGALLANA
 MUESTRA DE : COMPOST
 REFERENCIA : H.R. 51824
 BOLETA : 12567
 FECHA : 02/11/15

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
718	BCR 1	8.39	14.20	40.70	1.23	0.67	2.08
719	BCR 2	8.15	12.50	43.98	1.34	0.63	1.99
720	BCR 3	8.21	14.20	44.61	1.34	0.64	1.73
721	BSR 1	8.27	12.90	45.94	1.24	0.69	1.97
722	BSR 2	8.28	13.70	44.71	1.26	0.68	1.70
723	BSR 3	8.20	12.20	42.61	1.19	0.53	1.56

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
718	BCR 1	3.44	1.92	66.71	0.74
719	BCR 2	3.36	1.75	60.62	0.68
720	BCR 3	4.21	1.84	68.10	0.84
721	BSR 1	3.69	1.75	67.87	0.62
722	BSR 2	3.35	1.71	72.29	0.62
723	BSR 3	3.43	1.57	71.28	0.62



 Dr. Saúl García Bendezu
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LABORATORIO DE POBLACIÓN MICROBIANA

Anexo 13: Análisis de laboratorio de población microbiana de los tratamientos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS MICROBIOLÓGICO POBLACION MICROBIANA

SOLICITANTE : DAVID VILCA BARDALES

MUESTRA DE : COMPOST

PROCEDENCIA: CAJAMARCA/ CAJABAMBA/ CONDEBAMBA/ MANGALLANA

REFERENCIA : H.R. 51825

FECHA : 13/11/2015

Código de muestra	Código de campo	Humedad gravim (%)	Organismos mesófilos totales (UFC/ g compost seco)		
			Bacterias	Actinomicetos	Hongos
505	EST 1	233.91	4.37×10^7	9.70×10^6	2.00×10^5
506	BST 2	143.14	9.50×10^7	2.30×10^7	5.00×10^5
507	ECT 3	176.38	5.30×10^6	1.80×10^6	1.23×10^5
508	BCT 4	151.81	2.25×10^7	1.43×10^6	1.50×10^5

UFC : Unidad formadora de colonia


Dr. Sady García Bendejú
Jefe de Laboratorio de Microbiología

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe