

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de  
residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en  
el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019.**

Lady Cely Castillo Huaman

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTOS**

A los docentes de la Universidad Continental, por su constante colaboración en mi formación como profesional.

Al Dr. Andrés Alberto Azabache Leytón, por iniciar conmigo el proyecto de tesis, animándome de manera constante para la realización de mi proyecto de tesis. Por el apoyo brindado transmitiéndome su conocimiento en cada fase de elaboración de la investigación. Por su paciencia y su tiempo estaré infinitamente agradecida.

De una forma muy especial a mis padres, que siempre estuvieron apoyándome en este gran paso con el que inicia mi vida profesional.

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios Jehová; a mi mamá Lady, por su dedicación; a mi papá Rafael, por su paciencia conmigo; a mis hermanos y docentes, por su apoyo constante en la elaboración de mi proyecto de tesis.

# ÍNDICE

	Página
Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Índice general	iv
Índice de figuras	vii
Índice de tablas	viii
Resumen	x
Abstract	xi
Introducción	xii
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento y caracterización del problema	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.2 Formulación del problema	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 General	2
1.2.2 Específicos	2
1.3 Justificación e importancia	3
1.3.1 Justificación	3
1.3.2 Importancia	3
1.4 Hipótesis y descripción de variables	4
1.4.1 Hipótesis	4
1.4.2 Variables	4
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</b>	<b>6</b>
2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.1.1 Artículos científicos	6
2.1.2 Tesis	8
2.2 Bases teóricas	12
2.2.1 Fundamentos teóricos	12
2.2.1.1 El compostaje	12
2.2.1.2 Los Microorganismos Eficaces (EM)	21
2.2.1.3 La calidad del compost	24
2.3 Definición de términos básicos	26

CAPÍTULO III METODOLOGÍA	29
3.1 Método y alcance de la investigación	29
3.1.1 Método de investigación	29
3.1.1.1 Método general	29
3.1.1.2 Método específico	29
3.1.2 Alcances de la investigación	32
3.2 Diseño de la investigación	33
3.2.1 Procedimiento experimental	34
3.3 Población y muestra	46
3.4 Técnica de recolección de datos	46
3.5 Técnica de análisis de datos	46
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información	47
4.1.1 Humedad	47
4.1.2 Conductividad eléctrica	49
4.1.3 pH	51
4.1.4 Materia orgánica	53
4.1.5 Resultados de macro y microelementos de los tratamientos	55
4.1.5.1 Contenido de macroelementos	55
4.1.5.2 Contenido de microelementos	65
4.1.6 Relación Carbono : Nitrógeno (C:N)	69
4.1.7 Metales pesados	71
4.2 Discusión de resultados	77
4.2.1 Humedad	77
4.2.2 Conductividad eléctrica	77
4.2.3 pH	78
4.2.4 Materia orgánica	78
4.2.5 Nitrógeno	78
4.2.6 Fósforo	79
4.2.7 Potasio	79
4.2.8 Calcio	79
4.2.9 Magnesio	80
4.2.10 Cobre	80
4.2.11 Zinc	80
4.2.12 Relación C:N	81

4.2.13 Plomo	81
4.2.14 Cadmio	81
4.1.15 Cromo	82
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Contenido	Página
1	Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje	17
2	Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje	19
3	Ubicación del lugar experimental. Fuente: Google Earth	35
4	Croquis experimental	37
5	Diagrama de flujo del proyecto experimental	45
6	Contenido de humedad (%) en los tratamientos de compost con EM	48
7	Conductividad eléctrica ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) en los tratamientos de compost con EM	50
8	pH en los tratamientos de compost con EM	52
9	Contenido de materia orgánica (%) en los tratamientos de compost con EM	54
10	Contenido de nitrógeno total (%) en los tratamientos de compost con EM	56
11	Contenido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) en los tratamientos de compost con EM	58
12	Contenido de potasio (% $\text{K}_2\text{O}$ ) en los tratamientos de compost con EM	60
13	Contenido de calcio (% $\text{CaO}$ ) en los tratamientos de compost con EM	62
14	Contenido de Magnesio (% $\text{MgO}$ ) en los tratamientos de compost con EM	64
15	Contenido de cobre (ppm Cu) en los tratamientos de compost con EM	66
16	Contenido de Zinc (ppm Zn) en los tratamientos de compost con EM	68
17	Relación Carbono: Nitrógeno (C:N) en los tratamientos de compost con EM	70
18	Contenido de Plomo total (ppm Pb) en los tratamientos de compost con EM	72
19	Contenido de Cadmio total (ppm Cd) en los tratamientos de compost con EM	74
20	Contenido de Cromo total (ppm Cr) en los tratamientos de compost con EM.	76



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>N°</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1	Operacionalización de las variables en estudio	05
2	Generación de residuos en el Distrito de Huayucachi	13
3	Distribución de la microbiota durante las diferentes etapas del compostaje expresada en unidades formadoras de colonias por gramo	21
4	Parámetros de calidad del compost	26
5	Análisis del compost en laboratorio, al final del experimento.	30
6	Descripción de los tratamientos en estudio	34
7	Características de cada unidad experimental	36
8	Cantidad de materia orgánica utilizada en el proyecto	39
9	Dosis de Microorganismos Eficaces Activados por tratamiento	42
10	Parámetros de análisis del compost	46
11	Resultados del análisis de humedad del compost	47
12	Parámetro físico de calidad del compost	48
13	Resultados del análisis de CE del compost	49
14	Parámetros de calidad del compost para conductividad eléctrica	50
15	Resultados del análisis de pH del compost	51
16	Parámetros de calidad del compost para pH	51
17	Resultados del análisis de MO del compost	53
18	Parámetros de calidad del compost para materia orgánica	53
19	Resultados del análisis de nitrógeno total (Nt) del compost	55
20	Parámetros de calidad del compost para nitrógeno	55
21	Resultados del análisis de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) del compost	57
22	Parámetros de calidad del compost para fósforo	57
23	Resultados del análisis de potasio (K <sub>2</sub> O) del compost	59
24	Parámetros de calidad del compost para potasio	59
25	Resultados del análisis de calcio (CaO) del compost	61
26	Parámetros de calidad del compost para calcio.	61
27	Resultados del análisis de magnesio (MgO) del compost	63
28	Parámetros de calidad del compost para magnesio	63
29	Resultados del análisis de cobre (Cu) del compost	65
30	Parámetros de calidad del compost para cobre.	65

31	Resultados del análisis de zinc (Zn) del compost	67
32	Parámetros de calidad del compost para Zinc	67
33	Resultados del cálculo de la relación C: N del compost	69
34	Parámetros de calidad del compost para la relación C: N	69
35	Resultados del análisis de plomo (Pb) del compost	71
36	Parámetros de calidad del compost para plomo	72
37	Resultados del análisis de cadmio (Cd) del compost	73
38	Parámetros de calidad del compost para cadmio	73
39	Resultados del análisis de cromo (Cr) del compost	75
40	Parámetros de calidad del compost para cromo.	75

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad del compost a partir de la mezcla de 4 tipos de residuos orgánicos: estiércol de vaca, estiércol de oveja, residuos de mercado y restos de cosecha, con la aplicación de 3 dosis de “Microorganismos Eficaces” (EM) al 5 %, realizado en el distrito de Huayucachi, Huancayo. En la investigación, se empleó el método experimental con un diseño completamente al azar, con 12 composteras de 0.8 m x 0.6 m, se monitorearon constantemente los parámetros de temperatura, pH, humedad y conductividad eléctrica. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la UNALM. Los resultados permitieron determinar que los parámetros: humedad, pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, relación C: N, cromo y plomo, se encuentran dentro de los estándares de compost de calidad, según la Norma Técnica Chilena, FAO, IIAP-Iquitos y EPA-Australia. Por otro lado, los metales como cadmio y zinc exceden los estándares de calidad del EPA-Australia y la Norma Técnica Chilena, debido a sus contenidos superiores a 1 ppm. La aplicación de EM al proceso de compostaje incrementó el contenido de humedad, conductividad eléctrica, calcio, cobre, zinc, relación C:N, cadmio y cromo en el compost obtenido, respecto al compost sin aplicación de EM.

**Palabras clave:** *Compost, Microorganismos Eficaces, residuos orgánicos.*

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to evaluate the quality of the compost from the mixture of 4 types of organic waste: cow dung, sheep manure, market waste and crop residues, with the application of 3 doses of "Effective Microorganisms" (EM) at 5%, carried out in the district of Huayucachi, Huancayo. In the investigation the experimental method was used with a completely random design, with 12 composters of 0.8 m x 0.6 m, the parameters of temperature, pH, humidity and electrical conductivity were constantly monitored. The samples were analyzed in the UNALM soil, plant, water and fertilizer analysis laboratory. The results allowed to determine that the parameters: humidity, pH, electrical conductivity, organic matter content, total nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, copper, C: N ratio, chromium and lead, are within compost standards quality, according to the Chilean Technical Standard, FAO, IIAP-Iquitos and EPA-Australia. On the other hand, metals such as cadmium and zinc exceed the quality standards of the EPA-Australia and the Chilean Technical Standard, due to their contents exceeding 1 ppm. The application of MS to the composting process increased the moisture content, electrical conductivity, calcium, copper, zinc, C: N ratio, cadmium and chromium in the compost obtained; regarding compost without EM application.

*Keywords: Compost, Effective Microorganisms, organic waste.*

## INTRODUCCIÓN

El término “residuos sólidos” es general y comprende tanto a la masa heterogénea de los desechos de la comunidad urbana como a la acumulación más homogénea de los residuos agrícolas, industriales y minerales. La acumulación de residuos sólidos es una consecuencia directa de la vida (1).

Con la excepción de los componentes plásticos, de goma y de cuero, la fracción orgánica de la mayoría de los residuos sólidos urbanos está compuesta por proteínas, aminoácidos, lípidos, hidratos de carbono, celulosa, lignina y ceniza (2). Si estos materiales orgánicos se someten a descomposición aerobia microbacteriana, el producto después de cesar casi toda actividad microbiológica es un material de humus comúnmente conocido como compost (1).

En el distrito de Huayucachi, la generación de residuos orgánicos proviene de restos de cosecha y estiércol de animales, debido a que es un distrito que se dedica a la agricultura y ganadería. Este dato estimula a buscar soluciones que permitan procesar o reutilizar estos residuos con fines de producir abonos orgánicos, que pueden ser aplicados al suelo.

La transformación de materia orgánica fresca en compost se lleva a cabo principalmente por tres razones: (1) para superar la fitotoxicidad de la materia orgánica fresca no estabilizada; (2) para reducir la presencia de agentes (virus, bacterias, hongos, parásitos) que son patógenos para el hombre, animales y plantas a un nivel que no constituya riesgo para la salud; y (3) para producir un fertilizante orgánico o un acondicionador de suelo, reciclando desechos orgánicos y biomasa (54).

En general, las características físicas y químicas del compost varían según la naturaleza del material original, las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo la operación de compostaje y la extensión de la descomposición (1).

Para obtener compost de calidad, se debe tener en cuenta una serie de parámetros como la humedad, la salinidad, pH, el contenido de nutrientes, entre otros (3).

La aplicación de Microorganismos Eficaces (EM) durante el proceso de compostaje reduce la contaminación del suelo y controla los malos olores, debido a que son una mezcla de microorganismos benéficos (levaduras, bacterias ácido lácticas y fotosintéticas); el uso de Microorganismos Eficaces ayuda en el proceso de compostaje a aprovechar mejor los residuos orgánicos.

El presente proyecto de investigación propone el uso del producto EM-Compost (Microorganismos Eficaces para Compost), con la finalidad de obtener un compost de mejor calidad que sea utilizado en las chacras de los pobladores del distrito de Huayucachi; de esta forma, los agricultores obtendrán compost orgánico y se evitará el uso de fertilizantes que contaminen el suelo.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

A lo largo del tiempo, el suelo ha sido el encargado de recibir todos los residuos generados por el hombre. Sin embargo, con el avance de la tecnología, se incrementa la contaminación ambiental; por esta razón, se da mayor importancia al control y manejo de los residuos sólidos.

Uno de los problemas ambientales de las actividades agrícolas es la generación de residuos orgánicos, como restos de cosecha, estiércol de animales, fruta caída, entre otros. Este problema se incrementa debido al desconocimiento de su tratamiento, espacio o tiempo. Las prácticas habituales con estos residuos son la quema, el enterramiento o el abandono del material a la intemperie hasta su pudrición. El compostaje proporciona la posibilidad de transformar los residuos orgánicos de una manera segura en insumos para la producción agrícola (3). Para determinar la calidad del compost realizado, se utilizó como referencia la norma de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Norma Técnica Chilena 2880, norma EPA-Australia e investigaciones del Instituto de investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP)-Iquitos. Se consideraron estas normas, ya que en el Perú no contamos con una norma de Calidad para compost; y cada una de ellas tiene diferentes parámetros, que al final se complementan; por ejemplo,

la norma FAO no tiene parámetros de metales pesados, que sí lo tiene el EPA-Australia; el IIAP-Iquitos tiene el parámetro de CE, que no lo tiene FAO y EPA-Australia; y la NTCH tiene parámetros de Calidad por clase (A y B) (3,37,39,38).

De acuerdo al Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, los residuos sólidos son cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse, para ser manejados priorizando la valorización de los residuos y, en último caso, su disposición final.

Según cifras del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), en el año 2018, a nivel nacional, se generó 7 millones 514 mil 031 toneladas de residuos sólidos. El departamento que más contribuyó a la generación de desechos fue Lima con un 44.23% respecto del total; en contraposición del departamento con menor generación de desechos que fue Madre de Dios con un 0.38% del total. El departamento de Junín generó 254 mil 668 toneladas de residuos sólidos, lo cual representa el 3.39% de la cifra a nivel nacional.

Mediante información de la Contraloría, 118 Municipalidades disponen los desechos en un relleno sanitario. Esto se traduce en la creación de focos infecciosos que exponen la salud de las personas que viven y transitan alrededor, la proliferación de plagas y contaminación del ambiente. De esta manera, se utiliza el compost como el proceso mediante el cual la materia orgánica que se desecha (residuos de alimentos, hojas, etc.) puede ser reaprovechada por un proceso de descomposición aerobio (con presencia de aire), que permite generar un abono orgánico rico en nutrientes, que a su vez puede ser utilizado en agricultura, jardinería u otros usos relacionados a la tierra; 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%. Según el manual de compostaje del agricultor, para realizar un correcto proceso de compostaje, se incluye 4 fases: 1) fase mesófila 2) fase termófila o de higienización 3) fase de enfriamiento o mesófila II y 4) fase de maduración. Las diferentes fases se dividen de acuerdo a su temperatura.

Al transcurrir el tiempo y con el avance de la tecnología, se ha optado por utilizar Microorganismos Eficaces (EM), una mezcla de cultivos de microorganismos benéficos, los cuales se presentan naturalmente y pueden ser aplicados como inoculantes para incrementar la diversidad microbiana de suelos y plantas. Los Microorganismos Eficaces contienen especies seleccionadas de microorganismos incluyendo poblaciones predominantes de ácido láctico y levaduras, y un pequeño número de bacterias



fotosintéticas, actinomicetos y otros tipos de organismos. Todos son mutuamente compatibles uno con otro y pueden coexistir en un medio líquido (31).

Actualmente, el distrito de Huayucachi no cuenta con una infraestructura de disposición final de residuos sólidos adecuada, ya que, como en la gran mayoría de ciudades del Perú, solo se cuenta con botaderos, que son acumulados sin el tratamiento adecuado, lo que ocasiona contaminación ambiental, asimismo produciendo enfermedades respiratorias y en la piel. La presente investigación ayudará a reducir la cantidad de materia orgánica que va a los botaderos de basura y aportará los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas de forma natural, debido al uso de materiales orgánicos que se pueden obtener en la zona para lograr que el compost realizado sea de calidad y se pueda utilizar en la agricultura del mismo distrito, mejorando la calidad de sus productos y la economía; asimismo, es una alternativa de solución importante para el tratamiento de los residuos orgánicos que se producen a diario en grandes cantidades y se considera como una alternativa sostenible para las empresas y para los agricultores por el uso de residuos vegetales de mercado y estiércol de animales. La utilización del compost, que se genera con la utilización de diferentes residuos orgánicos mezclados adecuadamente, implica el conocimiento de sus propiedades, para conocer en qué condiciones y en que suelos se puede recomendar, ya sea como enmienda orgánica, como fertilizante o acondicionador (55).

Por esta razón, se propone evaluar la calidad del compost utilizando residuos orgánicos disponibles en Huayucachi con tratamientos de Microorganismos Eficaces para compost (EM-Compost) para ser utilizados en la mejora de suelos agrícolas.

### **1.1.2 Formulación del problema**

#### **General**

¿Cuál es la calidad que tendrá el compost obtenido a partir de residuos orgánicos y Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi?

#### **Específicos**

¿Qué parámetros de calidad presenta el compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi?

¿Cuál es el contenido de metales pesados en el compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 General**

Evaluar la calidad del compost a partir de la mezcla de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi

### **1.2.2 Específicos**

- Describir los parámetros de calidad del compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi
- Determinar el contenido de metales pesados en el compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi

## **1.3 Justificación e importancia**

### **1.3.1 Justificación**

Con el incremento de la inseguridad alimentaria, es necesario buscar alternativas agrícolas que sean amigables con el medio ambiente y que no perjudiquen a las futuras generaciones. Nuestro ecosistema tiene en el suelo uno de sus componentes que paulatinamente ha perdido su capacidad productiva, debido a su inadecuado uso, y que tiene entre sus propiedades bajos contenidos de materia orgánica; esto genera baja calidad de las cosechas, lo cual afecta la salud de las personas.

Las fuentes de materia orgánica que se pueden agregar al suelo son variadas, desde los abonos naturales, como son los estiércoles, el guano de islas, los residuos de cosecha hasta los materiales orgánicos preparados por el hombre, como son el compost, el estiércol de lombriz, el biol, los abonos verdes, el bocashi, entre otros, que, dependiendo de su disponibilidad, pueden ser agregados al suelo para incrementar el contenido de materia orgánica.

El presente trabajo de investigación busca evaluar la calidad del compost, un material orgánico descompuesto, preparado a partir de la mezcla de 4 tipos de residuos orgánicos junto con tres dosis de "Microorganismos Eficaces" (EM) que faciliten la descomposición de la materia orgánica debido a la mayor actividad microbiológica que se genera durante el proceso de compostaje.

En el distrito de Huayucachi, predomina la actividad agrícola y ganadera, generando principalmente estiércoles de ganado vacuno y ovino, los cuales se agregan al suelo en forma fresca o ligeramente descompuestos y en cantidades variables, lo cual disminuye su

efecto sobre la mejora del suelo; en cambio, el compost preparado con EM permite una completa descomposición de los residuos orgánicos y, al agregarlos al suelo, harán más efectiva la mejora de propiedades del suelo y el incremento de la materia orgánica.

### **1.3.2 Importancia**

La obtención de compost de calidad permitirá su uso en los campos agrícolas del distrito de Huayucachi con el fin de mejorar las propiedades del suelo e incrementar el contenido de materia orgánica que favorezca la calidad del suelo e incremente su productividad.

Cuando se añade compost al suelo, se sueltan los suelos compactos, se mejora la estructura de los suelos, favoreciendo la granulación, y se incrementa la capacidad de retención de agua en la mayoría de los suelos, constituyéndose en una enmienda orgánica por excelencia (1).

## **1.4 Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1 Hipótesis**

#### **1.4.1.1 General**

Ho: El compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces no es de buena calidad.

Ha: El compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces es de buena calidad.

#### **1.4.1.2 Específicas**

Los parámetros físico-químicos del compost: humedad, pH, materia orgánica, relación C:N, conductividad eléctrica, contenido de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn, se encuentran dentro de los rangos establecidos de calidad.

El contenido de metales pesados en el compost tendrá valores inferiores a los límites establecidos en la norma establecida por la Autoridad de Protección Ambiental (EPA-Australia) y la Norma Técnica Chilena 2880.

### **1.4.2 Variables:**

- Variables Independientes (X)
- Dosificación de Microorganismos Eficaces
- Tipos de residuos orgánicos

- Variable Dependiente (Y)
- Calidad del compost

Tabla 1. Operacionalización de las variables en estudio.

VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR
<b>INDEPENDIENTES</b>				
<b>(VI):</b> Dosis de Microorganismos Eficaces Tipos de residuos orgánicos	Es una solución inoculante de diferentes microorganismos benéficos aeróbicos como anaeróbicos biosintetizadores de origen natural  Material vegetal proveniente de residuos vegetales y estiércoles de animales	Microorganismos Eficaces Activados  Rastrojos de maíz, restos de mercados y estiércol de animales	ml  kg	Solución de EM (ml): - 0 ml - 500 ml - 1000 ml - 2000 ml  288 kg de mezcla
<b>DEPENDIENTE</b> <b>(VD):</b> Compost	El compost es el resultado final de la descomposición biológica de la materia orgánica. Este proceso se realiza en condiciones controladas y puede ser aerobio (con oxígeno) o anaerobio (sin oxígeno) (12).	Parámetros fisicoquímicos del compost	Niveles de cada parámetro en el compost	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Humedad (%)</li> <li>✓ Materia orgánica (%)</li> <li>✓ Nitrógeno (%)</li> <li>✓ Fosforo (%)</li> <li>✓ Potasio (%)</li> <li>✓ Calcio (%)</li> <li>✓ Magnesio (%)</li> <li>✓ pH</li> <li>✓ C/N</li> <li>✓ Micronutrientes (%)</li> <li>✓ Metales pesados (ppm)</li> </ul>

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación.**

##### **2.1.1 Artículos científicos**

En el artículo científico titulado “Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos”, se tuvo como objetivo analizar las interacciones físicas, químicas y biológicas que pueden darse entre los componentes de una mezcla; se destaca la importancia de caracterizar las mezclas en las que interviene el compost. Se proponen unos criterios de interpretación de los análisis de sustratos y enmiendas por dichos métodos, que son especialmente relevantes cuando el compost es uno de los componentes de la mezcla. Finalmente, se analizan las posibles aplicaciones del compost en el sector profesional de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos, destacándose las limitaciones que presenta su empleo como componente de sustratos (por la elevada salinidad del compost de bio-residuos) y como abono orgánico (por la baja disponibilidad de nitrógeno) (4).

En el trabajo de investigación titulado “Quality Comparison of Conventional Compost, Vermicompost and Chemically-enriched Compost”, se tuvo como objetivo evaluar la calidad química y bioquímica de diferentes composts preparados por métodos de pila y zanjas con el compost convencional. Los diferentes composts: fosfocompost,

fosfocompost enriquecido con nitrógeno, vermicompost y fosfocompost enriquecido con fósforo fueron comparados con el compost convencional. Estos composts fueron producidos usando enmiendas químicas en el caso de composts enriquecidos químicamente, mientras que el vermicompost fue preparado inoculando las lombrices de tierra epigea *Eisenia foetida* y *Perionyx excavatus* con y sin roca fosfatada- El contenido de materia mineral (% cenizas) fue alto en todos los composts enriquecidos en comparación al compost convencional. El Carbono orgánico total y el Carbono soluble en agua fueron bajos, mientras que los constituyentes minerales totales (NPK) fueron altos en el compost enriquecido y en el vermicompost. En general, no hubo variación significativa en el contenido de macro y micronutrientes entre el vermicompost enriquecido con fósforo y los otros composts enriquecidos químicamente; sin embargo, el vermicompost preparado solo por inoculación de lombrices de tierra fue ligeramente mejor que el compost convencional. El periodo de descomposición fue casi el mismo ( $105 \pm 10$  días) entre los composts enriquecidos, mientras que, en el caso del compost convencional, el periodo de descomposición fue  $175 \pm 5$  días. Con respecto a la calidad bioquímica de los composts, se halló que el compost convencional exhibió menor cantidad de fenol total, y actividad de la enzima fosfatasa ácida y alcalina, pero mayor actividad de la enzima deshidrogenasa. La mayor actividad de la enzima deshidrogenasa en el caso del compost convencional es un indicador de la descomposición parcial del compost. No hubo variación en términos de constituyentes químicos y bioquímicos si el método de preparación es por pilas o zanjas. Aunque el vermicompost fue mejor que el compost convencional, podría ser mejorado por el enriquecimiento con roca fosfatada (5).

En el trabajo de investigación titulado “Properties and Applications of an Organic Fertilizer Inoculated with Effective Microorganisms”, se tuvo como objetivo elucidar las propiedades físicas y microbiológicas de un fertilizante orgánico que fue inoculado y fermentado con un inoculante microbial (Microorganismos Efectivos o EM). Los métodos de estimación de la calidad empleados se abordaron mediante la base mecanicista para los efectos benéficos de mejoramiento del suelo y rendimiento del cultivo. Los Microorganismos Efectivos o EM fueron utilizados como inoculantes microbiales, lo cual es un cultivo mezclado de microorganismos benéficos. Los ensayos mostraron que el fertilizante orgánico fermentado contenía grandes poblaciones de *Lactobacillus* spp propagados, antinomietos, bacterias fotosintéticas y levaduras; altas concentraciones de compuestos intermedios tales como ácidos orgánicos y aminoácidos; 0.1% de nitrógeno mineral principalmente en la forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), y 1.0% de fósforo disponible; y una relación C: N de 10. La calidad del fertilizante orgánico fermentado depende del contenido

inicial de agua, la adición de melaza como una fuente de energía y carbón; y el inoculante microbial. El pH del medio parece ser un criterio de calidad de fermentación confiable del fertilizante orgánico sobre la fertilidad del suelo y el crecimiento del cultivo, dependiendo de la fracción orgánica, efectos directos de los microorganismos introducidos y efectos indirectos de los metabolitos de síntesis microbial (fitohormonas y reguladores de crecimiento) (6).

En el trabajo de investigación titulado "Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos", el objetivo del estudio fue acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos; se inocularon pilas de material con una mezcla de microorganismos endógenos. Las bacterias se identificaron como *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* y un hongo, *Aspergillus fumigatus*. Se preparó un inóculo con una concentración de  $1 \times 10^7$  UFC/ml para cada microorganismo y se aplicó, por aspersión,  $2 \text{ L m}^{-3}$ . Se evaluaron los siguientes parámetros: aspecto físico, temperatura, humedad, pH, relación C: N, materia orgánica, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico. Los resultados mostraron que las pilas inoculadas alcanzaron las características de estabilidad y madurez cuatro semanas antes de la pila control sin inoculación. Estos resultados indicaron que el inóculo fue útil para acelerar el proceso de compostaje en residuos urbanos (7).

### **2.1.2 Tesis**

En el trabajo de tesis titulado "Evaluación de Microorganismos Eficaces en procesos de compostaje de residuos de maleza", se tuvo como objetivos: (i) Determinar el tiempo de compostaje mediante la aplicación de EM (Microorganismos Eficaces), (ii) evaluar la calidad del producto del compostaje mediante la aplicación de EM con el método convencional, y (iii) establecer la diferencia del tipo de estiércol (res, pavo y cuy). El trabajo de campo se realizó en las instalaciones de "Cerámica Rivera" en Puente Piedra-Zapallal, Lima, lo cual consistió en la conformación de 6 pilas de compost, 3 pilas con el método convencional y 3 pilas con la aplicación de Microorganismos Eficaces (EM)-diluido en la conformación de la pila. La variación de la temporal de temperatura fue similar en las tres pilas, alcanzando valores por encima de los  $40^{\circ}\text{C}$ , asegurando el adecuado desarrollo de la etapa de termogénica, logrando una higienización de los residuos orgánicos compostados y la amortiguación de olores. Durante el proceso de compostaje, se hizo seguimiento de algunas características físicas encontrándose condiciones similares para el color, pero en el olor mediante la aplicación de EM no se han percibido, mientras que en el método convencional se han generado olores desagradables de Ácido Sulfhídrico



durante el proceso. En la evaluación del compost final, se hallaron valores mayores en las tres pilas haciendo las comparaciones para todas las variables, obteniéndose excelentes concentraciones de materia orgánica y de nutrientes N, P y K. Los valores estuvieron dentro del rango recomendado de pH (5-8.5) y los valores de nutrientes mediante la aplicación de EM en Pavo, Cuy y Res es de N (1.8, 1.96 y 1.64%), P (2.28, 2.35 y 1.95%) y K (2.89, 2.97 y 2.56%), donde fueron superiores al método convencional; Pavo, Cuy, Res: N (1.72, 1.77 y 1.69%), P (2.01, 2.12 y 1.87%) y K (2.44, 2.47 y 2.41%). También el tiempo de proceso de compostaje mediante la aplicación de EM se hizo en la mitad que el método convencional; además, el uso de los diferentes tipos de estiércol nos da valores diferentes porque cada tipo de estiércol tiene diferentes propiedades; por ello, cuando se hace análisis de laboratorio y el proceso de compostaje son diferentes de uno al otro. Según lo evaluado, se puede señalar que las 3 pilas de compost desarrollaron el proceso de compostaje de manera similar en las mismas condiciones, pero de diferentes técnicas de aplicaciones de inoculantes y temperaturas, en el cual ninguno de los sustratos perjudica la producción de EM-compost (40).

En el trabajo de tesis titulado “Determinación de la calidad de compost, elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos en el municipio de Puerto Mayor Carabuco, provincia Camacho, La Paz – Bolivia”, se planteó el uso de residuos sólidos orgánicos como residuos del lago (chanco), estiércoles (vacuno y ovino), residuos de forraje (avena y cebada) y residuos de cosecha (broza de tarwi y haba) como materia prima para el proceso de compostaje. De los resultados obtenidos en el ensayo de campo y hecho el respectivo análisis estadístico, se llega a las siguientes conclusiones: existen diferencias significativas en las mezclas de los cuatro tratamientos en el proceso de compostaje, la adecuada mezcla de esta investigación fue el tratamiento T3, con la siguiente composición: residuos de forraje 40%, mezcla de estiércol de bovino y ovino 30%, residuos del lago 30%, que mejores resultados mostró, logrando obtener en un menor tiempo y motivo por el cual mostró también un mejor rendimiento en comparación de los demás tratamientos. Con relación a la calidad del compost, existen diferencias significativas en los cuatro tratamientos, principalmente por las diferentes combinaciones en porcentajes y mezclas de residuos orgánicos utilizados en esta investigación (8).

El trabajo de tesis titulado “Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de “Microorganismos Eficaces”- Concepción” se realizó con el objetivo de determinar el tiempo y calidad del compost posterior a la aplicación de tres dosis de Microorganismos Eficaces en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos “Centro Ecoturístico de Protección Ambiental Santa Cruz- CEPASC”, en la Provincia de Concepción. Para la

investigación, se empleó el método experimental con un Diseño Completamente al Azar con 04 tratamientos y 03 repeticiones, para lo cual se instaló pilas composteras de 100 x 100 x 30 cm, donde se monitoreó el proceso de compostaje mediante el análisis físico, se analizó las muestras en el laboratorio de análisis de suelos y en el laboratorio de ecología microbiana y biotecnología “Mariano Tabusso” de la Universidad Agraria La Molina. El compost final se obtuvo en 43 días; de acuerdo a la calidad del compost para la Norma Chilena 2880 el tratamiento 0 (Testigo), Tratamiento 1 (T1), tratamiento 2 (T2) y tratamiento 3 (T3), se encuentran dentro de los parámetros generales excepto en la conductividad eléctrica y contenido de metales pesados, lo cual hace que su uso sea restringido para la aplicación a tierra agrícola (9).

En el trabajo de tesis titulado “Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus* sp., *Lactobacillus* sp.), en el proceso de compostaje en la Central Hidroeléctrica Chaglla”, se evaluó una alternativa diferente para la producción de compost a partir del 100% de los residuos orgánicos provenientes de los comedores del campamento de la Central Hidroeléctrica Chaglla por medio de la utilización de Microorganismos Eficientes (EM). Se determinó la producción final de compost en peso y volumen, obteniendo mejores resultados en los lotes del cuarto tratamiento con EM. Finalmente, se enviaron muestras al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina para determinar las características químicas finales del compost obtenido en cada tratamiento. Tales pruebas fueron C/N, Materia Orgánica, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio. Ya teniendo los resultados de análisis de las muestras, se hizo la respectiva comparación con la Norma de Calidad de Compost del Instituto Nacional de Normalización de Chile para evaluar en qué rango se encuentra (Clase A, Clase B o Inmaduro) para la posterior recomendación del uso del compost obtenido en cada tratamiento para uso hortícola (10).

En el trabajo de tesis titulado “Influencia de Microorganismos Eficaces (EM-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016”, desarrollado durante junio a setiembre del año 2016, se tuvo como objetivos determinar la influencia de la dosis de aplicación de microorganismos eficientes (EM-Compost) en los parámetros de calidad del compost preparado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, y determinar la relación entre las dosis de EM y los parámetros de calidad del compost. Se ensayaron cinco dosis de EM-compost: 0%, 2%, 4%, 6% y 8% de EM, dispuestos en un diseño experimental Completamente al Azar, con tres repeticiones, utilizando una mezcla de 20 kg de lodos por

unidad experimental. Los resultados muestran que los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total, potasio total, relación C/N, conductividad eléctrica (CE), humedad, pH y cromo total se encuentran dentro de los parámetros de estándares de calidad, evidenciando la obtención de un compost que puede ser utilizado como abono orgánico para los suelos agrícolas. El contenido de cadmio en el compost supera el límite máximo permisible del EPA - Canadá. El rendimiento de peso final de compost fluctuó entre 70.605% y 76.310%. Se encontró regresión y correlación entre las dosis de EM-compost vs. pH, CE, humedad y rendimiento de peso final (11).

En el trabajo de tesis titulado “Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá “La Modelo” por medio de la utilización de Microorganismos Eficientes (EM)”, se evaluaron diferentes alternativas para la producción de compost; para lograr dicho objetivo, se determinó la cantidad de residuos orgánicos generados y se realizó la caracterización de dichos residuos que van a disposición final para establecer su posterior tratamiento en compostaje con EM. En la caracterización, se hizo la distinción entre la producción de sopa y seco como residuos orgánicos, esto con dos finalidades: la primera, determinar la densidad de los residuos orgánicos generados; la segunda, para determinar la generación de estos residuos en el E.C. Bogotá. Los pesos promedio diarios fueron 336.58 Kg de sopa y 230.16 Kg de seco. Así mismo, se realizó el análisis del compost durante y al finalizar el proceso; este seguimiento se hizo mediante pruebas in situ y ex situ para cada tratamiento. Se implementaron dos tratamientos para producción de compost, en los cuales se variaron la composición de los materiales utilizados para la conformación de las composteras. En el primer tratamiento, se utilizaron aserrín, residuos de comida y pasto; para el segundo tratamiento, se utilizaron papel, cartón, residuos de comida y pasto. Se construyeron cuatro composteras para cada uno de los tratamientos, dos de las cuales se inoculaban con Microorganismos Eficientes (EM). Al terminar el proceso de compostaje, se realizó la caracterización a cada compostera y se determinó que la mejor alternativa para la producción de compost en el E.C. Bogotá, teniendo en cuenta la calidad del compost y los costos de inversión y mantenimiento, fue la del primer tratamiento con EM. Esto se hizo por medio de análisis gráfico experimental. Se determinaron los valores de temperatura, pH y humedad, y sus interrelaciones presentadas en el proceso, y, posteriormente, se compararon con los datos ya establecidos en anteriores investigaciones. Por medio del seguimiento a la variación de temperatura, se evidenciaron las fases del proceso de compostaje, a saber: mesofílica, termofílica (en los que presentaron), de enfriamiento y maduración. Dado que las composteras del proyecto

eran de dimensiones muy pequeñas, no se alcanzaron temperaturas extremas. Así, por ejemplo, la máxima temperatura alcanzada fue de 40 °C. Después de 43 días, se daba por terminado el proceso de compostaje. Se determinó la producción final de compost en peso y volumen, obteniendo mejores resultados en los cajones con EM. Al finalizar el proceso, se enviaron muestras al Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi para determinar las características químicas finales de los composts obtenidos. Tales pruebas fueron humedad, pH, C/N, Materia Orgánica y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Ya teniendo los resultados de análisis de las muestras, se hizo la respectiva recomendación del uso del compost obtenido en cada tratamiento para uso hortícola, teniendo en cuenta si era compost maduro o joven. Como resultado de este proyecto de investigación, uno de los productos de gran utilidad para el Establecimiento Carcelario fue la cartilla de compostaje con EM elaborada por las investigadoras, quedando como complemento de la cartilla ambiental dada por el INPEC para la formación de los internos que laboran en el Plan Ambiental Integral (PAI) (12).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Fundamentos teóricos**

#### **2.2.1.1 El compostaje**

##### **Los residuos orgánicos para el compostaje**

Uno de los problemas ambientales de las explotaciones agrícolas son los residuos orgánicos que se generan (restos de poda, de cosecha, de post-cosecha, estiércol, pasto, fruta caída, entre otros). Normalmente, debido al desconocimiento, a la falta de un espacio adecuado, o de tiempo, las prácticas habituales con estos residuos son la quema, el enterramiento o el abandono del material a la intemperie hasta su putrefacción (3).

Se define como residuo o desecho a todo material, o resto de material, generado en las actividades de producción y consumo que no tiene uso alguno. En función de los recursos disponibles, los “desechos” son materiales fuera de lugar y, desde el punto de vista económico, son el producto del uso ineficiente de los recursos en la producción de bienes y servicios; residuo es cualquier sustancia u objeto del cual se desprenda su poseedor. En el caso específico de los residuos agrícolas, se define como todo aquel material sobrante o desperdicios generados en un establecimiento agropecuario, a menudo son reutilizables y se pueden considerar como un recurso al ser considerados como materia prima para algún proceso, rápidamente adopta un valor en el mercado. Para definir

si determinados residuos tienen potencial de reaprovechamiento, es necesario conocer su naturaleza u origen (13).

Según el Decreto Legislativo N° 1278, los residuos se clasifican, de acuerdo al manejo que reciben, en peligrosos y no peligrosos, y según la autoridad pública competente para su gestión, en municipales y no municipales. Según su grado de descomposición son biodegradables y no biodegradables. Los residuos biodegradables están formados por recursos naturales renovables, como las frutas, restos de cosecha, estiércol de animales y los no biodegradables están formados de recursos naturales no renovables, como los plásticos (derivados del petróleo), latas y chatarras (derivados de metales) y vidrio. (14).

Con el incremento de la población urbana, los residuos sólidos que se generan en el distrito de Huayucachi se van incrementando de manera proporcional. En la tabla, se muestra un incremento tentativo para el 2024 y la producción de residuos municipales (t/año).

Tabla 2. Generación de residuos en el Distrito de Huayucachi.

Año	Población Urbana	GPC urbana del distrito kg/hab/día	Generación RSD en la ciudad de Huayucachi (t/día)	Generación total de residuos sólidos municipales (t/día)	Generación de residuos municipales (t/año)
2014	6 314	0.292	1.844	2.611	952.84
2015	6 377	0.295	1.881	2.655	969.25
2016	6 442	0.298	1.919	2.701	985.97
2017	6 507	0.301	1.958	2.748	1003.00
2018	6 572	0.304	1.997	2.795	1020.34
2019	6 639	0.307	2.037	2.844	1038.01
2020	6 706	0.310	2.079	2.893	1056.00
2021	6 774	0.313	2.121	2.943	1074.32
2022	6 842	0.316	2.163	2.994	1092.98
2023	6 911	0.319	2.207	3.047	1111.99
2024	6 981	0.323	2.252	3.100	1131.36

Fuente: Mejoramiento de la Gestión Integral de Residuos Sólidos del Distrito de Huayucachi, Huancayo, Junín. Miguel A. Carhuallanqui Huamán. Gestión 2011-2014.

La gran mayoría de los materiales orgánicos son compostables. En la siguiente lista, se hace una extensa relación de materiales que se pueden compostar (3):

- Restos de cosecha, plantas del huerto o jardín. Ramas trituradas o troceadas procedentes de podas, hojas caídas de árboles y arbustos. Heno y hierba segada. Césped o pasto (preferiblemente en capas finas y previamente desecado)
- Estiércol de porcino, vacuno, caprino y ovino, y sus camas de corral
- Restos orgánicos de cocina en general (frutas y hortalizas). Alimentos estropeados o caducados. Cáscaras de huevo (preferiblemente trituradas). Restos de café. Restos de té e infusiones. Cáscaras de frutos secos. Cáscaras de naranja, cítricos o piña (pocos y troceadas). Papas estropeadas, podridas o germinadas
- Aceites y grasas comestibles (muy esparcidas y en pequeña cantidad)
- Virutas de serrín (en capas finas)
- Servilletas, pañuelos de papel, papel y cartón (no impresos ni coloreados ni mezclados con plástico)
- Cortes de pelo (no teñido), residuos de esquilado de animales

No se deben incluir materiales inertes, tóxicos o nocivos tales como los siguientes:

- Residuos químico-sintéticos, pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículos, pinturas
- Materiales no degradables (vidrio, metales, plásticos)
- Aglomerados o contrachapados de madera (ni sus virutas o serrín)
- Tabaco, ya que contiene un biocida potente como la nicotina y diversos tóxicos
- Detergentes, productos clorados, antibióticos, residuos de medicamentos
- Animales muertos (estos deben ser incinerados en condiciones especiales o pueden ser compostados en pilas especiales)
- Restos de alimentos cocinados, carne (3)

### **El proceso de compostaje**

El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos en insumos para la producción agrícola. La FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (15).

Sin embargo, no todos los materiales que han sido transformados aeróbicamente son considerados compost. El proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben

cumplirse para obtener compost de calidad. La utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje puede acarrear riesgos como los siguientes:

- **Fitotoxicidad.** El compost que no ha pasado por un correcto proceso de compostaje contiene el nitrógeno en forma de amonio en vez de nitrato. El amonio en temperaturas elevadas y humedad se transforma en amoniaco, dando lugar a un medio tóxico y emitiendo malos olores.
- **Bloqueo biológico del nitrógeno.** Se da en materia orgánica en descomposición que no ha llegado a una relación Carbono- Nitrógeno equilibrada, la cual contiene más Carbono que Nitrógeno. En el suelo, los microorganismos consumen el C presente e incrementan el consumo de N, agotando las reservas de N en el suelo.
- **Reducción de oxígeno radicular.** Cuando no se realiza una correcta descomposición, los microorganismos utilizan el oxígeno presente en el suelo, el cual sigue con el proceso y agota el oxígeno, agotándolo y no dejándolo disponible para las plantas.
- **Exceso de amonio y nitratos en las plantas y contaminación de fuentes de agua.** Un compost con exceso de nitrógeno que se transforma en amonio tiende a perderlo por infiltración en el suelo, lo cual afecta a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. También perjudica a las plantas debido a que existe nitrato en cantidades mayores; en consecuencia, perjudica la calidad del fruto (3).

El compostaje es un proceso biológico en el cual las materias orgánicas se transforman en tierra de humus (abono orgánico) bajo el impacto de microorganismos, de tal manera que sean aseguradas las condiciones necesarias (especialmente temperatura, relación C: N, aireación y humedad) para la realización de la fermentación aeróbica de estas materias. En plantas de compostaje, este proceso natural es optimizado con ayuda de ingeniería. Después del compostaje completo, el producto - la tierra humus que se llama "compost" o "abono" - es impecable desde el punto de vista de la higiene y se puede utilizar para la horticultura, agricultura, silvicultura, el mejoramiento del suelo o la arquitectura del paisaje. 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 % (16).

## Fases del proceso de compostaje

El compostaje se desarrolla en condiciones aeróbicas, teniendo en cuenta la humedad y temperatura. Los microorganismos que se encuentran en el proceso de compostaje, con presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) para crear su propia biomasa. Para obtener un compost adecuado, se debe tener en cuenta las siguientes fases:

- 1) Fase Mesófila (20-40°C). Los residuos orgánicos comienzan el proceso de compostaje a una temperatura ambiente; con el pasar de los días, la temperatura se incrementa, debido a la actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan fuentes sencillas de C y N, lo cual genera calor. En esta fase, predominan géneros de la familia *Nocardíaceae*. La duración de esta fase es entre 2 a 8 días aproximadamente.
- 2) Fase Termófila o de Higienización (40-60°C). Cuando los residuos orgánicos en descomposición alcanzan una temperatura mayor a 45°C, el incremento de temperatura provoca una rápida transición de una microbiota de mesófila a termófila. Los microorganismos que se desarrollan en temperaturas medias se sustituyen por los que se desarrollan a mayores temperaturas, en mayor cantidad (bacterias termófilas), las cuales degradan las fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Los microorganismos transforman el nitrógeno (N) en amoníaco; en consecuencia, el pH del medio sube. La duración de esta fase puede darse de días a meses, según los residuos orgánicos, condiciones climatológicas, lugar de disposición final, entre otros factores. En esta fase, el calor que se genera destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. Puede llegar a una temperatura de 60°C.
- 3) Fase de Enfriamiento o Mesófila II (40-45°C). Una vez agotadas las fuentes de C y N, la temperatura baja hasta los 40 – 45°C. En esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa y se puede observar la presencia de hongos a la vista. Esta fase dura varias semanas y es fácil de ser confundida con la fase de maduración.
- 4) Fase de Maduración (50-20°C). En esta fase, el compost se debe mantener a temperatura ambiente, en la cual no hay reacciones secundarias de condensación o polimeración de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (3).



En la figura 1, se puede observar la variación de la temperatura y pH del compost en un periodo de tiempo de 4 meses, iniciando en la fase mesófila, fase termófila, fase de enfriamiento y finalizando en la fase de maduración.

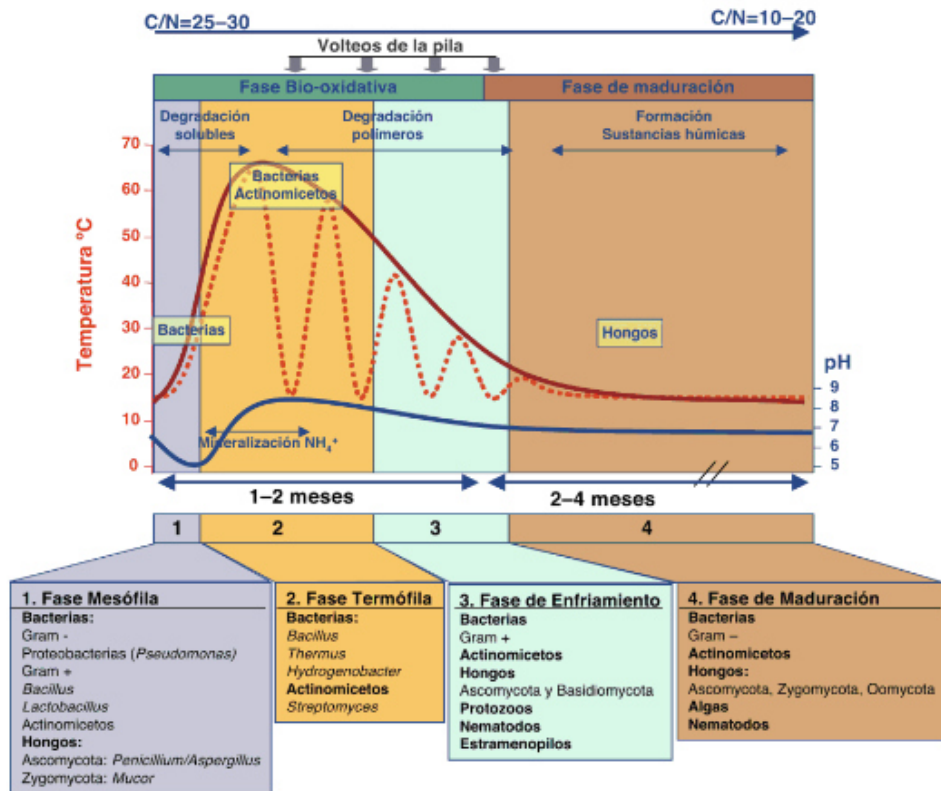


Figura 1. Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje (17).

### Factores que afectan el proceso de compostaje

**pH:** Normalmente, en el proceso de compostaje, se da una caída del pH en la fase inicial, debido a la liberación de ácidos orgánicos de la materia orgánica. Conforme el proceso de descomposición continúa, estos ácidos orgánicos son descompuestos liberándose bases y altos contenidos de amoníaco que ayudan a elevar el pH. En el compostaje de broza de café, reportaron un incremento del pH desde 4.4 hasta 8.25 en el producto final (19). Estos incrementos pueden llegar a niveles como el reportado en compost de desechos de banana, donde encontraron pH finales hasta de 12 (18).

**Humedad:** El contenido de humedad durante el proceso de compostaje tiende a disminuir durante el proceso, dependiendo de la frecuencia de volteo y de las condiciones climáticas. Compost de broza de café bajo techo en la zona de Turrialba, durante los meses de diciembre y enero, mostró un aumento en el contenido de humedad a pesar de una

frecuencia de volteo de cada dos días. Esto se debe al alto contenido de humedad inicial de la broza y a las condiciones climáticas. Altos niveles de humedad limitan la buena oxigenación del proceso y pueden facilitar una mayor pérdida de nitrógeno, tanto por una pobre actividad microbiana aeróbica como porque se crean condiciones de reducción que favorecen la desnitrificación (18).

**Temperatura:** La temperatura durante el proceso de compostaje se debe a la gran actividad microbiana en la mineralización de los materiales orgánicos. La temperatura del compostaje puede ser manejada según los objetivos del productor de abonos orgánicos. Temperaturas mayores de 55°C maximizan la sanidad del proceso. Estas temperaturas son requisitos indispensables en el tratamiento de gallinaza para cumplir con la legislación de Costa Rica (Ley N° 291145-MAG-S-MINAE) y para el tratamiento de todas las excretas animales frescas para cumplir con la normativa de Estados Unidos NOP (7 CFR Parte 205). Pero no son indispensables en ningún caso para el compostaje de desechos vegetales. Temperaturas de 45-55°C favorecen la velocidad de descomposición y temperaturas menores de 45°C favorecen la diversidad microbiana, así como disminuyen la volatilización de nitrógeno (20). El bocashi, por ejemplo, es un proceso de compostaje donde la temperatura no se deja pasar de los 45°C por estas dos razones (21).

En la figura 2, se observa la variación de la temperatura iniciando en la fase Mesofílica donde la temperatura es baja, en la fase Termofílica se incrementa y en la fase Mesofílica y de Maduración va descendiendo. En la fase Mesofílica el pH es ácido, se incrementa en la fase Termofílica y desciende en la fase Mesofílica y de Maduración hasta llegar a ser neutra. A diferencia del oxígeno que desciende en la fase Mesofílica y va ascendiendo en la fase Termofílica, Mesofílica y Maduración respectivamente.

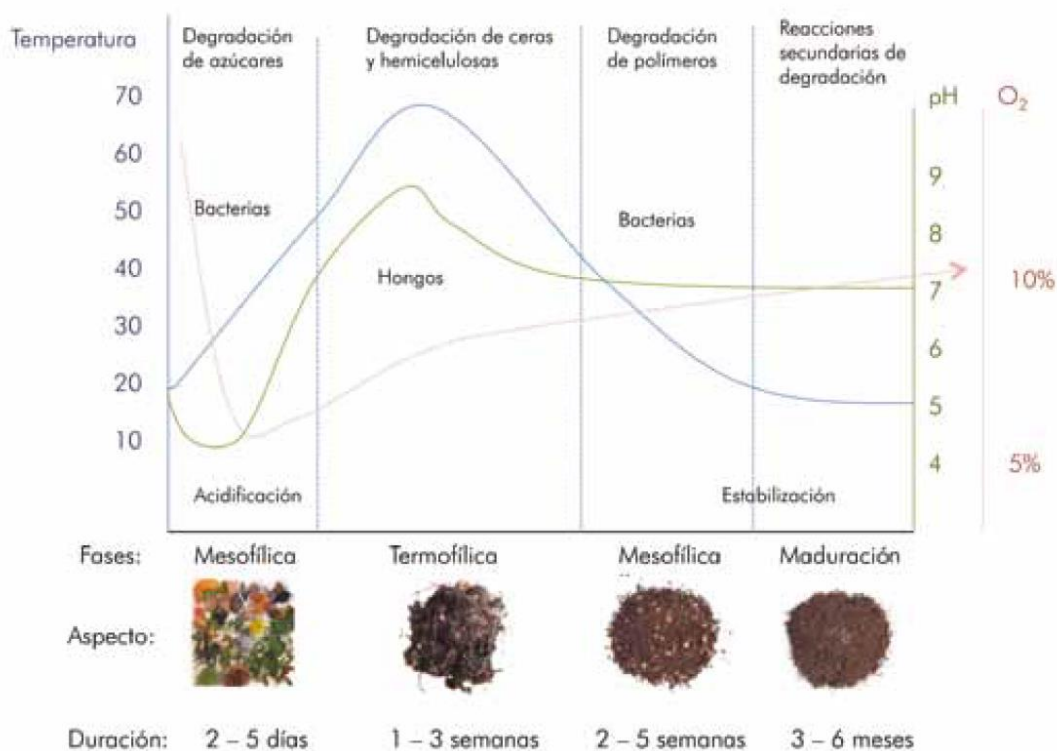


Figura 2. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje (3).

**Oxígeno:** El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera. 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 (Figura 2). 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. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos. 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 (H<sub>2</sub>S) o metano (CH<sub>4</sub>) en exceso (3).

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** Como en todo proceso aerobio o aeróbico, ya sea en el compostaje o aun en la respiración humana, el oxígeno sirve para transformar (oxidar) el C presente en las materias primas (substrato o alimentos) en combustible. A través del proceso de oxidación, el C se transforma en biomasa (más microorganismos) y dióxido de

carbono (CO<sub>2</sub>), o gas producido por la respiración, que es fuente de carbono para las plantas y otros organismos que hacen fotosíntesis. Sin embargo, el CO<sub>2</sub> también es un gas de efecto invernadero; es decir, contribuye al cambio climático. Durante el compostaje, el CO<sub>2</sub> se libera por acción de la respiración de los microorganismos y, por tanto, la concentración varía con la actividad microbiana y con la materia prima utilizada como sustrato. En general, pueden generarse 2 a 3 kilos de CO<sub>2</sub> por cada tonelada, diariamente. El CO<sub>2</sub> producido durante el proceso de compostaje, en general, es considerado de bajo impacto ambiental, por cuanto es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis (3).

### **Los microorganismos en el proceso de compostaje**

Los organismos presentes durante el proceso de compostaje varían dependiendo de los sustratos y las condiciones del proceso. Son sus interacciones y la secuencia en el tiempo los que determinan el tipo de compostaje. Bacterias y hongos se encargan de la fase mesófila, especialmente bacterias del género *Bacillus* sp, aunque existen también algunos *Bacillus* termófilos. El 10% de la descomposición es realizada por bacterias, del 15-30% es realizado por actinomicetes. Después de que los materiales lábiles han desaparecido, los predominantes son los actinomicetes, hongos y levaduras. (22). Se estudiaron las poblaciones de bacterias heterótrofas, actinomicetes y hongos en el proceso de compostaje de gallinaza mezclada con zacate en un 20%, encontrando que las poblaciones de actinomicetes y hongos se redujeron en la fase termófila para aumentar de nuevo en la fase de maduración. Ellas no observaron diferencias en las poblaciones de estos organismos en la profundidad de la pila, aunque se dieron variaciones de temperatura (23). Algunos autores han aislado los microorganismos presentes en las diferentes fases del compost (19, 24), y la variabilidad y la diversidad encontradas son muy altas. Otros autores han preferido determinar la presencia de grupos predominantes, como amonificadoras, denitrificadoras, etc. (23).

En la tabla 3, se presenta los microorganismos que conforman las poblaciones mixtas del proceso de compostaje como las bacterias, actinomicetes y hongos filamentosos. Las bacterias tienen diversidad metabólica que degradan químicamente los compuestos orgánicos. Los actinomicetes degradan compuestos orgánicos complejos y regulan la microbiota rizosférica. Los hongos filamentosos participan en la degradación aeróbica de la materia orgánica.

Tabla 3. Distribución de la microbiota durante las diferentes etapas del compostaje expresado en unidades formadoras de colonias por gramo.

Microorganismos	Etapas de compostaje			Nº especies
	Mesofílica 20°C-40°C	Termofílica 40-70°C	Mesofílica 70°C-20°C	
<b>Bacterias</b>				
mesófilas	10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>11</sup>	6
termófilas	10 <sup>4</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup>	1
<b>Actinomycetes</b>				
termófilos	10 <sup>4</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>5</sup>	14
<b>Hongos</b>				
mesófilos	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>	18
termófilos	10 <sup>3</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>	16

Fuente: (25)

### 2.2.1.2 Los Microorganismos Eficaces (EM)

El concepto de Microorganismos Eficaces (EM) fue desarrollado por el profesor Teruo Higa, Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón (26, 27). EM consiste de un cultivo mixto de microorganismos benéficos, de ocurrencia natural, que pueden ser aplicados como inoculantes para incrementar la diversidad microbial de los suelos y plantas. Investigaciones han arrojado que la inoculación de cultivos de EM al ecosistema suelo/planta pueden mejorar la calidad, salud del suelo y el crecimiento, producción y calidad de los cultivos. EM contiene especies seleccionadas de microorganismos incluyendo poblaciones predominantes de bacterias ácido lácticas y levaduras, y un número más pequeño de bacterias fotosintéticas. Todos estos compatibles mutuamente unos con otros y capaces de coexistir en un cultivo líquido. (58) Los Microorganismos Eficaces no son un sustituto de otras prácticas de manejo. Es una herramienta adicional para optimizar las mejoras prácticas de manejo del suelo y cultivos como, por ejemplo, rotación de cultivos, uso de enmiendas orgánicas, labranza de conservación, reciclaje de residuos de cosechas y biocontrol de plagas. Si son usados apropiadamente, EM puede incrementar significativamente los efectos benéficos de estas prácticas (28).

Los microorganismos son utilizados en la agricultura para varios propósitos, como importante componente de las enmiendas orgánicas y compost, como inoculante de

leguminosas para fijación biológica de nitrógeno, como un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades de las plantas, para incrementar la calidad y productividad de los cultivos, y para reducir las labores. Todas estas están estrechamente relacionadas una con otra. Una importante consideración en la aplicación de microorganismos benéficos a los suelos es el incremento de sus efectos sinérgicos, siendo difícil de lograr si estos microorganismos son aplicados como terapia sintomática, al igual que en el caso de fertilizantes y pesticidas químicos (26, 29).

Si cultivos de microorganismos benéficos son efectivos después de su inoculación en el suelo, es importante que su población inicial esté en un nivel de umbral crítico. Esto ayuda a asegurarse que la cantidad de sustancias bioactivas producidas por ellos sea suficiente para alcanzar los posibles efectos deseados en la producción de cultivos y/o en su protección. Si esas condiciones no se encuentran, la introducción de microorganismos, no importa lo útiles que sean, tendrá un pequeño o ningún efecto. Actualmente, no hay pruebas químicas que puedan predecir la probabilidad de que un microorganismo particular, en la inoculación al suelo, alcance los resultados deseados. La más confiable aproximación es inocular el microorganismo benéfico en el suelo como parte de un cultivo mixto y con una densidad suficientemente alta del inóculo para maximizar la probabilidad de su adaptación al medioambiente y a las condiciones ecológicas (28, 30).

Las aplicaciones de microorganismos benéficos al suelo pueden ayudar a definir la estructura y establecimiento de ecosistemas naturales. La mayor diversidad de la microflora del suelo al igual que sus tipos, números y actividades va a depender de la mayor diversidad de plantas cultivadas que están siendo sembradas y el complejo de químicos en la biomasa. La aplicación de un amplio rango de diferentes enmiendas orgánicas a los suelos puede también ayudar a asegurar una gran diversidad microbiana. Por ejemplo, la combinación de varios residuos de cosechas, estiércoles animales, abonos verdes y desechos municipales aplicados periódicamente al suelo mejorarán los niveles de diversidad microbiana que cuando solo uno de estos materiales es aplicado. La razón de esto es que cada uno de esos materiales orgánicos tiene su propia y única microflora nativa, la que puede afectar ampliamente la residencia de la microflora del suelo después de ser aplicado, al menos por un periodo limitado (31).

### **EM-Compost**

Para obtener el mejor rendimiento del proceso de EM-compostaje, de preferencia se debe tener un lecho o piso impermeabilizado y con pendiente de entre 2% y 3% para facilitar el drenaje de los lixiviados producidos en la fermentación; debe preverse un

pequeño canal que recoja los lixiviados y los conduzca hacia un recipiente no translúcido para su almacenamiento. El material impermeabilizante del piso queda a discreción del técnico, de acuerdo con las condiciones ambientales, edáficas, topográficas y económicas entre otras, de la unidad productiva, pudiendo ser concreto alisado, empedrado, plástico u otro material ya sea natural o sintético. Alrededor del sitio de EM-compostaje, se debe hacer una zanja de por lo menos 10 cm de profundidad, la cual sirva como drenaje pluvial y además evite el ingreso de humedad al lecho, especialmente en lechos con impermeabilizantes naturales. La forma del sitio puede ser variable y ajustada a la disponibilidad espacial (32).

Después de la recepción de la materia a utilizar, se debe colocar la misma húmeda sobre el piso o lecho de la EM-compostera; para obtener mejores resultados, es necesario hacer una mezcla con materia prima alta en contenido de carbono (aserrín o viruta), la cantidad de esta materia prima puede oscilar entre 10-20%. La altura de la EM compostera no debe exceder de 1.5 m, ya que el manejo de forma manual se complicaría si fuese mayor, el ancho y largo de la EM-compostera serán dimensionados de acuerdo a la disponibilidad espacial al momento de recepción, adecuación e inoculación de los EM, a este momento se le denominará día cero. Con una bomba de mochila especialmente destinada al uso de EM, se debe rociar la mezcla de EMA5% mientras se coloca la cerdaza en el piso o lecho de la EM-compostera, asegurándose que toda la materia orgánica quede bien impregnada; de esta manera, los microorganismos benéficos del EM quedarán inoculados en el sustrato y darán inicio al proceso de EM-compostaje. La dosis que se debe utilizar es de 1 a 0.5 litros de EMA por tonelada métrica de cerdaza a tratar en cada una de las aplicaciones. La mezcla de EMA5% se prepara tomando 1 parte de EMA y mezclándola con 2 partes de agua limpia sin clorar; esta mezcla se debe hacer en el momento que se va a utilizar y se debe rociar toda la mezcla preparada para evitar desperdicios y que en ningún momento regrese al envase de EMA restos de EMA diluido. En lugares lluviosos, después de la inoculación de los microorganismos benéficos del EM, se debe cubrir la EM-compostera con un nylon, con el objeto de que las aguas pluviales no ingresen y con ello laven los nutrientes de la materia orgánica, incrementen la cantidad de lixiviados obtenidos ni interfieran con el proceso de fermentación enfriando el sustrato (32).

Después de la inoculación de los EM en el día cero, se debe permitir el proceso de fermentación por los microorganismos, con ello también irá incrementándose temperatura dentro de la EM-compostera por la acción microbiana benéfica de los EM, pudiendo alcanzarse temperaturas por arriba de los 70 °C. Es importante permitir el incremento de la temperatura para la eliminación de semillas de malezas y microorganismos patógenos

que vengan con la materia orgánica; este incremento de la temperatura también eliminará parte de los EM, por lo que es necesario continuar con su adición periódica. En el día 3 del proceso de EM-compostaje, es necesario remover los materiales de los cuales se compone la EM compostera, para liberar el calor generado por la fermentación de la misma por los EM; en este momento, también, se debe adicionar EMA5% en la misma cantidad que se adicionó el día cero. Después de la reinoculación de los EM, es importante monitorear la temperatura de la EM-compostera para evitar que sobrepase los 70 °C; cuando se note un incremento en la temperatura, se debe hacer un volteo, que, además de liberar calor, homogeniza la mezcla. Los volteos de la EM-compostera se deben hacer las veces que el técnico encargado lo considere necesario. En los días 0,3, 5 y 7 del proceso de EM-compostaje, se deben hacer aplicaciones de EMA5% conjuntamente con el volteo para liberar calor; el objeto de la aplicación de los EM es mantener las poblaciones de los microorganismos benéficos a niveles altos. En lo que va del proceso de EM-compostaje, se ha producido gran cantidad de calor que evapora también gran cantidad de agua de la materia orgánica, por lo que la aplicación al 5% repone también parte del agua evaporada y útil para continuar con éxito el proceso de EM-compostaje. En las 4 primeras aplicaciones, se ha aplicado 1 litro de EMA por tonelada de materia orgánica y en las siguientes tres se ha aplicado 0.5 litros de EMA en cada aplicación, lo que significa que se han aplicado 5.5 litros de EMA en total, esto equivale a 0.28 litros de EM1 por tonelada para todo el proceso de EM-compostaje. Para mejores resultados agregar una fuente de carbono; por ejemplo, pulpa de café, aserrín, viruta, olote molido etc. El porcentaje a utilizar puede ser entre 15-20%, no es recomendable utilizar cascarilla de arroz por el alto contenido de sílice y la lenta o casi nula descomposición de la misma (32).

### **2.2.1.3 La calidad del compost**

El concepto de calidad es difícil de definir, ya que ha de tener en cuenta múltiples aspectos y, además, puede ser siempre muy subjetivo. Siempre debería considerarse la calidad del compost a partir de aquellas características que resulten de aplicar un tratamiento respetuoso con el medio ambiente, acorde con una gestión racional de los residuos y que tengan como objetivo fabricar un producto destinado para su uso en el suelo o como sustrato (33).

Dentro de los niveles de calidad deben o pueden establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado, pero siempre habrá unos mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Es necesario definir una calidad general de compost (de acuerdo con



los usuarios potenciales) y además establecer unos parámetros diferenciados para usos diversos, sin querer significar esta afirmación que los máximos permitidos de contaminantes se puedan sobrepasar según el destino. La calidad del compost viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características. Los criterios relevantes en la evaluación de la calidad son los siguientes: destino del producto, protección del entorno, requerimiento del mercado (33).

La calidad de un compost es usualmente determinada por parámetros químicos, los cuales dan una determinación exacta de cada sustancia y los parámetros biológicos, los cuales permiten evaluar la estabilidad del compuesto como un todo. Sin embargo, desde el punto de vista práctico, la madurez del compost puede ser medida basándose en el potencial de utilización para el propósito agrícola, lo que significa que la calidad del compost puede ser evaluada en función a la producción agrícola y en el mejoramiento de las propiedades del suelo (34).

Como determinar la calidad del producto final es una de las áreas de mayor investigación en este momento, actualmente los laboratorios de análisis de suelos y foliares han optado por ofrecer como análisis de compost la digestión total, que permite dar información sobre contenidos totales de nutrimentos. Sin embargo, se sabe que este análisis sobreestima la disponibilidad de nutrimentos al corto plazo, ya que las tasas de liberación van a ser más lentas (34).

Otros análisis que se realizan son análisis de germinación, control de enfermedades, contenido de metales pesados y actividad microbiana. Ramírez y colaboradores de la UCR han desarrollado una metodología que utiliza la actividad microbiana como indicador de la calidad del compost (35, 36).

Tabla 4. Parámetros de calidad para compost.

Parámetro	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)	Autoridad de Protección Ambiental (EPA)-Australia	Instituto de investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP)-Iquitos	Norma Técnica Chilena 2880*
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	-	-	2-4	3 <sup>A</sup> , 8 <sup>B</sup>
pH	6.5-8.6	-	7.0-8.3	5.0-8.5
Materia Orgánica (%9)	>20	-	-	≥20
Humedad (%)	30-40	-	-	30-45
Nitrógeno total (%)	0.3 – 1.5	-	0.8-1.5	≥0.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.1 – 1.0	-	0.4-1.0	-
K <sub>2</sub> O (%)	0.3 – 1.0	-	0.6-1.5	-
CaO (%)	-	-	2-6	-
MgO (%)	-	-	0.2-0.7	-
C:N	10:1-15:1	-	-	≤25 <sup>A</sup> , ≤30 <sup>B</sup>
Cu (ppm)	-	150	-	100 <sup>A</sup> , 1000 <sup>B</sup>
Zn (ppm)	-	300	-	200 <sup>A</sup> , 2000 <sup>B</sup>
Pb (ppm)	-	150	-	100 <sup>A</sup> , 300 <sup>B</sup>
Cd (ppm)	-	1	-	2 <sup>A</sup> , 8 <sup>B</sup>
Cr (ppm)	-	100	-	120 <sup>A</sup> , 600 <sup>B</sup>

Fuentes: (3, 37, 39, 38). \*A, B compost de Clase A y B respectivamente.

Otro parámetro muy importante es el contenido de metales pesados. Si se aplica un compost con alto contenido de metales pesados al suelo, los metales pesados pasan a las aguas subterráneas y a las plantas cultivadas en esa área. Los metales pesados ingeridos por seres humanos o animales aumentan considerablemente el riesgo de algunas enfermedades graves, dentro de las cuales el cáncer es una de las más importantes (16).

### 2.3 Definición de términos básicos

**Residuos sólidos municipales:** Para la OEFA, los residuos sólidos municipales constituyen los residuos de origen doméstico (restos de alimentos, papel, botellas, latas, pañales descartables, entre otros); comercial (papel, embalajes, restos de aseo personal, y similares); aseo urbano (barrido de calles y vías, maleza, entre otros); y de productos

provenientes de actividades que generen residuos similares a estos, los cuales deben ser dispuestos en rellenos sanitarios (41).

**Residuos orgánicos municipales:** Los residuos sólidos orgánicos están constituidos por los residuos biodegradables o sujetos a descomposición (42). Están compuestos por residuos de origen biológico (vegetal o animal) que se descomponen naturalmente, generando gases (dióxido de carbono y metano, entre otros) y lixiviados en los lugares de disposición final. Mediante un tratamiento adecuado, pueden reaprovecharse como fertilizantes (compost, humus, entre otros) (43).

**Compost:** La Norma Chilena conceptualiza compost como el producto que resulta del proceso de compostaje. Está constituido principalmente por materia orgánica estabilizada, donde no se conoce su origen, puesto que se degrada generando partículas más finas y oscuras (38).

**Calidad del compost:** La calidad del compost no es un concepto absoluto, sino que depende de los usos a que se destine. En tal sentido, se conceptualiza como “la capacidad o aptitud del compost para satisfacer las necesidades de las plantas, con un mínimo impacto ambiental y sin riesgo para la salud pública” (44).

**pH:** Es aquella propiedad que establece el grado de acidez o de alcalinidad y tiene una gran influencia en muchas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo o sustratos orgánicos. Por esta razón, es una de sus propiedades más importantes (45).

**Relación C: N.** La relación C: N expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos elementos favorecerá un buen crecimiento y reproducción (46).

**Metales pesados:** El término “metal pesado” ha sido usado por muchos años y generalmente se refiere al grupo de metales y metaloides de masa atómica relativamente alta ( $> 5 \text{ g.cm}^{-3}$ ), especialmente los metales de transición, tales como Pb, Cd y Hg, que pueden causar problemas de toxicidad (47).

**Descomposición:** Es la ruptura química de un compuesto (orgánico o mineral) en compuestos simples, frecuentemente logrado con la ayuda de microorganismos (48).

**Conductividad eléctrica:** La capacidad de una sustancia para conducir o transmitir corriente eléctrica. En suelos o agua, medida en siemens/metro (o frecuentemente  $\text{dS.m}^{-1}$ ), y relacionada a solutos disueltos (48).

**Macronutriente:** Un elemento químico necesario en gran cantidad (usualmente 50 mg/kg en la planta) para el crecimiento de las plantas. Incluye C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S. Macro se refiere a cantidad y no a la esencialidad del elemento (48).

**Microflora:** La parte de la población de plantas que consiste de individuos demasiado pequeños para ser fácilmente distinguibles sin el uso de un microscopio. Incluye actinomicetos, algas, bacterias y hongos (48).

**Micronutrientes:** Un elemento químico necesario en solo cantidades extremadamente pequeñas (<50 mg/kg en la planta) para el crecimiento de las plantas. Ejemplos son los siguientes: B, Cl, Cu, Fe, Mn y Zn. Micro se refiere a la cantidad usada antes que a su esencialidad (48).

**Mineralización:** La conversión de un elemento de una forma orgánica a un estado inorgánico como resultado de la descomposición microbial (48).

**Sinergismo:** La asociación no obligatoria entre organismos que es mutuamente benéfica. Ambas poblaciones pueden sobrevivir en su ambiente natural o solas; sin embargo, la asociación ofrece mutuas ventajas (48).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Método y alcances de la investigación**

##### **3.1.1 Método de la investigación**

###### **3.1.1.1 Método general**

El método general de investigación fue hipotético-deductivo, que consiste en un procedimiento que parte de las aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos (49).

###### **3.1.1.2 Método específico**

El método de investigación específico fue de análisis, donde las muestras de compost de cada tratamiento fueron sometidas al análisis de humedad, conductividad eléctrica, pH, fósforo, potasio, nitrógeno, materia orgánica, calcio, magnesio, plomo, cadmio y cromo, lo cual se detalla en la tabla.

Tabla 05. Análisis del compost en laboratorio, al final del experimento.

<b>Parámetros</b>	<b>Método</b>
Humedad	Gravimétrico (%)
pH	pHmetro
Conductividad eléctrica (CE)	Conductómetro (dS/m)
Materia Orgánica	Walkley y Black (%)
Nitrógeno total	Micro Kjeldahl (%)
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Digestión Vía Seca(%)
Potasio (K <sub>2</sub> O)	Absorción Atómica (%)
Calcio (CaO)	Absorción Atómica (%)
Magnesio (MgO)	Absorción Atómica (%)
Metales pesados (Pb, Cd, Cr)	Absorción Atómica (%)

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes UNALM Lima, Perú.

Descripción de los métodos utilizados para el análisis del compost en el laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes UNALM, Lima, Perú.

- **Humedad**

La muestra de compost que se envió al laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM fue sometida a la aplicación del método de centrifugación a 2000 rpm durante 30 minutos y posterior cuantificación de la humedad por gravimetría.

- **pH**

Se realizó la medición mediante el método de pasta saturada. Se pesó 10 gramos de compost en un vaso de 100 ml, se adicionó agua hasta formar una pasta. Posteriormente, se procedió a la lectura del pH en el potenciómetro sumergiendo el electrodo (50).

- **Conductividad eléctrica**

Para la determinación de la conductividad eléctrica, se obtuvo un extracto acuoso, proveniente de una pasta saturada; midiendo la conductividad eléctrica del extracto de saturación como una medición indirecta del contenido de sales solubles del compost (50).

- **Materia orgánica**

El contenido de materia orgánica del compost final se determinó mediante el método de Walkley y Black. En éste método, el carbono orgánico suelo es oxidado por una mezcla de  $K_2Cr_2O_7$  más  $H_2SO_4$ . El exceso de  $K_2Cr_2O_7$  presente es determinado por titulación con  $FeSO_4$ . El punto de equivalencia en esta relación es dado por el indicador redox: difenil amina sulfúrica. La materia orgánica se estimó asumiendo que ésta contiene 58% de carbono por el factor 1,724 de van Bemmelen (50).

- **Nitrógeno total**

La determinación de nitrógeno total en el compost final se realizó mediante el método Micro Kjeldahl, para lo cual primero se secó la muestra en su totalidad y se molió. En un balón de Micro Kjeldahl de 100 mililitros, se colocó 0,1 gramos de la muestra, se le adicionó  $H_2SO_4$  y catalizador a la muestra para que esta se caliente, convirtiendo al nitrógeno orgánico en  $(NH_4)_2SO_4$ . Luego se destila con la adición de NaOH para dar un carácter salino a la solución, el  $NH_4^+$  se transforma en  $NH_3$ , el cual mediante el sistema de destilación para enfriar el flujo gaseoso da lugar al  $NH_4OH$ , el cual es recolectado en una solución de ácido bórico; se titula con  $H_2SO_4$  hasta que el indicador cambie de color. Los mililitros del ácido usados en esta titulación por la normalidad del ácido equivalen a las milis equivalentes de nitrógeno en la muestra (50).

- **Fósforo ( $P_2O_5$ )**

El método usado fue el de digestión vía seca. Se realizó la calcinación de la muestra en mufla a  $450\text{ }^{\circ}C - 500\text{ }^{\circ}C$  y se obtiene un residuo del cual se extrae el fósforo del compost por digestión con ácido nítrico o clorhídrico. Seguidamente, se toma una alícuota de 1.0 mililitros de dicha solución clorhídrica, se le agrega solución sulfomolibdica, solución reductora (amino-naftol-sulfónico) y agua destilada para formar un complejo soluble de

color azul. Posteriormente, se lee la transmitancia a longitud de onda de 650 nm y se compara con la curva patrón de fósforo a partir del estándar de 80 miligramos de P/L (50).

- **Potasio (K<sub>2</sub>O), Calcio (CaO) y Magnesio (MgO)**

El método utilizado fue la espectrometría de absorción atómica. Se extrajo del compost por digestión con ácido nítrico o perclórico. Seguidamente, se toma una alícuota de dicha solución problema, se le adiciona 9 mililitros de agua destilada y 10 mililitros de solución de lantano al 1% y se coloca en el equipo de espectrometría de absorción atómica. Dentro del equipo, la muestra es conducida al quemador y es atomizada por una llama; al recibir una radiación electromagnética proveniente de una fuente externa, los átomos de potasio absorben dicha radiación; se mide la absorbancia de dicha radiación por los átomos y posteriormente se determina su concentración con el uso de una curva estándar (50).

- **Microelementos (Cu, Zn)**

Para la determinación de los microelementos presentes en el compost final (Cu, Zn), se utilizó el método de espectrometría de absorción atómica. El método consiste en extraer una solución por digestión con ácido nítrico o perclórico, se adiciona agua destilada y una solución de lantano. Posteriormente, se coloca en el equipo de espectrometría de absorción atómica donde la muestra es atomizada por una llama. Al recibir una radiación electromagnética externa, los sólidos se convierten en gas y se atomizan para luego medir la dispersión de la luz que se da en la máquina de plasma (50).

- **Metales pesados (Pb, Cd, Cr)**

Para la determinación de los macro elementos presentes en el compost final (Pb, Cd, Cr), el método usado fue la espectrometría de absorción atómica (50).

### **3.1.2 Alcances de la investigación**

#### **a) Tipo de investigación**

El tipo de investigación fue aplicada, donde se utilizó los principios del proceso de compostaje en la preparación y obtención de un compost preparado con residuos orgánicos vegetales y animales y microorganismos eficaces para medir las propiedades del producto final y su posible uso en la agricultura.



La investigación será aplicada y consiste en realizar trabajos aplicados con la finalidad de adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente a un objetivo práctico específico. Se emprende para determinar los posibles usos de los resultados de la investigación básica o para determinar nuevos métodos o formas de alcanzar objetivos específicos predeterminados (51).

b) **Nivel de investigación**

El nivel del presente trabajo de investigación es descriptivo, pues trata de describir las propiedades del compost preparado según diferentes tratamientos.

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas (52).

**3.2 Diseño de la Investigación**

Se empleará el diseño experimental completamente al azar (D.C.A), con 4 tratamientos (incluido el testigo) y 3 repeticiones. Haciendo un total de 12 unidades experimentales.

Modelo aditivo lineal del diseño experimental:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ : Observación cualesquiera dentro del experimento.

$\mu$ : Media poblacional

$T_i$ : Efecto aleatorio del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\epsilon_{ij}$ : Error experimental

$i$ : 1, 2, 3, 4; tratamientos

$j$ : 1, 2, 3; repeticiones

Tabla 6. Descripción de los tratamientos en estudio.

N° Tratamientos	Mezcla	Dosis de Microorganismos Eficaces (EM) (5%)
T0	Residuos de Mercado + Restos de cosecha+ Estiércol de Ovino + Estiércol de vacuno	Sin dosis
T1	Residuos de Mercado + Restos de cosecha+ Estiércol de Ovino + Estiércol de vacuno	500 ml
T2	Residuos de Mercado + Restos de cosecha+ Estiércol de Ovino + Estiércol de vacuno	1000 ml
T3	Residuos de Mercado + Restos de cosecha+ Estiércol de Ovino + Estiércol de vacuno	2 000 ml

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.1 Procedimiento Experimental

Para iniciar con el proceso, se debe tener un área para la disposición de los residuos orgánicos, teniendo en cuenta los gases que puede emitir; en este caso, el proyecto de investigación se realizó a campo abierto.

#### 3.2.1.1 Localización del lugar de experimentación

El terreno está ubicado en el Anexo de Miraflores, Distrito de Huayucachi, Provincia de Huancayo, ubicado en el Departamento de Junín.

#### 3.2.1.2 Ubicación geográfica del lugar experimental

En coordenadas UTM (WGS84):

- 474378.4 E
- 8656297.8 N
- Altitud: 3186 msnm



Figura 3. Ubicación del lugar experimental. Fuente: Google Earth.

### 3.2.1.3 Delimitación de las unidades experimentales

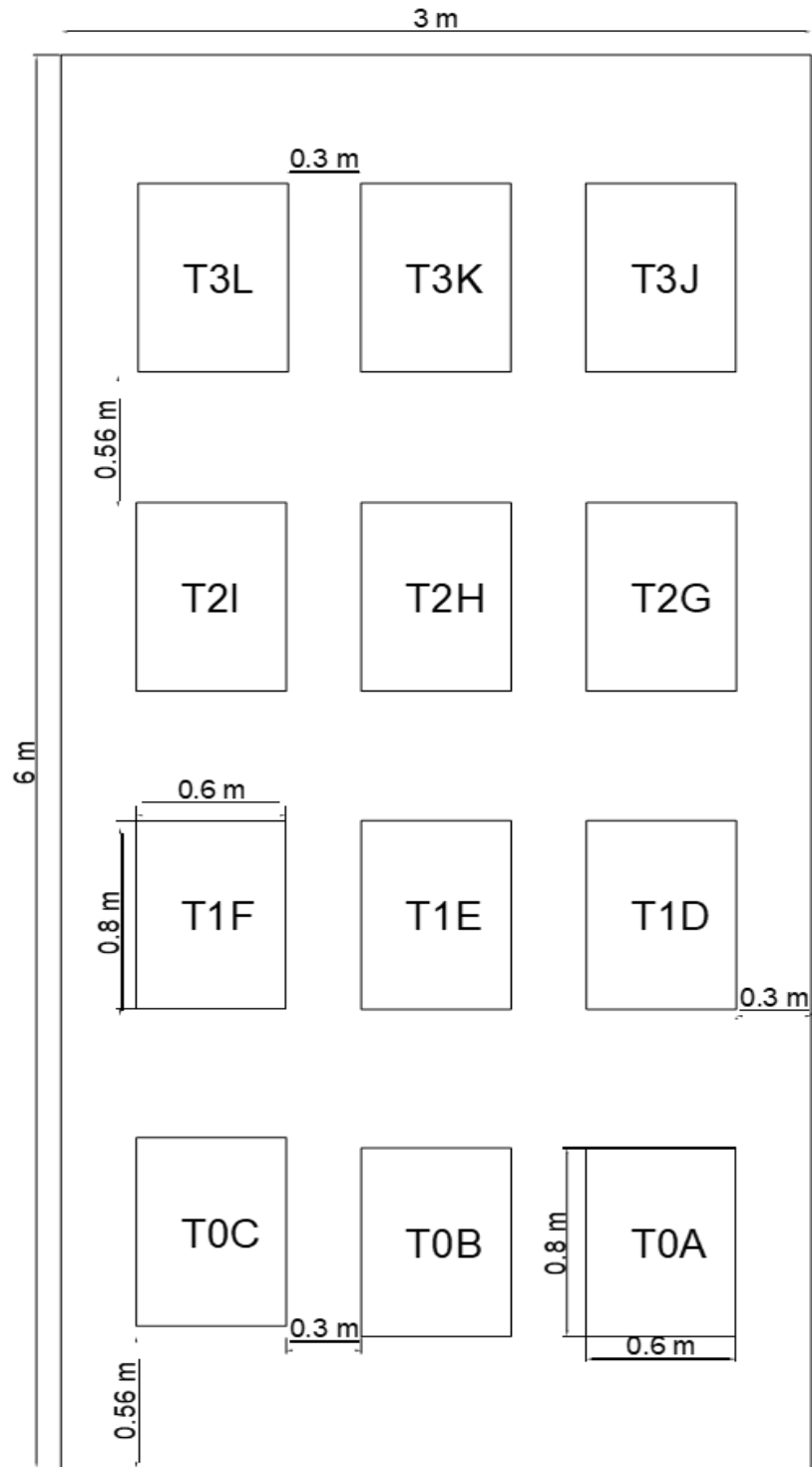
Para la instalación de las unidades experimentales se ocupó un área de 18.00 m<sup>2</sup>, (6 m (largo) x 3 m (ancho)), con una base de 10 cm de rastrojo de campo para obtener un colchón y evitar el exceso de humedad. Para la cobertura del área de compostaje, se utilizó un plástico negro, grueso de 175 micras de espesor con el fin de protegerlo de la lluvia y conservar la temperatura.

Para poder medir de una manera más precisa, se ordenaron las muestras de acuerdo con las dosis de microorganismo eficaces en cada tratamiento, siendo la primera pila de (0 ml), la segunda con (500 ml), la tercera con (1000 ml) y la cuarta con (2000 ml) de microorganismos eficaces, con la finalidad de evaluar la calidad de compost.

Tabla 07. Características de cada unidad experimental

<b>Área</b>	0.48 m <sup>2</sup>
<b>Largo</b>	0.8 m
<b>Ancho</b>	0.6 m
<b>Forma de unidad experimental</b>	Montículo
<b>Altura de cada unidad experimental</b>	20 cm (0.2 m)

Fuente: Elaboración Propia



LEYENDA	
T3L, T3K, T3J	Tratamiento 3 con 2000 ml EM
T2I, T2H, T2G	Tratamiento 2 con 1000 ml EM
T1F, T1E, T1D	Tratamiento 1 con 500 ml EM
T0C, T0B, T0A	Tratamiento 0 sin dosis

Figura 4. Croquis experimental

Fuente: Elaboración Propia

#### **3.2.1.4 Recolección de materia prima**

Para iniciar con el proceso de compostaje, se realizó la recolección de los residuos orgánicos, picado de residuos vegetales y estiércol de vacuno y ovino que se encuentran secos.

##### **a) Residuos de Mercado**

Los residuos vegetales están compuestos por restos de zanahoria, lechuga, tomate, cebolla, zapallo, pepinillo, cáscaras de naranja, espinaca, apio y hojas de choclo, provenientes de los vegetales que no se vendieron y se desecharon, muchos de ellos en el mercado de abastos del campo ferial de Huayucachi.

##### **b) Residuos de cosecha**

Estos residuos provienen de las áreas de cultivo del distrito de Huayucachi; esta zona cuenta con grandes extensiones de sembrío, en épocas de cosecha se dejan de lado los tubérculos de menor tamaño en ellos (papa, zanahoria, habas, entre otros), encontrándose en estado de descomposición y deshidratados por el clima.

##### **c) Estiércol de oveja**

Los residuos de oveja semi seca se obtuvieron de dos establos de Huayucachi y dos establos de la zona ganadera del anexo de Atcas, Distrito de Huantan, Provincia de Yauyos Lima.

El estiércol de oveja se obtuvo de dos lugares diferentes, debido a que en los establos del distrito de Huayucachi no había suficiente estiércol de oveja para realizar el compostaje.

##### **d) Estiércol de vacuno**

Se recolectó el estiércol de vaca seco provenientes de la granja de vacas del anexo de Atcas, distrito de Huantan, Yauyos. Estos residuos fueron trasladados al distrito de Huayucachi donde se realizó el compostaje.

Se recolectó estiércol de vaca por ser útil para mejorar el contenido de nitrógeno y otros nutrientes del compost, además de ser un excelente inóculo microbiano para el proceso.

### 3.2.1.5 Picado de residuos vegetales y estiércol seco

Los residuos vegetales de mercado, restos de cosecha y estiércol de vaca se encontraban enteros y secos, fue necesario realizar el picado para minimizar el tamaño y facilitar la degradación de los residuos, el tamaño final fue de 3 a 6 cm.

Este proceso se realizó de manera manual con un machete y con golpes constantes para minimizar el tamaño y obtener un material homogéneo tanto de restos vegetales y estiércol seco de manera separada, para saber los pesos exactos de cada material orgánico a ingresar en las pilas de compostaje.

### 3.2.1.6 Apilado para dar inicio al compostaje

Se realizó una pila con material orgánico conformado de restos de mercado, residuos de cosecha, estiércol de vaca y estiércol de oveja, teniendo los cuidados de aireación, conservación de la temperatura y humedad. La pila tiene un espesor de 0.20 m de altura en un área de 0.80 m x 0.60 m.

### 3.2.1.7 Conformación de las composteras

Después de la recolección de los residuos orgánicos, se procedió a pesar las muestras para cada pila, tal como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 08. Cantidad de materia orgánica utilizada en el proyecto.

<b>RESIDUOS ORGÁNICOS</b>	<b>PESO POR PILA DE COMPOSTAJE</b>	<b>PESO TOTAL EN LAS 12 PILAS</b>
Residuos de mercado	6 Kg	72 Kg
Restos de cosecha	6 Kg	72 Kg
Estiércol de oveja	6 Kg	72 Kg
Estiércol de vacuno	6 Kg	72 Kg
<b>TOTAL</b>	<b>24 Kg</b>	<b>288 Kg</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### **a) Procedimiento para instalación de pilas de compostaje**

- Para iniciar con las pilas de compost, se removió el suelo a 10 cm de profundidad para que exista aireación de la composta; de esta manera, los fluidos pueden absorberse fácilmente.
- Se construyó una rejilla con palos pequeños para facilitar la aireación.
- Se agregó una capa de 6 Kg de restos de cosecha secos (papa, zanahoria) en cada una de las 12 pilas de compost, las cuales fueron previamente picadas en pequeños trozos de 3 a 6 cm.
- Posteriormente, se agregó 8 Kg de restos de mercado (lechuga, cáscara de naranja, cebollas, tomate, cáscaras de fruta, etc.) en cada una de las 12 pilas de compost.
- Se agregó 5 Kg de estiércol de vaca picado y se vertió en cada una de las 12 pilas de compost.
- Continuando con el proceso, se pesó 5 Kg de estiércol de oveja y se vertió en cada una de las 12 pilas de compost.
- Regamos las pilas de compost utilizando agua de manantial que se encuentra cerca de las pilas de compostaje.
- Se cubrió las pilas de compost con un plástico de doble cara negro y azul de 8 m de largo x 5 m de ancho para proteger el compost del cambio de temperatura ambiente, de tal manera que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización. El compost debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera.

#### **3.2.1.8 Activación de los Microorganismos Eficaces (EM-A)**

El uso de la tecnología de Microorganismos Eficaces (EM) en el proceso de compostaje está orientada a acelerar el proceso de transformación del material, controlar generación de olores y lixiviados y mejorar la calidad microbiológica y nutricional del material final.

Los microorganismos en el EM-Compost se encuentran concentrados, debido a que han estado en latencia por lo cual se tiene



que activar antes de utilizar; para ello, se utilizó una jarra milimétrica de 1 litro para medir los insumos de la mezcla.

- La mezcla consiste en 20 litros, para ello se mezcló 1 litro de melaza de caña que representa el (5%), 18 litros de agua de manantial que representa el (90%) y 1 litro de EM-COMPOST que representa el (5%).
- Toda esta mezcla se vertió en un bidón de plástico de 25 litros con cierre hermético previamente desinfectado, este bidón cuenta con una tapa roscada que permite el cierre hermético de la mezcla.
- La mezcla se dejó reposar hasta que esta fermente por 7 días bajo sombra.
- Transcurrido los 7 días se obtiene EM-Compost – Activado (EMA)

### 3.2.1.9 Inoculación de Microorganismos

Cada unidad experimental contenía 24 Kg de residuos orgánicos mezclados (residuos de mercado, restos de cosecha, estiércol de vaca y estiércol de oveja). El volteo se realizó cada 15 días, adicionando Microorganismos Eficaces Activados (EM-A), de acuerdo a la dosificación que se indica en el cuadro.

Tabla 09. Dosis de Microorganismos Eficaces Activados (EM-A) por tratamiento

<b>Tratamiento 0</b>	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>	<b>Tratamiento 3</b>
<b>Compost (Sin Dosis)</b>	<b>Compost (500 ml EM-A)</b>	<b>Compost (1000 ml EM-A)</b>	<b>Compost (2000 ml EM-A)</b>
En este tratamiento no hubo aplicación de EMA, debido a que es la muestra testigo y sirve como base para la discusión de los resultados, se monitoreó de manera constante la temperatura, humedad y pH.	Se utilizó 500 ml de EMA en cada una de las tres unidades experimentales T1D-T1E-T1F, removiendo el compost para que la aplicación sea asimilada, verificando de manera constante la T°, humedad y pH.	Se utilizó 1000 ml de EMA en cada una de las tres unidades experimentales T2G-T2H-T2I, teniendo en cuenta la remoción para una mejor asimilación del producto, asimismo, verificando la T°, humedad y pH de manera constante.	Se utilizó 2000 ml de EMA en cada una de las tres unidades experimentales T3J-T3K-T3L, removiendo para una mejor asimilación del producto, asimismo, verificando la T°, humedad y pH de manera constante.

Fuente. Elaboración Propia

### **3.2.1.10 Volteo del compost**

Las pilas de compost se mantuvieron cubiertas con plástico negro desde el primer día de instalación de la materia orgánica para dar inicio a la descomposición. La remoción manual se realizó cada 15 días durante 3 meses con la finalidad de homogenizar la mezcla y verificar la temperatura, para eliminar exceso de calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad y, de esta manera, mejorar la ventilación.

### **3.2.1.11 Riego del compost**

El riego se realizó dependiendo de la humedad de las pilas de compost, la cual se verificó con la prueba del puño manteniéndolas en un rango de humedad entre 30 y 40% aproximadamente. Se utilizó una bomba rociadora de presión de 2 litros para realizar el riego de manera más rápida y uniforme en todas las pilas de compostaje.

### **3.2.1.12 Monitoreo del compostaje**

Para determinar parámetros físicos, se obtuvo muestras de cuatro puntos de la misma pila, superficie, base, al centro y contorno de la pila, este procedimiento se aplicó para la temperatura, pH y humedad.

#### **a) Regulación de la Temperatura**

La temperatura se registró desde el primer día de instalación de las pilas, aproximadamente a las 10:00 am.

Para obtener la temperatura, se utilizó el termómetro de mercurio de 100°C, introduciéndolo a cada una de las pilas de compostaje de cada tratamiento.

Los datos se registraron los días lunes, miércoles y viernes de cada semana durante 3 meses.

#### **b) Medición de pH**

Se realizó la medición del pH de cada uno de los tratamientos con el uso de agua destilada, una jarra pequeña de plástico y un potenciómetro. Los datos se tomaron los días lunes, miércoles y viernes a las 10:00 am.

#### **c) Medición de la Humedad**

Para medir la humedad se utilizó el método de la prueba del puño (53). Esta prueba consiste en tomar un puñado del compost en

una mano, posteriormente se le aplica fuerza de manera normal de un brazo, si sale de 8 a 10 gotas, la humedad está en un 80% aproximadamente.

Si no gotea al abrir la mano, el material permanece moldeado, la humedad se encuentra entre un 20 y 30 %. Si el compost se disgrega, entonces está seco con una humedad menor a 20%.

#### **3.2.1.13 Cosecha del Compost**

Para comprobar si el compost se encontraba maduro, se cogió un puñado con las manos y se comprobó que tiene olor a bosque, color negruzco, y no se puede reconocer los residuos orgánicos que se han depositado en las pilas. Después de transcurridos 3 meses, el compost elaborado se encontraba maduro y frío, listo para su respectiva toma de muestras.

#### **3.2.1.14 Proceso de Toma de muestras**

Una vez concluido el proceso de compostaje, se recolecta las muestras de compost por cada tratamiento para ser tamizadas y posteriormente llevadas al laboratorio para analizar los parámetros pertinentes.

Se recogió 2 Kg de compost maduro por cada tratamiento para ser tamizado y llevado al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Para obtener las muestras se aplicó el siguiente procedimiento:

- Se mezcló la muestra de manera uniforme.
- Las muestras se empacaron en bolsas con cierre hermético y se etiquetaron de acuerdo a los tratamientos.
- Se procedió a envasar en bolsas con cierre hermético para ser etiquetados y almacenados en un lugar fresco a temperatura ambiente.

#### **3.2.1.15 Proceso de Tamizado**

Posteriormente, se tamizaron las muestras de compost en el laboratorio de suelos de la Universidad Continental, recolectando 1 Kg de muestra por tratamiento.

### **3.2.1.16 Etapa de laboratorio**

Las muestras debidamente etiquetadas fueron llevadas al laboratorio de suelos de la UNALM para ser analizadas en los parámetros: N, P, K, S, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, B, Materia Orgánica, pH, conductividad eléctrica; de esta manera, se determinará la calidad de compost que se obtuvo en la ejecución del proyecto de investigación.

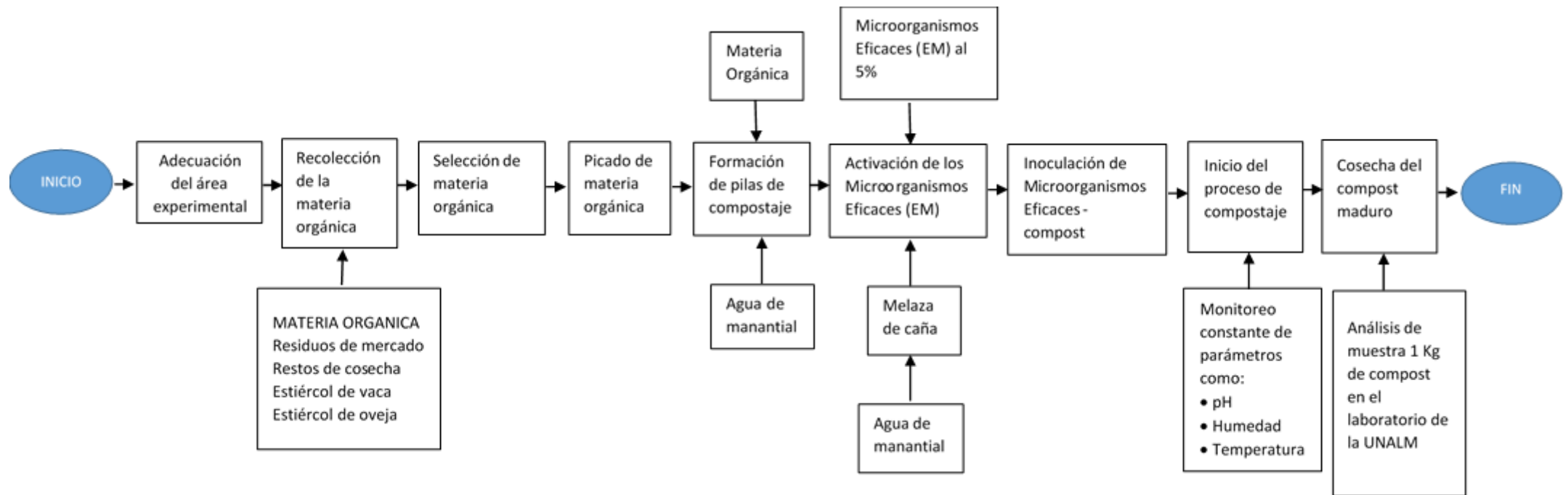


Figura 5. Diagrama de flujo del proyecto experimental

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3 Población y muestra

#### 3.3.1 Población

La población estaba conformada por residuos orgánicos del mercado de abastos del campo ferial de Huayucachi, restos de cosecha, estiércol de vacuno y estiércol de ovino con un peso total de 288 Kg de materia orgánica.

#### 3.3.2 Muestra

La muestra de la investigación estaba conformada por 12 unidades experimentales denominadas composteras, cada una con 24 Kg en cada pila haciendo un total de 288 Kg de residuos orgánicos provenientes de la mezcla de residuos orgánicos (residuos de mercado, restos de cosecha), estiércol (vaca y oveja). La muestra enviada al laboratorio fue 1 kg compost de cada tratamiento

### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los parámetros que se evaluaron se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 10. Parámetros de análisis de compost.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de expresión</b>
Humedad	%
Conductividad Eléctrica	dS.m <sup>-1</sup> .
pH	Unidad
Materia orgánica	%
Relación C/N	-
<b>Macronutrientes:</b>	
Nitrógeno total	%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%
K <sub>2</sub> O	%
CaO	%
MgO	%
<b>Micronutrientes:</b>	
Cobre	%
Zinc	%
<b>Metales pesados:</b>	
Pb total	ppm
Cd total	ppm
Cr total	ppm

Fuente: Elaboración Propia

### **3.5 Técnicas de análisis de datos**

Una vez finalizado el experimento, se procedió a realizar un muestreo de las 12 unidades experimentales. Posteriormente, se realizó la cadena de custodia y se envió 1 Kg por tratamiento para ser analizado en el laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Se sistematizaron los resultados obtenidos y se analizaron los datos a través del análisis descriptivo de estadísticos y gráficos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

Para determinar la calidad del compost realizado en el distrito de Huayucachi, se utilizó como referencia la norma de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Norma Técnica Chilena 2880, norma de la Autoridad de Protección Ambiental (EPA)-Australia y parámetros del Instituto de investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP)-Iquitos.

Se consideraron estas normas, porque en el Perú no contamos con una norma de Calidad para compost; y cada una de ellas tiene diferentes parámetros, que al final se complementan; por ejemplo, la norma FAO no tiene parámetros de metales pesados, que sí lo tiene el EPA-Australia; el IIAP-Iquitos tiene el parámetro de CE, que no lo tiene FAO y EPA-Australia, y la NTCH tiene parámetros de Calidad por clase (A y B) (3,37,39,38).

##### 4.1.1 Humedad

Tabla 11. Resultados del análisis de humedad del compost.

Tratamiento	Descripción	Contenido de humedad
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	27.17
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	31.63
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	37.35
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	40.59

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de ovino, EM = Microorganismos Eficaces.



Tabla 12. Parámetro físico de calidad del (3).

Parámetro	Rango ideal de compost maduro			
	FAO (3)	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	NTCH (38)
Humedad (%)	30 - 40 %	-	-	30 - 45

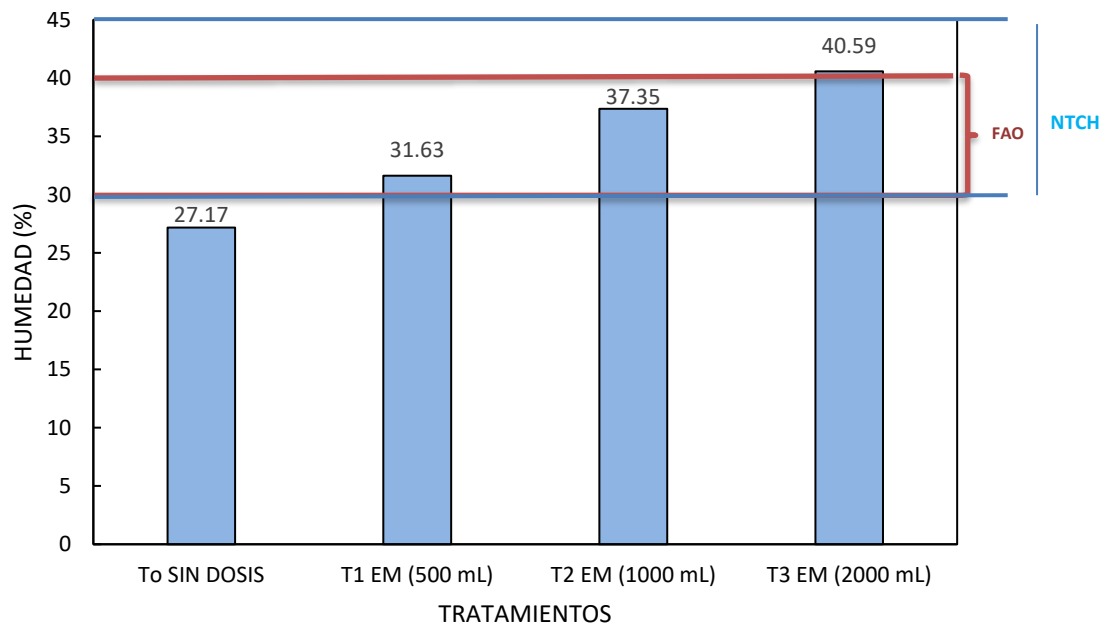


Figura 6. Contenido de humedad (%) en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de Hipótesis:**

**Cola a la derecha:**

Ho:  $\mu_{HD} > 30$

Ha:  $\mu_{HD} < 30$

Nivel de significación = 0.05

Estadística = t

Promedio = 34.19

T = 1.40

p = 0.128

Como  $p > 0.05$  se acepta la Ho; la humedad del compost es = 30%.

### Prueba de hipótesis cola a la izquierda:

Ho:  $\mu_{HD} < 40$

Ha:  $\mu_{HD} > 40$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

Promedio = 34.19

T = -1.95

p = 0.073

Como  $p > 0.05$ , se acepta Ho; la humedad del compost es menor de 40%.

Por lo tanto, el compost obtenido se encuentra en el rango de calidad para HUMEDAD, entre 30 y 40% (tabla 9).

Los contenidos de humedad de los tratamientos de compost con EM se incrementan con la dosis de EM, variando entre 27.17% para el tratamiento testigo a 40.59% para el tratamiento con 2000 ml de EM; todos los tratamientos con EM (T1, T2 y T3) se encuentran dentro del rango de calidad propuesto por la FAO (3); alcanzando un promedio de 34.19% para los tratamientos con EM. Esto se atribuye a la dosis de EM, que permite una mayor descomposición de la mezcla de residuos orgánicos y mayor retención de humedad ( $H_2O$ ), por la presencia de mayor número de cargas eléctricas negativas del compost descompuesto que incrementa la absorción de agua. Estos datos se presentan en la tabla 11 y figura 6.

#### 4.1.2 Conductividad Eléctrica (CE)

Tabla 13. Resultados del análisis de CE del compost.

Tratamiento	Descripción	CE ( $dS \cdot m^{-1}$ )
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	3.01
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	3.43
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	3.97
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	3.26

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 14. Parámetros de calidad de compost para conductividad eléctrica

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	-	-	2-4	3 <sup>A</sup> , 8 <sup>B</sup>

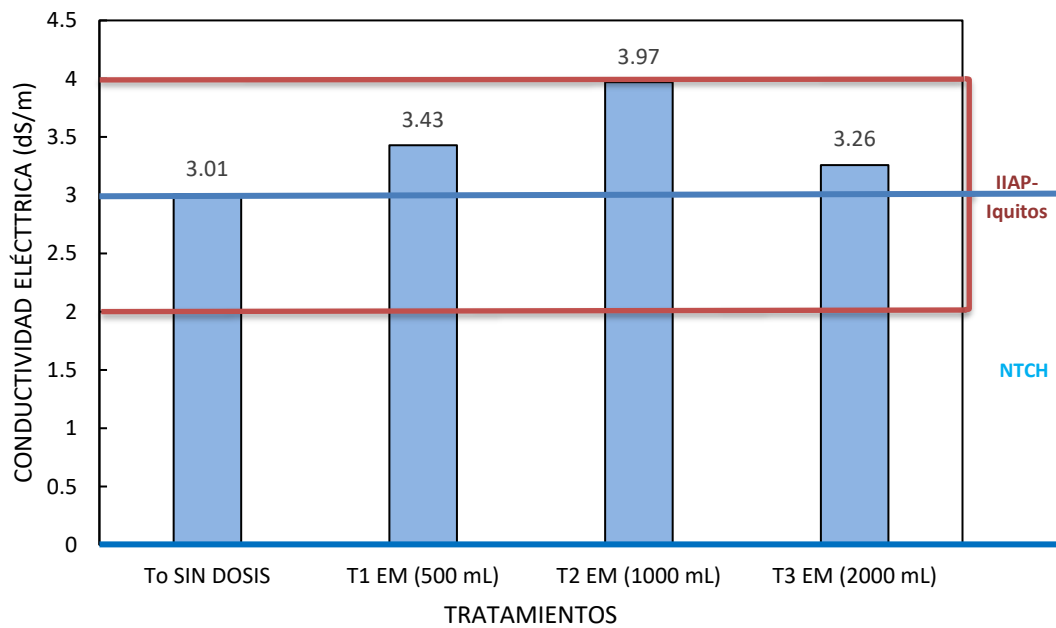


Figura 7. Conductividad eléctrica (dS.m<sup>-1</sup>) en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de hipótesis cola a la izquierda:**

H<sub>0</sub>:  $\mu_{HD} = 4$

H<sub>a</sub>:  $\mu_{HD} < 4$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

Promedio = 3.418

T = -2.86

p = 0.032

Como  $p < 0.05$ , se rechaza H<sub>0</sub>; la humedad del compost es  $< 4$ .

Por lo tanto, el compost obtenido se encuentra en el rango de calidad para Conductividad Eléctrica, menor de 4 dS.m<sup>-1</sup> según la norma de IIAP (39) y de clase “A” según la Norma Técnica Chilena (38).

La conductividad eléctrica (CE) de los compost obtenidos, con la inoculación de “Microorganismos Eficaces”, se encuentra dentro de los parámetros del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP\_Iquitos) y la Norma Técnica Chilena, siendo el promedio de todos los tratamientos, incluyendo el testigo, de 3.418 dS.m<sup>-1</sup>, observándose una menor CE en el tratamiento con 2000 ml de EM; esto se debe a la baja acumulación de sales durante el proceso de formación del compost. Los datos de los resultados obtenidos y los parámetros de calidad se presentan en la tabla 12, 13 y en la figura 7.

#### 4.1.3 pH

Tabla 15. Resultados del análisis de pH del compost.

Tratamiento	Descripción	pH
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	7.18
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	6.97
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	7.21
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	7.44

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 16. Parámetros de calidad de compost para pH

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena
pH	6.5-8.6	-	7.0-8.3	5.0-8.5

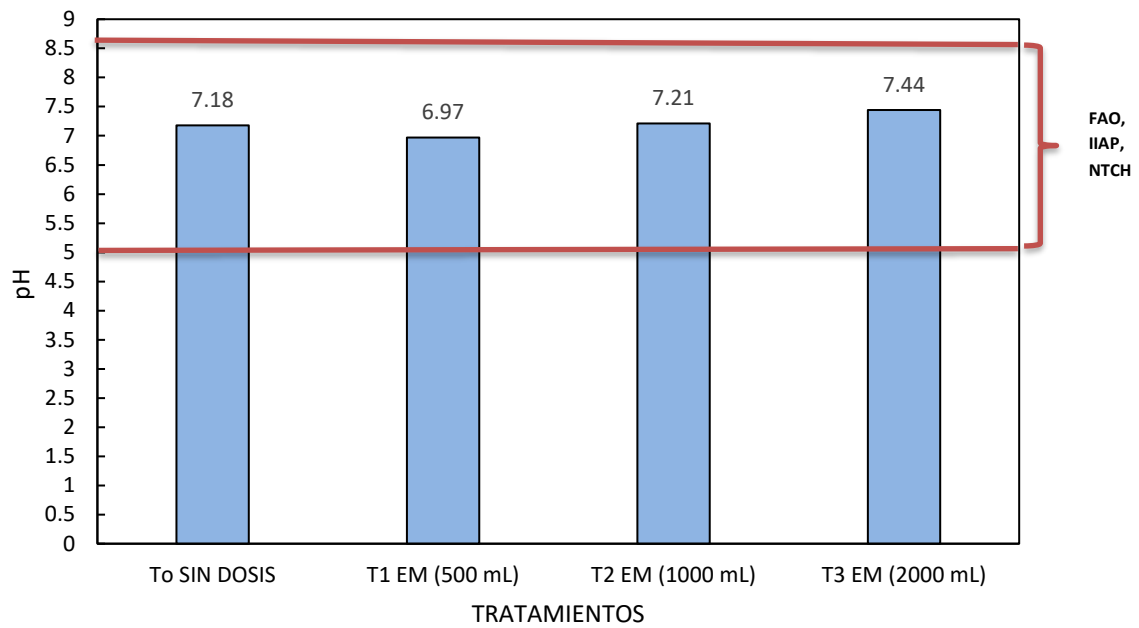


Figura 8. pH en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de Hipótesis:**

**Cola a la derecha:**

Ho:  $\mu = 6.5$

Ha:  $\mu > 6.5$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

Promedio = 7.20

T = 7.28

p = 0.003

Como  $p < 0.05$  se rechaza la Ho; el pH del compost es  $> 6.5\%$ .

**Prueba de hipótesis cola a la izquierda:**

Ho:  $\mu = 8.5$

Ha:  $\mu < 8.5$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

Promedio = 7.20

T = -13.52

p = 0.000

Como  $p < 0.05$ , se rechaza  $H_0$ ; el pH del compost es  $< 8.5$ .

Por lo tanto, el compost obtenido se encuentra en el rango de calidad para pH, entre 6.5 y 8.5, cumpliendo los requisitos de calidad de FAO (3), IIAP (39) y NTCH (38).

Los datos de pH del compost con inoculación de "Microorganismos Eficaces", obtenido en Huayucachi, estuvieron entre 6,97 (T1 EM 500 ml) y 7,44 (T3 EM 2000 ml), con un promedio de 7,20; encontrándose dentro de los rangos de calidad establecidos por la FAO (3), IIAP\_Iquitos (39), y la Norma Técnica Chilena (38). Los datos se presentan en las tablas 15, 16 y la figura 8.

#### 4.1.4 Materia Orgánica (MO)

Tabla 17. Resultados del análisis de MO del compost

Tratamiento	Descripción	MO
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	27.48
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	28.85
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	26.81
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	28.69

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 18. Parámetros de calidad del compost para materia orgánica

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena
Materia Orgánica (%9)	>20	-	-	≥20

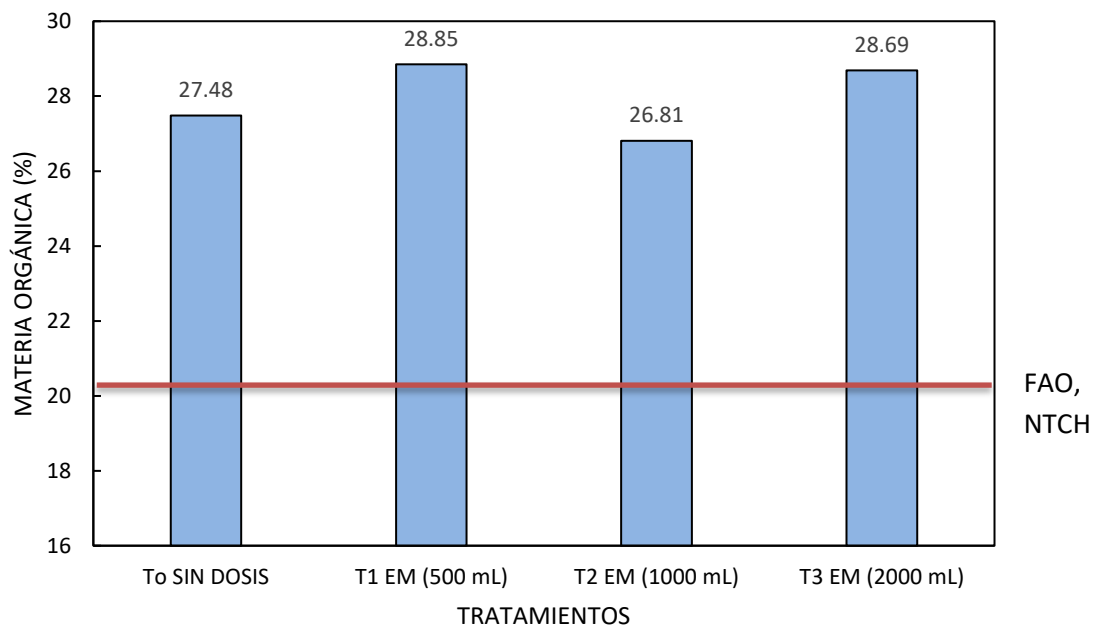


Figura 9. Contenido de materia orgánica (%) en los tratamientos de compost con EM.

### Prueba de Hipótesis:

#### Cola a la derecha:

Ho:  $\mu = 20$

Ha:  $\mu > 20$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

Promedio = 27.958 %

T = 16.25

p = 0.000

Como  $p < 0.05$  se rechaza la Ho; el contenido de materia orgánica de compost es  $> 20\%$ ,

Los contenidos de materia orgánica de los tratamientos de compost con “Microorganismos Eficaces”, superaron los estándares de calidad propuestos por FAO (3) y la Norma Técnica Chilena (38), cuyos datos se presentan en la tabla 15. Los valores encontrados variaron entre 26.81% para el tratamiento T2 EM (1000 ml) hasta 28.85 % en el tratamiento T1 EM (500 ml), con un promedio de 27.958%, muy superior a los valores de calidad. Los datos del contenido de materia orgánica del compost se presentan en la tabla 17 y figura 9. Esto

se debió al contenido de Carbono Orgánico de cada tratamiento de compost, incluyendo el testigo, que refleja el contenido de los insumos vegetales y animales utilizados.

#### 4.1.5 Resultados de macro y micro elementos de los tratamientos

##### 4.1.5.1 Contenido de macro elementos

##### 4.1.5.1.1 El nitrógeno

Tabla 19. Resultados del análisis de nitrógeno total (Nt) del compost

Tratamiento	Descripción	Nt (%)
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	1.0
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	0.98
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	0.94
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	1.00

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 20. Parámetros de calidad de compost para nitrógeno.

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena*
Nitrógeno total (%)	0.3 – 1.5	-	0.8-1.5	≥0.5



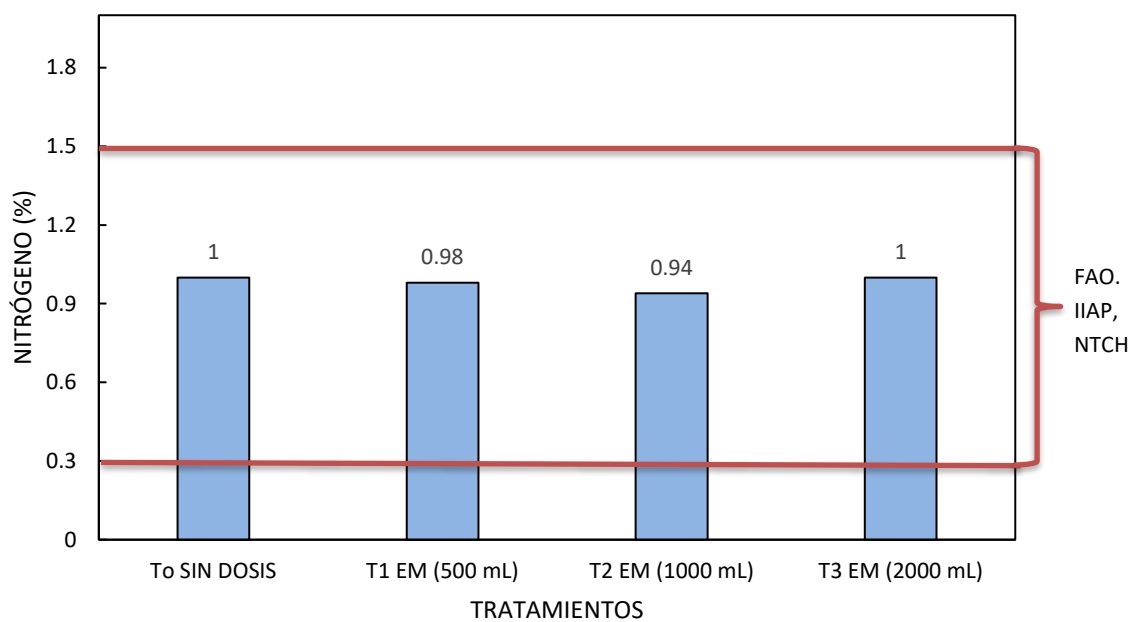


Figura 10. Contenido de nitrógeno total (%) en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de Hipótesis:**

**Cola a la derecha:**

Ho:  $\mu = 0.3$

Ha:  $\mu > 0.3$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

n = 4

Promedio = 0.98

S = 0.0283

Sx = 0.0141

Límite inferior al 95% = 0.9467

T = 48.08

p = 0.000

Como  $p < 0.05$  se rechaza la Ho; el contenido de nitrógeno total del compost es  $> 0.3\%$ .

El nitrógeno total del compost elaborado en el distrito de Huayucachi presenta valores de 0.94 % y 1.00 %, con un promedio de 0.98%, que de acuerdo a los valores de la FAO (0.3%-1.5%), se encuentra dentro del rango de compost de buena calidad que establece la FAO; asimismo, según la norma Chilena 2880 clase A y B ( $\geq 0.5\%$ ) (Tabla 20), por lo tanto se determina que el compost es de buena calidad y al ser incorporado al suelo, mejorará las propiedades de los suelo, realizará un balance adecuado con todos los nutrientes e influirá en el desarrollo de los cultivos. Los datos se presentan en la tabla 19 y figura 10.

#### 4.1.5.1.2 Fósforo

Tabla 21. Resultados del análisis de fósforo ( $P_2O_5$ ) del compost

Tratamiento	Descripción	$P_2O_5$ (%)
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	1.36
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	1.27
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	1.30
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	1.54

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 22. Parámetros de calidad de compost para fósforo.

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena*
$P_2O_5$ (%)	0.1 – 1.0	-	0.4-1.0	-

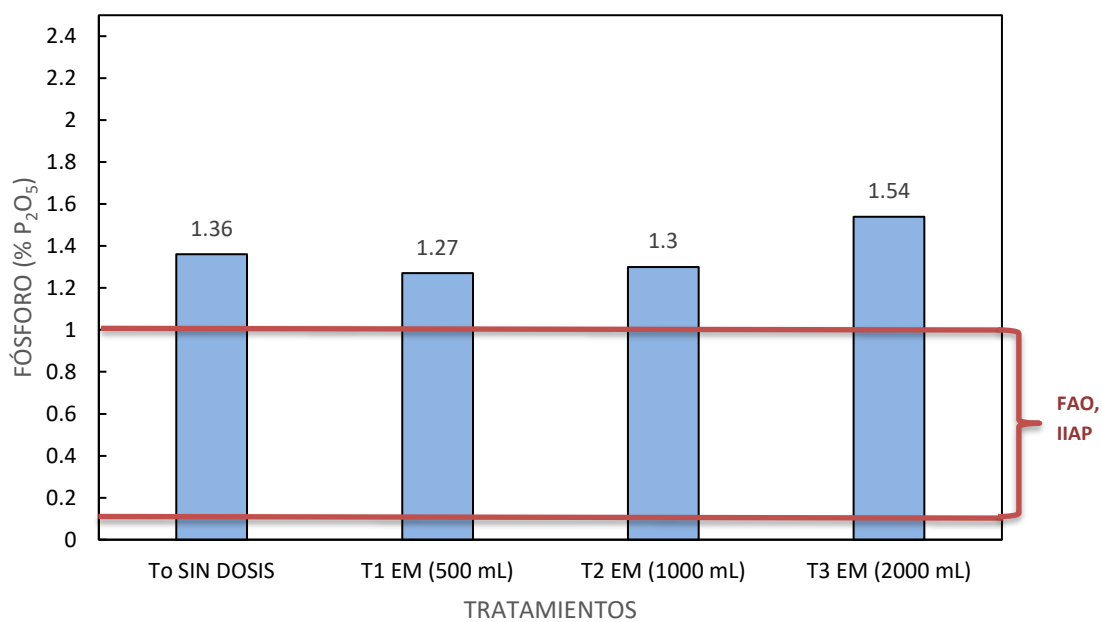


Figura 11. Contenido de fósforo (% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de Hipótesis:**

**Cola a la derecha:**

Ho:  $\mu = 0.229$

Ha:  $\mu > 0.229$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

n = 4

Promedio = 1.3675

S = 0.1209

Sx = 0.0605

Límite inferior al 95% = 1.2252

t = 18.83

p = 0.000

Como  $p < 0.05$  se rechaza la Ho; el contenido de fósforo (%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en el compost es > 0.229%.

El fósforo del compost elaborado en el distrito de Huayucachi con diferentes dosis de EM, presenta valores de 1.27 % para el tratamiento T1 EM (500 ml) y 1.54 % para el tratamiento T3 EM (2000 ml), con un promedio de 1.3675% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, que de acuerdo a los valores de la FAO (0.1% -1.0%), superan el rango establecido de calidad; y con los estándares de calidad del IIAP, se encuentra dentro del rango establecido para compost de buena calidad. Esto demuestra la liberación de P en forma de óxido, por la acción microbiológica de la descomposición de la materia orgánica mezclada. Los datos para los estándares de calidad se presentan en la tabla 22, y los resultados del análisis de compost se presentan en la figura 18 y figura 11.

#### 4.1.5.1.3 Potasio

Tabla 23. Resultados del análisis de potasio (K<sub>2</sub>O) del compost

Tratamiento	Descripción	K <sub>2</sub> O (%)
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	0.47
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	0.46
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	0.57
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	0.55

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 24. Parámetros de calidad del compost para potasio

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena
K <sub>2</sub> O (%)	0.3 – 1.0	-	0.6-1.5	-

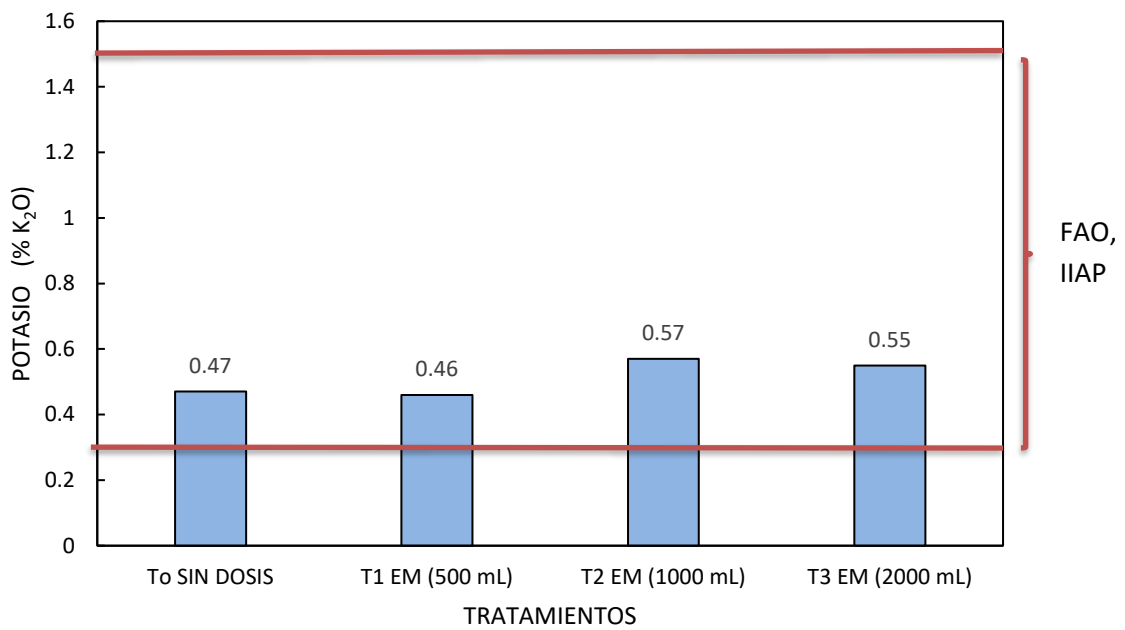


Figura 12. Contenido de potasio (% K<sub>2</sub>O) en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de Hipótesis:**

**Cola a la derecha:**

H<sub>0</sub>:  $\mu = 0.36$

H<sub>a</sub>:  $\mu > 0.369$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

n = 4

Promedio = 0.5125

S = 0.5125

Sx = 0.0556

Límite inferior al 95% = 0.4471

t = 5.49

p = 0.006

Como  $p < 0.05$  se rechaza la H<sub>0</sub>; el contenido de potasio (%K<sub>2</sub>O) en el compost es  $> 0.36\%$ .

El contenido de potasio ( $K_2O$ ) del compost elaborado en el distrito de Huayucachi presenta valores de 0.46 % y 0.57 %, con un promedio de 0.5125 %  $K_2O$ , que de acuerdo a los valores de la FAO (0.3% - 1.0%), se encuentra dentro del rango de calidad establecido; asimismo, según el IIAP\_Iquitos (0.6-1.5), se encuentra dentro de los estándares de Calidad. Los datos de los estándares de calidad se presentan en la tabla 24 y los datos del contenido de potasio del compost de Huayucachi se presentan en la tabla 23 y figura 12.

#### 4.1.5.1.4 Calcio

Tabla 25. Resultados del análisis de calcio (CaO) del compost

Tratamiento	Descripción	CaO (%)
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	5.95
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	7.39
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	7.11
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	6.90

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 26. Parámetros de calidad del compost para calcio.

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena
CaO (%)	-	-	2-6	-

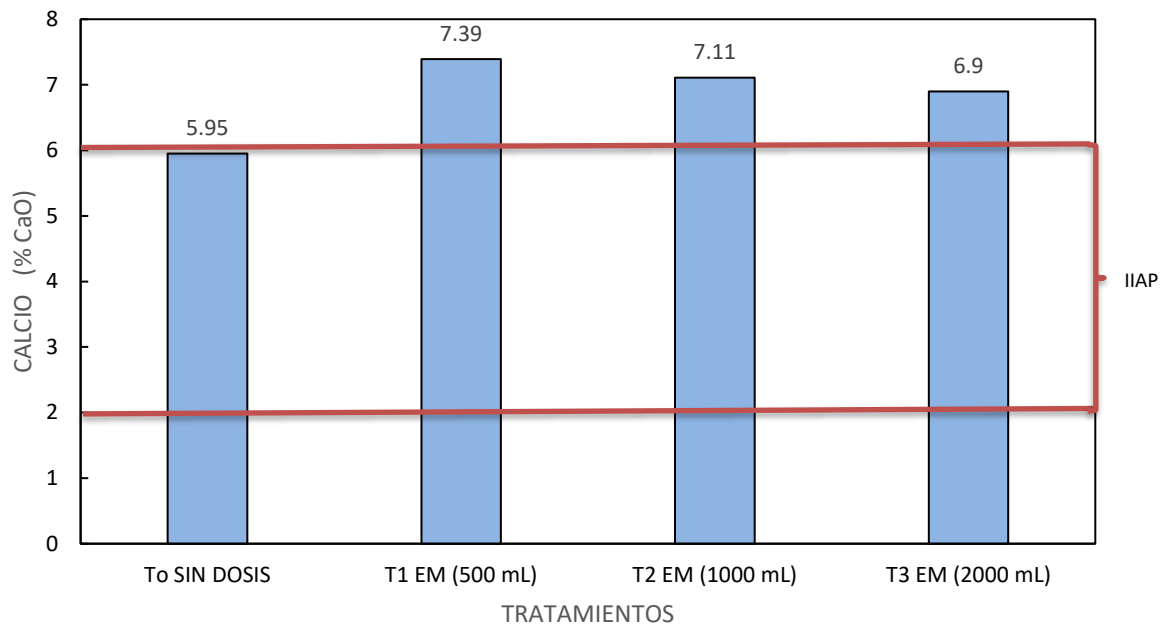


Figura 13. Contenido de calcio (% CaO) en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de Hipótesis:**

**Cola a la derecha:**

$H_0: \mu = 2$

$H_a: \mu > 2$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

$n = 4$

Promedio = 6.838

$S = 0.625$

$S_x = 0.312$

Límite inferior al 95% = 6.102

$t = 15.49$

$p = 0.000$

Como  $p < 0.05$  se rechaza la  $H_0$ ; el contenido de calcio (% CaO) en el compost es  $> 2\%$ .

El calcio total del compost elaborado en el distrito de Huayucachi presenta valores de 5.95 % y 7.39 %, con un promedio de 6.838% CaO, superior a al estándar de calidad del IIAP-Iquitos (39), incluyendo al testigo. Los datos de los estándares de calidad se presentan en la tabla 26, y los datos del compost se presentan en la tabla 25 y figura 13.

#### 4.1.5.1.5 Magnesio

Tabla 27. Resultados del análisis de magnesio (MgO) del compost

Tratamiento	Descripción	MgO (%)
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	1.01
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	1.01
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	0.83
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	0.76

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 28. Parámetros de calidad del compost para magnesio.

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena
MgO (%)	-	-	0.2-0.7	-



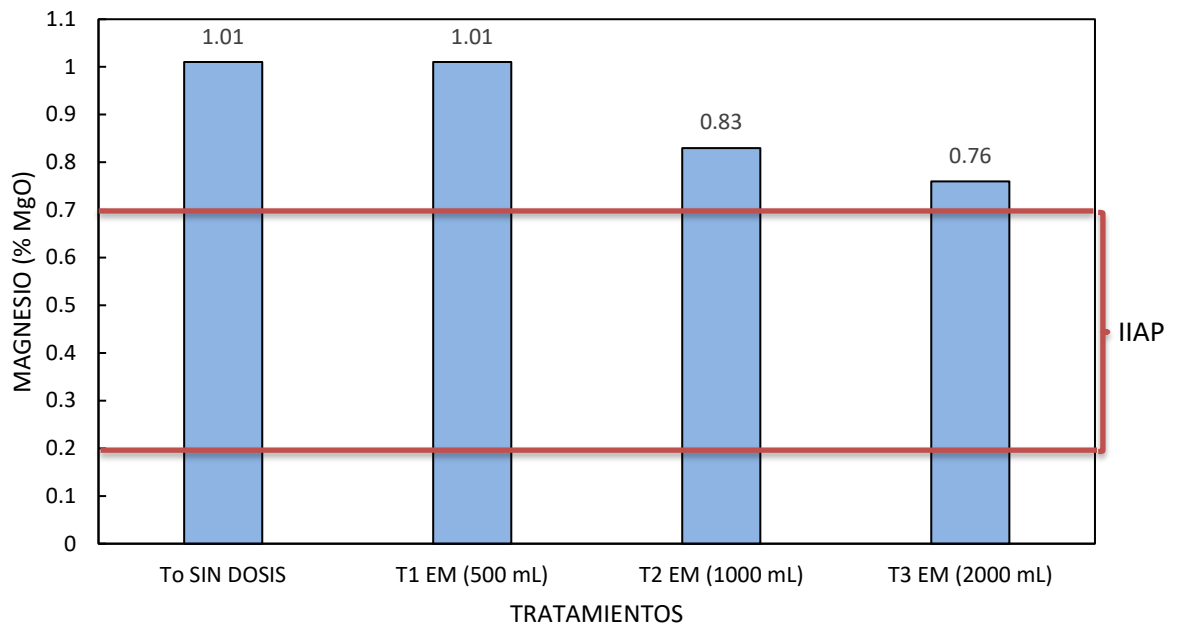


Figura 14. Contenido de Magnesio (% MgO) en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de Hipótesis:**

**Cola a la derecha:**

Ho:  $\mu = 0.2$

Ha:  $\mu > 0.2$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

n = 4

Promedio = 0.9025

S = 0.1274

Sx = 0.0637

Límite inferior al 95% = 0.7526

t = 11.03

p = 0.001

Como  $p < 0.05$  se rechaza la Ho; el contenido de Magnesio (% MgO) en el compost es  $> 0.2\%$ .

El magnesio total del compost elaborado en el distrito de Huayucachi presenta valores de 0.76 % y 1.01 %, con un promedio de 0.9025% MgO, que de acuerdo al parámetro que indica el IIAP-Iquitos (0.2% - 0.7%) (Tabla 28), es superior al rango establecido para compost comerciable de buena calidad. Los datos del contenido de Magnesio en el compost se presentan en la tabla 27 y figura 14.

#### 4.1.5.2 Contenido de micro elementos

##### 4.1.5.2.1 Cobre

Tabla 29. Resultados del análisis de cobre (Cu) del compost

Tratamiento	Descripción	Cu (ppm)
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	12
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	23
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	29
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	22

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 30. Parámetros de calidad del compost para cobre.

Parámetro	FAO	EPA- Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena*
Cu (ppm)	-	150	-	100 <sup>A</sup> , 1000 <sup>B</sup>

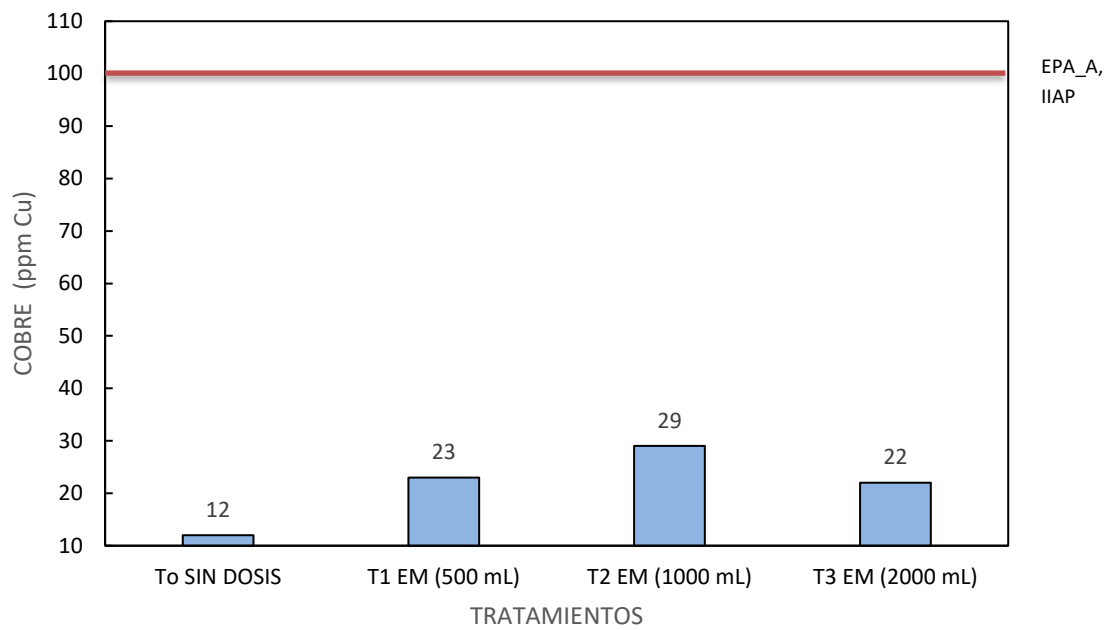


Figura 15. Contenido de cobre (ppm Cu) en los tratamientos de compost con EM.

**Cola a la izquierda:**

Ho:  $\mu = 150$  ppm

Ha:  $\mu < 150$  ppm

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

n = 4

Promedio = 21.50

S = 7.05

Sx = 3.52

Límite inferior al 95% = 29.79

T = -36.47

P = 0.000

Como  $P < 0.05$  se rechaza la Ho; el contenido de cobre en el compost es menor de 150 ppm.

Los resultados obtenidos del Cobre (Cu) en el análisis de compost con inoculación de EM, presenta valores de 22 ppm y 29 ppm para los tratamientos con EM, superior al testigo (0 EM), que solo contenía 12 ppm de Cu, que de acuerdo a la Norma Chilena 2880 que propone para la calidad A (100 ppm), los valores se encuentran dentro del rango establecido; asimismo, según el EPA-Australia (150 ppm), se encuentra dentro de lo establecido para compost comerciable de buena calidad. Los datos de los estándares de calidad se presentan en la tabla 30 y los resultados del análisis de compost se presentan en la tabla 29 y figura 15.

#### 4.1.5.2.2 Zinc

Tabla 31. Resultados del análisis de zinc (Zn) del compost

Tratamiento	Descripción	Zn (ppm)
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	173
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	550
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	370
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	220

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 32. Parámetros de calidad del compost para Zinc

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena*
Zn (ppm)	-	300	-	200 <sup>A</sup> , 2000 <sup>B</sup>

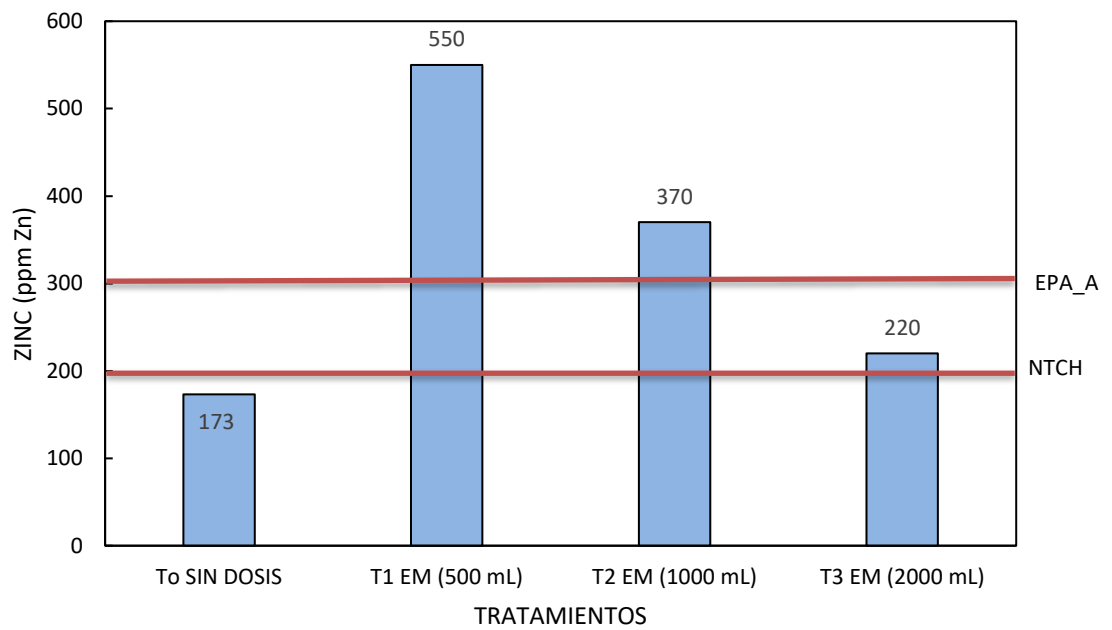


Figura 16. Contenido de Zinc (ppm Zn) en los tratamientos de compost con EM.

**Cola a la izquierda:**

Ho:  $\mu > 300$  ppm

Ha:  $\mu < 300$  ppm

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

n = 4

Promedio = 328.3

S = 170.0

Sx = 85.0

Límite inferior al 95% = 528.3

T = 0.33

p = 0.619

Como  $p > 0.05$  se acepta Ho; el contenido de cobre en el compost es mayor de 300 ppm.

Los tratamientos con 500, 1000 y 2000 ml de EM incrementaron el contenido de Zn en el compost, superando los valores estipulados como parámetros de calidad, según la NTCH y el EPA de Australia, debido a la acción del EM en la descomposición orgánica. Los parámetros de calidad se presentan en la tabla 30, y los resultados de Zn del compost en la tabla 29 y figura 16.

#### 4.1.6 Relación carbono-nitrógeno (C: N)

Tabla 33. Resultados del cálculo de la relación C: N del compost

Tratamiento	Descripción	C:N
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	15.94
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	17.08
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	16.54
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	16.64

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 34. Parámetros de calidad del compost para la relación C:N

Parámetro	FAO	EPA- Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena
C:N	10:1-15:1	-	-	≤25 <sup>A</sup> , ≤30 <sup>B</sup>

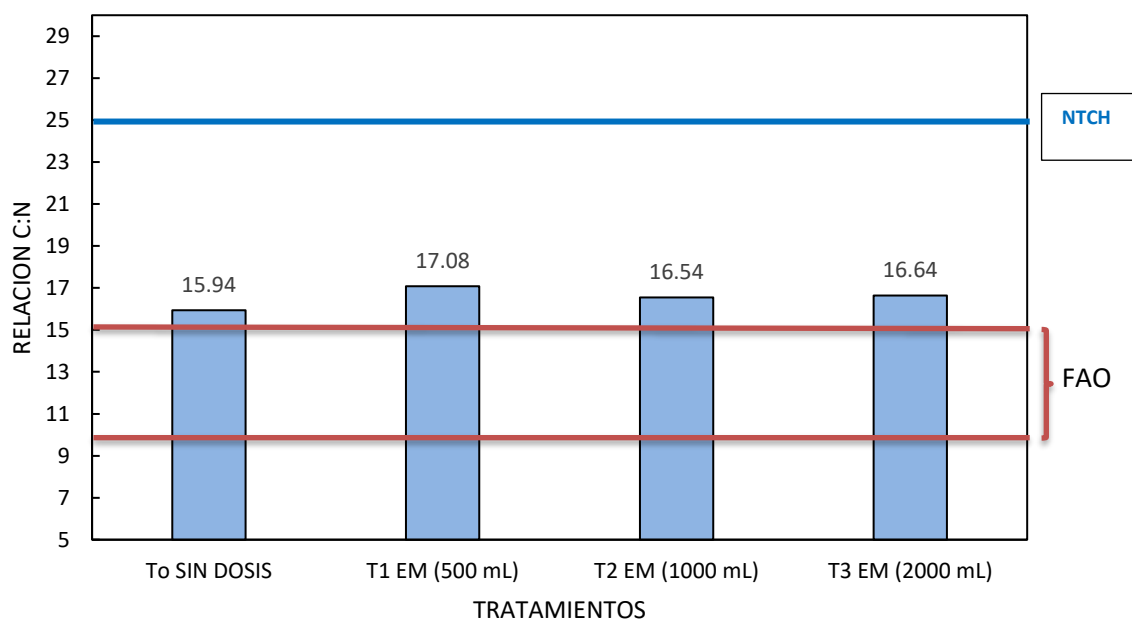


Figura 17. Relación Carbono: Nitrógeno (C:N) en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de Hipótesis:**

**Cola a la derecha:**

Ho:  $\mu = 10/1$

Ha:  $\mu > 10/1$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

n = 4

Promedio = 16.55

S = 0.469

Sx = 0.235

Límite inferior al 95% = 15.998

T = 27.90

P = 0.000

Como  $p < 0.05$  se rechaza la Ho; la relación C/N del compost es  $> 10$ .

### Cola a la izquierda:

Ho:  $\mu = 15/1$

Ha:  $\mu > 15/1$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

n = 4

Promedio = 16.55

S = 0.469

Sx = 0.235

Límite inferior al 95% = 15.998

T = 6.60

p = 0.004

Como  $p < 0.05$  se rechaza la Ho; la relación C/N del compost es  $> 15$ .

Por lo tanto, se verifica la hipótesis que el compost tiene una relación C/N  $> 10$ , pero también supera el valor de 15.

La relación carbono: nitrógeno (C: N) presenta valores de 15.940 y 17.076, con un promedio de 16.55; superior al rango establecido por la FAO (10:1 a 15:1), pero dentro del rango establecido por la norma chilena 2880, calidad A ( $\leq 25$ ). Los datos de los estándares de calidad se presentan en la tabla 34 y los resultados de análisis de compost se presentan en la tabla 33 y figura 17.

### 4.1.7 Metales pesados

#### 4.1.7.1 Plomo

Tabla 35. Resultados del análisis de plomo (Pb) del compost

Tratamiento	Descripción	Pb (ppm)
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	45.35
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	50.65
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	47.63
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	34.55

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.



Tabla 36. Parámetros de calidad de compost para plomo.

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena
Pb (ppm)	-	150	-	100 <sup>A</sup> , 300 <sup>B</sup>

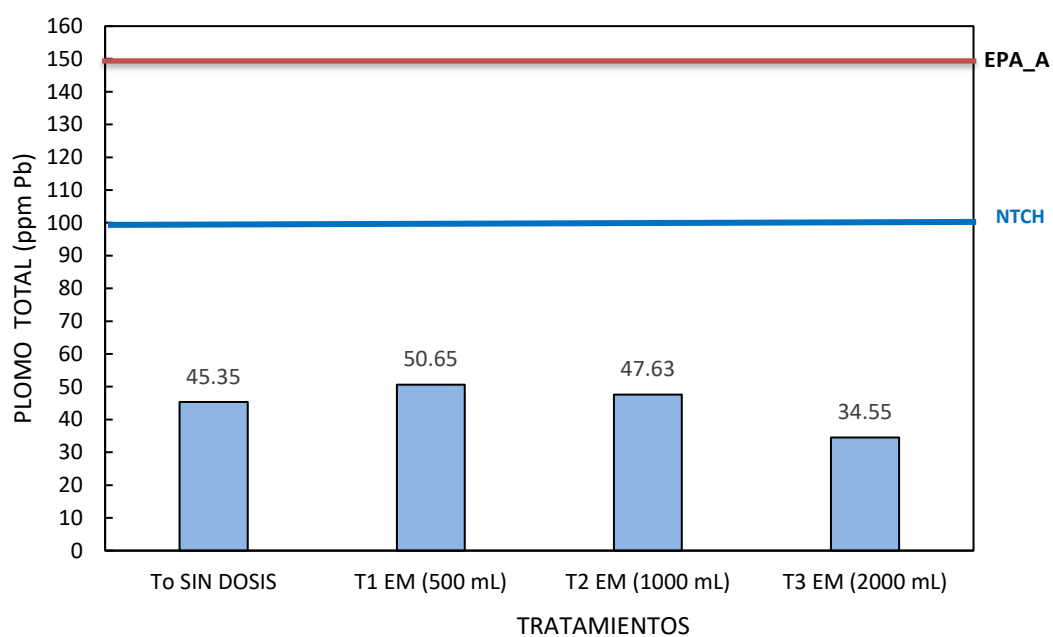


Figura 18. Contenido de Plomo total (ppm Pb) en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de Hipótesis:**

**Cola a la izquierda:**

Ho:  $\mu < 150$

Ha:  $\mu > 150$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

n = 4

Promedio = 44.55

S = 7.01

Sx = 3.50

Límite inferior al 95% = 36.30

T = -30.10

p = 1.000

Como  $p > 0.05$  se acepta la  $H_0$ ; el contenido de plomo en el compost es menor a 150 ppm.

El contenido de plomo en el compost elaborado en el distrito de Huayucachi presenta valores entre 34.55 ppm y 50.65 ppm, con un promedio de 44.55 ppm, que de acuerdo a la norma chilena (100 ppm) y el EPA-Australia (150 ppm) no superan los límites para la cantidad de plomo que se encuentra en cada tratamiento. Este es un metal pesado tóxico para los organismos cuando supera los estándares de calidad.

#### 4.1.7.2 Cadmio

Tabla 37. Resultados del análisis de cadmio (Cd) del compost

Tratamiento	Descripción	Cd (ppm)
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	2.75
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	4.45
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	4.55
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	3.68

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces.

Tabla 38. Parámetros de calidad de compost para cadmio.

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena
Cd (ppm)	-	1	-	2 <sup>A</sup> , 8 <sup>B</sup>

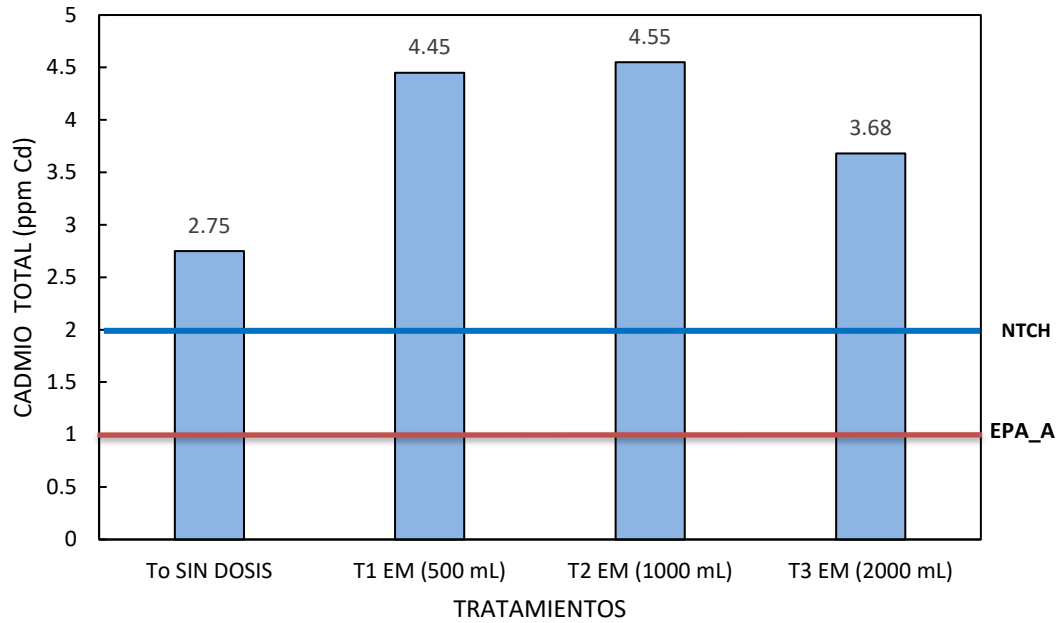


Figura 19. Contenido de Cadmio total (ppm Cd) en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de Hipótesis:**

**Cola a la derecha:**

Ho:  $\mu = 1$  ppm

Ha:  $\mu > 1$

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

n = 4

Promedio = 3.857

S = 0.834

Sx = 0.417

Límite inferior al 95% = 2.876

T = 6.85

p = 0.003

Como  $p < 0.05$  se rechaza  $H_0$ ; el contenido de cadmio en el compost es  $> 1$  ppm.

El cadmio del compost elaborado en el distrito de Huayucachi presenta valores de 2.75 ppm y 4.55 ppm, con un promedio de 3.857 ppm; que de acuerdo a la norma chilena 2880 calidad A (2 ppm) y el EPA-Australia (1 ppm), el compost obtenido se encuentra fuera del rango de calidad para este metal pesado; debido a que supera ambos ECAS de compost. Los datos de calidad se presentan en la tabla 38 y los resultados de los análisis de compost se presentan en la tabla 37 y figura 19.

#### 4.1.7.3 Cromo

Tabla 39. Resultados del análisis de cromo (Cr) del compost

Tratamiento	Descripción	Cr (ppm)
1	RM + RC + EO + EV + 0 EM	19.10
2	RM + RC + EO + EV + 500 ml EM	22.75
3	RM + RC + EO + EV + 1000 ml EM	36.65
4	RM + RC + EO + EV + 2000 ml EM	22.73

RM = Residuos de Mercado. RC = Restos de cosecha. EO = Estiércol de ovino. EV = Estiércol de vacuno, EM = Microorganismos Eficaces

Tabla 40. Parámetros de calidad de compost para cromo.

Parámetro	FAO	EPA-Australia	IIAP-Iquitos	Norma Técnica Chilena
Cr (ppm)	-	100	-	120 <sup>A</sup> , 600 <sup>B</sup>

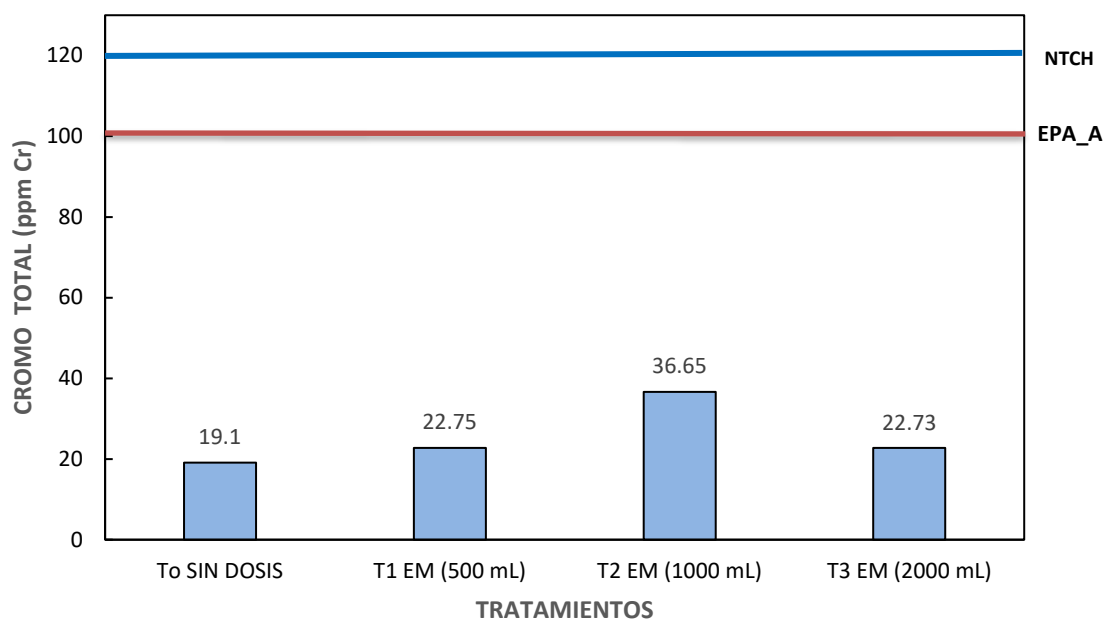


Figura 20. Contenido de Cromo total (ppm Cr) en los tratamientos de compost con EM.

**Prueba de Hipótesis:**

**Cola a la izquierda:**

Ho:  $\mu = 100$  ppm Cr

Ha:  $\mu < 100$  ppm Cr

Nivel de significación = 0.05

Estadístico = t

n = 4

Promedio = 25.31

S = 7.75

Sx = 3.88

Límite inferior al 95% = 34.43

T = -19.27

p = 0.000

Como  $p < 0.05$  se rechaza la Ho; el contenido de cromo total en el compost es menor a 100 ppm.

El contenido de cromo en el compost elaborado en el distrito de Huayucachi presenta valores entre 19.10 ppm y 36.65 ppm, con un promedio de 25.31 ppm, que de acuerdo a la norma chilena 2880 (120 ppm), y del EPA-Australia (100 ppm), se encuentra debajo de los límites permitidos y se consideraría un compost de calidad. Los datos de los estándares de calidad se presentan en la tabla 40 y los datos de los análisis de Cromo se presentan en la tabla 39 y figura 20.

## **4.2 Discusión de resultados**

### **4.2.1 Humedad**

Los datos encontrados en la presente investigación son similares a los encontrados por Cariello et al. (7), quienes reportaron un compost final con humedad menor al 40%; pero a diferencia del presente experimento, estos investigadores inocularon solo tres microorganismos seleccionados: *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* y *Aspergillus fumigatus*; en este experimento, se utilizó una mezcla de diferentes organismos desde un producto comercial (EM-Compost) y el testigo (sin inoculación de microorganismos) tuvo un promedio de humedad de 27.17%, fuera del rango de calidad, lo que demuestra que la inoculación de organismos al proceso de compostaje, asegura la calidad del compost en el contenido de humedad.

### **4.2.2 Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica de los tratamientos del presente experimento variaron dentro del rango de calidad de estándares de referencia (IIAP y NTCH), tanto para tratamientos inoculados y no inoculados con EM, en valores de 3.01 a 3.97 dS.m<sup>-1</sup>, mostrando que los tratamientos con inóculo de EM no mejoraron la calidad del compost; estos resultados difieren del trabajo de investigación de Cariello et al. (7) donde la CE no tuvo una tendencia definida en las diferentes pilas inoculadas con microorganismos eficaces, los cinco datos variaron de 0.57 a 3.95 dS.m<sup>-1</sup>; para estos investigadores no constituyen un indicador de madurez. Otra explicación es la diferente cantidad de inóculo aplicado por estos investigadores (7), que fue de 1 x 10<sup>7</sup> UFC/ ml, de cada organismo seleccionado, asperjándolo sobre la superficie de pilas a razón de 2 L.m<sup>-3</sup> de materia orgánica y solo se aplicó al inicio del proceso de compostaje. En cambio, en el presente experimento se aplicó a una concentración de 5%, dos veces cada 15 días, lo cual le dio cierta uniformidad a los datos de CE en los tratamientos con inóculo, como evidencia de su descomposición.

En cambio, en el trabajo de tesis de Soriano (9), donde se inoculó con tres dosis de EM, la CE fue uno de los datos que no cumplió con los parámetros de calidad y determinó su uso restringido para la agricultura.

#### **4.2.3 pH**

El rango de pH encontrado en el presente experimento (6.97 – 7.44) se encuentra en el rango de la Norma Técnica Chilena, en forma similar a lo encontrado en el trabajo de tesis de Rivera (40), con la diferencia que en este último trabajo de investigación se utilizó residuos de maleza con EM, lo que permite verificar el efecto de los ME en la calidad del compost para este parámetro, al margen del tipo de residuos vegetales utilizados en la preparación del compost.

Los resultados de pH al momento de la obtención del compost, es resultado de las variaciones durante el proceso de compostaje; al inicio se observa una caída del pH de 6.97, debido a la liberación de ácidos orgánicos de la materia orgánica, y conforme el proceso de descomposición continua, estos ácidos orgánicos son descompuestos liberándose bases y altos contenidos de amoníaco que ayudan a elevar el pH final del compost (18).

#### **4.3.4 Materia orgánica**

Los contenidos de materia orgánica, de todos los tratamientos (incluyendo el testigo), de este experimento estuvieron en un rango de 26,81 y 28,85%; estos resultados fueron inferiores a los de Soriano (9), donde se obtuvo concentraciones de 36,21 a 39,56%, donde utilizó similares tratamiento, con la única diferencia que no utilizó estiércol de ovino, sino solo de vacuno; evidenciándose una rápida descomposición del estiércol de ovino en el experimento de Huayucachi, disminuyendo los tenores de materia orgánica, y demostrando la importancia del tipo de insumo en la preparación de compost de calidad.

#### **4.2.5 Nitrógeno**

Los resultados del análisis de nitrógeno total en el compost variaron de 0,94 a 1%, inferior a los resultados de Huayllani (11), que estuvieron entre 1,88 y 2,1%, debido a que en esta última investigación se utilizó porcentajes crecientes de ME (2, 4, 6 y 8%) a diferencia del experimento de Huayucachi que solo utilizó la dosis de 5% de ME; mostrándose el efecto que la mayor concentración de ME incrementa la liberación de nitrógeno en el compost, al margen de los insumos para la preparación de compost.

Asimismo, en el trabajo de Soriano (9) con similares tratamientos al experimento de Huayucachi, pero con solo estiércol de vacuno, se tuvo mayor concentración de N total en el compost final (1,273 – 1,537%), con una superioridad significativa del tratamiento con 1000 ml; esto corrobora que en el presente experimento, la incorporación de estiércol de ovino estaría disminuyendo ligeramente el contenido de nitrógeno total, debido a su fácil mineralización, pero manteniéndose dentro de los rangos de calidad del compost.

#### **4.2.6 Fósforo**

Los resultados del análisis de fósforo (P) estuvieron en el rango de 1,27% - 1,54%, incluyendo los tratamientos inoculados y el control, inferiores a lo reportado en la tesis de Rivera (40) donde se tuvo valores de 2,28, 2,35 y 1,95% con ME y estiércol de pavo, cuy y res, respectivamente; posiblemente debido a las condiciones ambientales del lugar, pues se realizó en condiciones de costa, donde se tiene una mayor mineralización del P comparado a Huayucachi, donde las condiciones ambientales son más frías.

#### **4.2.7 Potasio**

El análisis de potasio (K) dio valores entre 0,46 y 0,55%, calificados como tenores que garantizan la calidad de compost, según los estándares utilizados, pero fueron menores que lo encontrado en el trabajo de tesis de Rivera (40), que reportó promedios de 2,89; 2,97 y 2,56 % de K, utilizando EM y estiércol de pavo, cuy y res, respectivamente. Esta diferencia se puede deber al tipo de estiércol utilizado, diferente en ambos casos y a las condiciones ambientales de mayor temperatura en la tesis de referencia (40).

En el trabajo de Huayllani (11), que utilizó ME a las mismas dosis que el presente trabajo de investigación, más lodos y estiércol de vacuno, se reportó valores de K entre 0,954 y 1,253 %, igualmente superiores a la presente investigación, lo cual se puede atribuir al tipo de insumo utilizado (lodos) para preparar el compost, que ocasionó mayor liberación de potasio.

#### **4.2.8 Calcio**

Considerando que el calcio es un nutriente de las plantas, y necesario para los organismos que viven en el suelo, su mayor contenido en el compost con EM, potencialmente utilizable como abono orgánico para los suelos agrícolas, se considera una ventaja.

Las concentraciones de calcio en el compost estuvieron en un rango de 5,95 a 7,39 % CaO, similar a lo obtenido en el trabajo de Soriano (9) que reportó valores de 6,093 a 6,987 % CaO en los tratamientos con EM y sin EM, sin diferencias significativas entre los



tratamientos y donde solo empleó estiércol de vacuno; a diferencia del presente experimento donde se utilizó estiércol de vacuno y ovino. Esto permite deducir que la presencia de estiércol de ovino y la aplicación de ME mejoraron el contenido de CaO en el compost de Huayucachi.

#### **4.2.9 Magnesio**

El contenido de magnesio (MgO) varió en el rango de 0,76 y 1,01 % MgO, disminuyendo ligeramente con el incremento de la dosis de ME; similar a lo encontrado por Soriano (9), cuyo compost obtenido con dosis similares, pero solo con estiércol de vacuno estuvo en el rango de 0,930 y 0,967 % MgO, disminuyendo ligeramente con el incremento de dosis de EM. Esto indica que el contenido de Mg en el compost no fue influenciado por la aplicación de EM, y su contenido fue favorecido por el pH ligeramente alcalino del compost.

El Magnesio, macronutriente secundario de las plantas, con altos contenidos en los compost, es una ventaja si se aplica estos abonos orgánicos a los suelos agrícolas, pues incrementaría su contenido en el suelo, favoreciendo el crecimiento de las plantas.

#### **4.2.10 Cobre**

Se observa que el compost preparado en Huayucachi con la inoculación de ME presentan bajos contenidos de cobre (Cu), debido a la naturaleza de los insumos utilizados, tanto estiércoles como residuos vegetales; estos valores son menores que los parámetros de calidad, por lo que, de ser utilizados en la actividad agrícola, aportarán Cu al suelo, sin ningún problema, porque el exceso de Cu es tóxico para las plantas.

Estos resultados se sustentan en la propuesta de FAO (15), que refiere que el compostaje, resultado de la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes.

#### **4.2.11 Zinc**

El Zn es un elemento que en exceso provoca toxicidad; y considerando que el compost obtenido tiene alto contenido de Zn, que supera la NTCH para compost de calidad A, y el EPA-Australia, su aplicación al suelo sería restringido.

Considerando que la calidad del compost viene determinada por la suma de distintas propiedades y características (33); desde el punto de vista práctico la madurez puede ser medida basándose en el potencial de uso agrícola; lo que significa que la calidad del compost puede ser evaluado en función a la producción agrícola y en el mejoramiento

de propiedades del suelo; por lo que este caso el exceso de Zinc en el compost con los tratamientos con ME restringe su uso como mejorador de suelo (34).

#### **4.2.12 Relación C: N**

Los resultados de la relación C: N en los tratamientos de compost con ME, entre 16,54 – 17,08; superaron los valores encontrados por Soriano (9) (15,093 – 15,473) y de Cariello et al. (7) (alrededor de 15), cuya diferencia se atribuye al tipo de insumo utilizado por Soriano (solo estiércol de vacuno), y en el caso de Cariello et al., solo tres microorganismos.

El exceso de carbono (C) en el compost con ME, obtenido en Huayucachi, se puede atribuir a una descomposición incompleta de la mezcla del material orgánico; si bien la relación C: N no puede ser tomado como indicador absoluto de madurez debido al amplio rango de variación según la naturaleza del material, el valor final de 15 resulta adecuado (7).

#### **4.2.13 Plomo**

Los resultados del análisis de plomo (Pb) del compost con ME, y el control, no superaron los límites de los estándares utilizados, lo cual asegura su uso como enmienda orgánica en los suelos agrícolas, sin ningún riesgo de contaminación.

Estos resultados son diferentes a lo encontrado por Soriano (9), donde el Pb (266 - 278 ppm), superó las normas técnicas de calidad, con la diferencia que en este caso se utilizó estiércol de vacuno; en cambio en el experimento de Huayucachi se utilizó estiércol de vacuno y ovino.

Es importante precisar que el bajo contenido de Pb en el compost obtenido, facilita su uso y recomendación para los suelos agrícolas, considerando que si se aplica un compost con alto contenido de metales pesados al suelo, estos pueden contaminar las aguas subterráneas y las plantas cultivadas en el área de aplicación. Los metales pesados causan toxicidad y el riesgo de algunas enfermedades a los seres humanos, dentro de las cuales el cáncer es una de las más importantes (16).

#### **4.2.14 Cadmio**

Los análisis de cadmio (Cd) total en el compost son altos y superaron las normas internacionales utilizadas, lo cual restringe el uso de este material orgánico procesado con ME para la agricultura. Estos datos son similares a lo encontrado por Huayllani (11), quien utilizó lodos con dosis crecientes de ME (2 a 8%), siendo probable que los microorganismos

inoculados al compost incrementen la disponibilidad de este metal pesado desde las fracciones unidas a la materia orgánica.

Los resultados obtenidos en el presente experimento, también están relacionados al trabajo de tesis de Soriano (9), donde se encontró que los metales pesados excedieron la NTCH, lo cual hace que su uso sea restringido para la aplicación a tierras agrícolas.

#### **4.3.15 Cromo**

El rango de concentración de cromo (Cr) en el compost con y sin inoculación de ME fue de 19.10 – 36,65 ppm, similar a lo reportado por Soriano (9) con valores de 42,83 – 44,67 ppm, y de Huayllani (11) cuyo rango estuvo entre 30,88 y 44,13 ppm; todos muy debajo de los límites internacionales utilizados como referencia, que aseguraría su uso como enmienda o abono orgánico a los suelos agrícolas.

La diferencia en el uso de insumos de los trabajos relacionados al presente, lodos (11) y solo estiércol de vacuno (9) no incrementan la cantidad de Pb en el compost.

## CONCLUSIONES

1. El compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces se encuentra dentro del rango para compost de buena calidad según la norma establecida por la FAO.
2. El compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces presenta las siguientes propiedades:
  - 2.1. Contenido de humedad entre 31.63 % y 50.50 %, dentro de los rangos de calidad establecidos por FAO y NTCH (Norma Técnica Chilena).
  - 2.2. La conductividad eléctrica estuvo en el rango de 3.26 y 3.97 dS.m<sup>-1</sup>, dentro de los rangos de calidad del IIAP y NTCH para compost de calidad B.
  - 2.3. El pH varió de 6.97 a 7.44, dentro del rango de neutralidad y de los parámetros de calidad de FAO, IIAP y NTCH.
  - 2.4. La materia orgánica varió entre 26.81 % y 28.85 %, dentro del rango de calidad establecido por FAO y NTCH.
  - 2.5. El nitrógeno total varió entre 0.98 % y 1.00 %, dentro de los rangos de calidad de FAO, IIAP y NTCH.
  - 2.6. El P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> estuvo en el rango de 1.27 % y 1.54 %, superior a los rangos de calidad de FAO e IIAP.
  - 2.7. El contenido de K<sub>2</sub>O estuvo en el rango de 0.46 % y 0.57 %, dentro de los rangos de calidad establecidos por FAO, pero debajo de los rangos del IIAP.
  - 2.8. El calcio analizado estuvo en los rangos de 6.90 y 7.39 %, superior a los rangos de calidad del IIAP.
  - 2.9. El contenido de MgO estuvo en el rango de 0.76 % a 1.01 %, superior al rango de calidad establecido por el IIAP.
  - 2.10. El cobre se encontró en el rango de 22 a 29 ppm, dentro del parámetro de calidad del EPA-Australia y NTCH.
  - 2.11. El zinc estuvo en el rango de 220 ppm y 550 ppm, superior al parámetro de calidad de EPA-Australia y NTCH para calidad A.

- 2.12. La relación C: N estuvo en el rango de 16.54:1 y 17.08:1; superior al rango de calidad de FAO, pero dentro del rango de la NTCH.
3. El contenido de metales pesados en los tratamientos de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de EM
  - 3.1 El plomo varió entre 34.55 ppm y 50.65 ppm, dentro de los rangos de calidad de EPA-Australia y NTCH.
  - 3.2 El cadmio se encontró en el rango de 3.68 ppm y 4.55 ppm, en exceso de los parámetros de calidad del EPA-Australia y NTCH calidad A.
  - 3.3 El cromo varió entre 22.73 ppm y 36.65 ppm, dentro de los rangos de calidad del EPA-Australia y NTCH.

## **RECOMENDACIONES**

1. Utilizar insumos orgánicos para compost, previamente analizados en metales pesados, para evitar incrementar su contenido en el producto final y recomendar su uso en los suelos agrícolas.
2. Analizar la relación C: N de la mezcla de insumos orgánicos para preparar compost y evitar altas relaciones C: N en el producto final, que puedan ser signos de descomposición incompleta.
3. Inocular Microorganismos Eficaces en diferentes concentraciones para mezclas de residuos orgánicos vegetales y animales durante el proceso de compostaje, porque aseguran su calidad.
4. Utilizar el compost obtenido con mezcla de residuos orgánicos y tres dosis de EM en forma restringida como enmienda, debido al exceso de Cd, Zn y alta relación C:N.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Tchobanoglous G., h. Theisen, and S. Vigil. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Vol I. McGraw-Hill. 1994.
2. Gotaas, H.B. Composting-Sanitary Disposal and Reclamation of Solid Wastes, World Health Organization, Ginebra, 1956.
3. FAO. Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de Chile, 2013.
4. Ansorena J., E. Batalla y D. Merino. Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos. N° 01, 02. Pp 4-10. 2008.
5. Singh A.B. and T.K. Ganguly. Quality Comparison of Conventional Compost, Vermicompost and Chemically-enriched Compost. Journal of the Indian Society of Soil Science, Vol. 53, N° 3, pp. 352-355. 2005.
6. Yamada K. and Hui-lian Xu. Properties and Applications of an Organic Fertilizer Inoculated with Effective Microorganisms. Journal of Crop Production Vol. 3, N° 1 (#5), pp 255-268. 2000.
7. Cariello M.E., L. Castañeda, I. Riobo y J. Gonzáles. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos. J. Soil Sc. Plant Nutr. 7 (3) 26-37. 2007.
8. Molliendo Suntura, Zenón. Determinación de la calidad de compost, elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos en el municipio de Puerto Mayor Carabuco, Provincia de Camacho. Trabajo de Titulación (Ingeniero Agrónomo). La Paz Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, 2009. 92p.
9. Soriano Vilcahuaman Jakelin Analy. Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de "Microorganismos Eficaces" – Concepción. Trabajo de titulación (Ingeniero Forestal y Ambiental). Huancayo -Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, 2016. 113p.
10. Cajahuanca Figueroa, Sara Ana. Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus* sp., *Lactobacillus* sp.) en el proceso de compostaje en la central hidroeléctrica Chaglla. Trabajo de titulación (Ingeniero Ambiental). Huánuco-

Perú, Universidad de Huánuco, Escuela Académico profesional de Ingeniería Ambiental, 2016.166p.

11. Huayllani Hilario K.O. Influencia de Microorganismos Eficaces (EM-Compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016". Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental. Huancayo, Perú. 2017.
12. Bejarano Bejarano, E.P. y S.M. Delgadillo Acosta. Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá "La Modelo" por medio de la utilización de Microorganismos Eficientes (EM). Proyecto de Grado para ostentar el Título de Ingenieras Ambientales y Sanitarias. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá. 2007.
13. Valderrama, M. Factibilidad de aprovechamiento de lodos residuales de la PTAR del Municipio de Chivanita, Boyacá. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Colombia. 2013.
14. Puerta, S. Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. Corporación Universitaria Lasallista. Colombia. 2004.
15. FAOTERM - Organic Agriculture <http://www.fao.org/faoterm/es/>
16. Roben E. Manual de compostaje para municipios. Municipalidad de Loja, Ecuador. 2002.
17. Moreno-Casco J. & R. Moral-Herrero. Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 2008.
18. Soto M., G. Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). En: Taller de Abonos Orgánicos. Costa Rica. 2003.
19. Blandon, C.G., M.T.A. Dávila, N.V. Rodríguez. Caracterización microbiológica y físico química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. CENICAFÉ 50(1):5-23. 1999.
20. Stetinford, E.I. Composting control: Principles and practices. In: De Bertoldi, M.P. Sequi., N. Lemmes y T. Papi (eds.). The Science of Composting. Part I. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, London. 1996.



21. Sasaki S., Alvarado, A., y Li Kam, A. Curso básico de Agricultura orgánica. Proyecto de Agricultura Orgánica, UCR-JOCV. 30 p. 1994.
22. Paul, E.A., y Clark, F.E. Soil Microbiology and Biochemistry. 2nd ed. Academic Press. 340 p. 1996.
23. Tiquia, S.M., Judyd H.C. Wan, y Nora F.Y. Tam. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. *Compost Science & Utilization*. 10(2):150-161. 2002.
24. Klamer, M. y U. Sochting. Fungi in a compost controlled system-with special emphasis on the thermophilic fungi. In Szmidt R. (ed). Proc. Of an International Symposium on Composting an use of composted materials. Escocia, 5-11 Abril. Serie Acta Horticultura N° 469. Wageningen. 1998.
25. Laich, Federico. El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. *Fertilidad y Calidad del Suelo*. pag. 3. 2011.
26. Higa, T. Effective microorganisms: A biotechnology for mankind. p. 8-14. In J.F. Parr, S.B. Hornick, and C.E. Whitman (ed.) *Proceeding of the First International Conference on Kyusei Nature Farming* U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. USA. 1991.
27. Higa, T. and G.N. Wididana. The concept and theories of Effective Microorganisms. P. 118-124. In J.F. Parr, S.B. Hornick, and C.E. Whitman (ed.) *Proceedings of the First International Conference on Kyusei Nature Farming*, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. USA. 1991.
28. Higa, T. and G.N. Wididana. Changes in the soil microflora induced by Effective Microorganisms. P. 153-162. In J.F. Parr, S.B. Hornick, and C.E. Whitman (ed.) *Proceedings of the First International Conference on Kyusei Nature Farming*, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. USA. 1991.
29. Higa, T. Effective Microorganisms: A review dimension for Nature Farming. p. 20-22. In J.F. Parr, S.B. Hornick, and C.E. Whitman (ed.) *Proceedings of the First International Conference on Kyusei Nature Farming*, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. USA. 1994.
30. Parr, J.F., S.B. Hornick and D.D. Kaufman. Use of microbial inoculants and organic fertilizers in agricultural production. In *Proceedings of the International Seminar on the Use of Microbial and Organic Fertilizers in Agricultural Production*. Published by the Food and Fertilizer Technology Center, Taipei, Taiwan. 1994.

31. Higa T. and J.F. Parr. Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment. International Nature Farming Research Center. Atami, JKapan. 1994.
32. Franco, Karyna. Protocolo para el uso de los EM en el manejo de sólidos. EMTEC S.A. Guatemala, 2007.
33. Soliva M. y M. López. Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora. Valsaín CENEAM/MINAM. 2004.
34. Soto, Gabriela y G. Meléndez. Compost: abono o enmienda?. Como medir la calidad de un compost?. En: En: Taller de Abonos Orgánicos. Costa Rica. 2003.
35. Vandevivere, P. y C. Ramírez. Control de calidad de abonos orgánicos por medio de bioensayos. In: García, J. y Najera J. Memoria del Simposio Centroamericano de Agricultura Orgánica. UNED. Costa Rica. 121-140 p. 1995.
36. Salas, E. y Ramírez, C. Bioensayo microbiano para estimar los nutrientes disponibles en los abonos orgánicos: calibración de campo. Congreso Agronómico Nacional. In: Memoria del III Congreso Nacional de Suelos: Recursos Naturales y Producción Animal. Vol. III. 71 pp. 1999.
37. EPA. Compost guideline. Environment Protection Authority. South Australia. 2013.
38. Paredes Calderón, J. Compost y Norma Chilena. NCh2880. 2004.
39. Ríos, O.Z., S. Salas y M. Sánchez. Manual de Lombricultura en Trópico Húmedo. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, IIAP. Iquitos. 1993.
40. Rivera Licla, Jesús. Evaluación de Microorganismos Eficaces en procesos de compostaje de residuos de maleza. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo. Escuela Académica de Ingeniería Ambiental. Lima-Perú. 2011.
41. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. La fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial. Lima, Perú: OEFA. 2014.
42. Dirección General de Salud Ambiental. Gestión de los residuos peligrosos en el Perú. Manual de Difusión técnica N° 1. Lima, Perú. DIGESA. 2006
43. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. La fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial. Lima, Perú: OEFA. 2016.

44. Ansorena, J., Batalla, E., Merino, D.M. y Moreno, A. La gestión de los biorresiduos en el marco de la legislación comunitaria y (III) Ejemplo de compost en condiciones ambientales seguras. En *Residuos: Revista técnica*, 21 (123), 18-31. 2011.
45. Jaramillo, D. *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 2002.
46. Organización Panamericana de la Salud. *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. OPS/HEP/HES/URU/02: OPS. 1999.
47. Duffus, J. Heavy metals – A meaningless term? *Pure and Applied Chemistry*, 74, 793-807.
48. SSSA. *Glossary of Soil Science Terms*. Madison, Wisconsin. Soil Science Society American. 2008.
49. Bernal C.A. *Metodología de la Investigación*. Administración, Economía, Humanidades y Ciencias Sociales. Tercera edición. Pearson. Colombia. 2010.
50. Bazán, L. *Manual para análisis químico*. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. Fundación Perú. 74 p. 1996.
51. Arroyo A., J. *Pasos para Investigar científicamente hechos o fenómenos. ¿Cómo ejecutar un plan de investigación?* Fundación para el Desarrollo y Aplicación de Ciencias. 2012.
52. Hernández S.R., Fernández C.C. Y Baptista L.M. *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill. Quinta edición. 2010.
53. Aztem y Pravia, 2002.
54. De Bertoldi, M.; W. Biddlingmaier; and E. Stentiford. *Compost Science and Technology*. Waste Management Series 8. Elsevier. Amsterdam. 2007.
55. Bohorquez A., Yina J. Puentes, y Juan Carlos Menjivar. Evaluación de la calidad de compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Corpoica Cienc.Tecnol.Agropecu*. 15(1) 73-81. 2014.

## **ANEXOS**

## Anexo N° 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b>General</b></p> <p>¿Cuál es la calidad que tendrá el compost obtenido a partir de residuos orgánicos y Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi?</p> <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Qué parámetros de calidad presenta el compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi?</li> <li>- ¿Cuál es el contenido de metales pesados en el compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi?</li> </ul>	<p><b>General</b></p> <p>Evaluar la calidad del compost a partir de la mezcla de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi.</p> <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Describir los parámetros de calidad del compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi</li> <li>- Determinar el contenido de metales pesados en el compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces en el distrito de Huayucachi</li> </ul>	<p><b>General</b></p> <p>Ho: El compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces no es de buena calidad. Ha: El compost obtenido a partir de cuatro tipos de residuos orgánicos y tres dosis de Microorganismos Eficaces es de buena calidad.</p> <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los parámetros físico-químicos del compost: humedad, Ph, materia orgánica, relación C:N, conductividad eléctrica, N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn se encuentran dentro de los rangos establecidos de calidad.</li> <li>- El contenido de metales pesados en el compost tendrá valores inferiores a los límites establecidos en la norma establecida por la Autoridad de Protección Ambiental (EPA-Australia) y la Norma Técnica Chilena 2880.</li> </ul>	<p><b>Variables Independientes:</b> Dosificación de Microorganismos Eficaces</p> <p><b>Indicadores</b></p> <p>ml de Solución de EM:          ✓ 0          ✓ 500          ✓ 1000          ✓ 2000</p> <p>Tipos de residuos orgánicos: Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estiércol de vacuno</li> <li>- Estiércol de ovino</li> <li>- Residuos de mercado</li> <li>- Restos de cosecha</li> </ul> <p><b>Variable Dependiente (Y)</b> Calidad de Compost</p> <p><b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Humedad</li> <li>✓ Materia orgánica</li> <li>✓ Nitrógeno</li> <li>✓ Fosforo</li> <li>✓ Potasio</li> <li>✓ Calcio</li> <li>✓ Magnesio</li> <li>✓ pH.</li> <li>✓ C/N</li> <li>✓ Micronutrientes</li> <li>✓ Metales pesados</li> </ul>	<p><b>TIPO</b> Aplicada</p> <p><b>NIVEL</b> Explicativo</p> <p><b>MÉTODO GENERAL</b> Hipotético deductivo</p> <p><b>ESPECÍFICO</b> Análisis</p> <p><b>DISEÑO</b> Experimental</p> <p><b>TIPO DE DISEÑO</b> Completamente al azar</p> <p><b>POBLACIÓN</b> La población está conformada por residuos orgánicos del mercado de abastos del campo ferial de Huayucachi, restos de cosecha, estiércol de vacuno y estiércol de ovino con un peso total de 288 Kg de materia orgánica.</p> <p><b>MUESTRA</b> La muestra es un 1Kg de cada unidad experimental</p>

## Anexo N° 2

### CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TRATAMIENTOS

CONTROL DE TEMPERATURA - APLICACIÓN DE EM-COMPOST SIN DOSIS				
FECHA	DIA	TRATAMIENTO T0		
		T0A	T0B	T0C
4/03/2019	LUNES	15.0	15.0	16.0
6/03/2019	MIÉRCOLES	15.0	16.0	16.0
8/03/2019	VIERNES	16.0	17.0	16.0
11/03/2019	LUNES	17.0	17.0	16.0
13/03/2019	MIÉRCOLES	18.0	18.0	17.0
15/03/2019	VIERNES	18.0	19.0	18.0
18/03/2019	LUNES	19.0	19.0	19.0
20/03/2019	MIÉRCOLES	20.0	20.0	21.0
22/03/2019	VIERNES	20.0	20.0	21.0
25/03/2019	LUNES	21.0	21.0	22.0
27/03/2019	MIÉRCOLES	21.0	22.0	22.0
29/03/2019	VIERNES	22.0	23.0	23.0
1/04/2019	LUNES	23.0	23.0	24.0
3/04/2019	MIÉRCOLES	24.0	24.0	25.0
5/04/2019	VIERNES	25.0	25.0	26.0
8/04/2019	LUNES	26.0	26.0	27.0
10/04/2019	MIÉRCOLES	27.0	27.0	27.0
12/04/2019	VIERNES	28.0	28.0	28.0
15/04/2019	LUNES	28.0	29.0	29.0
17/04/2019	MIÉRCOLES	28.0	29.0	30.0
22/04/2019	LUNES	29.0	30.0	31.0
24/04/2019	MIÉRCOLES	30.0	31.0	31.0
26/04/2019	VIERNES	31.0	32.0	32.0
29/04/2019	LUNES	32.0	33.0	32.0
3/05/2019	VIERNES	33.0	34.0	33.0
6/05/2019	LUNES	33.0	34.0	33.0
8/05/2019	MIÉRCOLES	34.0	35.0	34.0
10/05/2019	VIERNES	35.0	35.0	34.0
13/05/2019	LUNES	35.0	34.0	34.0
15/05/2019	MIÉRCOLES	36.0	35.0	35.0
17/05/2019	VIERNES	37.0	36.0	35.0
20/05/2019	LUNES	35.0	34.0	33.0
22/05/2019	MIÉRCOLES	33.0	32.0	30.0
24/05/2019	VIERNES	30.0	29.0	28.0
27/05/2019	LUNES	28.0	26.0	25.0
29/05/2019	MIÉRCOLES	24.0	23.0	22.0
31/05/2019	VIERNES	21.0	20.0	21.0

CONTROL DE TEMPERATURA - APLICACIÓN DE EM-COMPOST 500ml				
FECHA	DIA	TRATAMIENTO 1		
		T1D	T1E	T1F
4/03/2019	LUNES	16.0	15.0	16.0
6/03/2019	MIÉRCOLES	17.0	16.0	17.0
8/03/2019	VIERNES	18.0	17.0	19.0
11/03/2019	LUNES	19.0	18.0	20.0
13/03/2019	MIÉRCOLES	20.0	21.0	21.0
15/03/2019	VIERNES	23.0	23.0	24.0
18/03/2019	LUNES	25.0	25.0	26.0
20/03/2019	MIÉRCOLES	27.0	26.0	27.0
22/03/2019	VIERNES	28.0	28.0	28.0
25/03/2019	LUNES	29.0	29.0	29.0
27/03/2019	MIÉRCOLES	30.0	30.0	31.0
29/03/2019	VIERNES	32.0	31.0	32.0
1/04/2019	LUNES	34.0	33.0	33.0
3/04/2019	MIÉRCOLES	35.0	34.0	34.0
5/04/2019	VIERNES	36.0	35.0	36.0
8/04/2019	LUNES	39.0	38.0	37.0
10/04/2019	MIÉRCOLES	40.0	40.0	39.0
12/04/2019	VIERNES	42.0	41.0	41.0
15/04/2019	LUNES	43.0	42.0	43.0
17/04/2019	MIÉRCOLES	44.0	43.0	44.0
22/04/2019	LUNES	45.0	44.0	45.0
24/04/2019	MIÉRCOLES	46.0	45.0	45.0
26/04/2019	VIERNES	47.0	46.0	46.0
29/04/2019	LUNES	48.0	47.0	47.0
3/05/2019	VIERNES	47.0	46.0	46.0
6/05/2019	LUNES	45.0	43.0	43.0
8/05/2019	MIÉRCOLES	42.0	41.0	41.0
10/05/2019	VIERNES	40.0	39.0	38.0
13/05/2019	LUNES	36.0	35.0	34.0
15/05/2019	MIÉRCOLES	33.0	34.0	32.0
17/05/2019	VIERNES	31.0	32.0	30.0
20/05/2019	LUNES	29.0	28.0	27.0
22/05/2019	MIÉRCOLES	26.0	25.0	24.0
24/05/2019	VIERNES	23.0	22.0	23.0
27/05/2019	LUNES	20.0	19.0	20.0
29/05/2019	MIÉRCOLES	18.0	18.0	19.0
31/05/2019	VIERNES	17.0	16.0	17.0

CONTROL DE TEMPERATURA - APLICACIÓN DE EM-COMPOST 1000 ml				
FECHA	DIA	TRATAMIENTO 2		
		T2G	T2H	T2I
4/03/2019	LUNES	16.0	15.0	15.0
6/03/2019	MIÉRCOLES	17.0	16.0	17.0
8/03/2019	VIERNES	18.0	19.0	18.0
11/03/2019	LUNES	20.0	20.0	19.0
13/03/2019	MIÉRCOLES	21.0	21.0	20.0
15/03/2019	VIERNES	23.0	25.0	23.0
18/03/2019	LUNES	27.0	26.0	27.0
20/03/2019	MIÉRCOLES	30.0	31.0	32.0
22/03/2019	VIERNES	35.0	33.0	34.0
25/03/2019	LUNES	37.0	38.0	36.0
27/03/2019	MIÉRCOLES	40.0	42.0	43.0
29/03/2019	VIERNES	44.0	43.0	45.0
1/04/2019	LUNES	47.0	45.0	46.0
3/04/2019	MIÉRCOLES	48.0	47.0	47.0
5/04/2019	VIERNES	48.0	49.0	48.0
8/04/2019	LUNES	49.0	51.0	50.0
10/04/2019	MIÉRCOLES	48.0	50.0	50.0
12/04/2019	VIERNES	47.0	48.0	47.0
15/04/2019	LUNES	46.0	47.0	46.0
17/04/2019	MIÉRCOLES	45.0	44.0	45.0
22/04/2019	LUNES	43.0	42.0	44.0
24/04/2019	MIÉRCOLES	40.0	41.0	42.0
26/04/2019	VIERNES	39.0	38.0	39.0
29/04/2019	LUNES	36.0	36.0	35.0
3/05/2019	VIERNES	34.0	35.0	34.0
6/05/2019	LUNES	33.0	32.0	31.0
8/05/2019	MIÉRCOLES	30.0	30.0	29.0
10/05/2019	VIERNES	29.0	28.0	28.0
13/05/2019	LUNES	27.0	26.0	25.0
15/05/2019	MIÉRCOLES	24.0	23.0	24.0
17/05/2019	VIERNES	23.0	22.0	21.0
20/05/2019	LUNES	20.0	20.0	20.0
22/05/2019	MIÉRCOLES	19.0	20.0	19.0
24/05/2019	VIERNES	19.0	18.0	19.0
27/05/2019	LUNES	17.0	17.0	18.0
29/05/2019	MIÉRCOLES	17.0	16.0	16.0
31/05/2019	VIERNES	16.0	15.0	15.0



<b>CONTROL DE TEMPERATURA - APLICACIÓN DE EM-COMPOST 2000ml</b>				
<b>FECHA</b>	<b>DIA</b>	<b>TRATAMIENTO 3</b>		
		<b>T3J</b>	<b>T3K</b>	<b>T3L</b>
4/03/2019	LUNES	16.0	16.0	15.0
6/03/2019	MIÉRCOLES	24.0	25.0	26.0
8/03/2019	VIERNES	28.0	27.0	28.0
11/03/2019	LUNES	35.0	36.0	35.0
13/03/2019	MIÉRCOLES	42.0	43.0	44.0
15/03/2019	VIERNES	45.0	46.0	46.0
18/03/2019	LUNES	48.0	49.0	48.0
20/03/2019	MIÉRCOLES	52.0	53.0	53.0
22/03/2019	VIERNES	52.0	53.0	53.0
25/03/2019	LUNES	51.0	52.0	52.0
27/03/2019	MIÉRCOLES	50.0	51.0	51.0
29/03/2019	VIERNES	49.0	49.0	50.0
1/04/2019	LUNES	48.0	48.0	49.0
3/04/2019	MIÉRCOLES	47.0	46.0	47.0
5/04/2019	VIERNES	46.0	45.0	45.0
8/04/2019	LUNES	45.0	44.0	44.0
10/04/2019	MIÉRCOLES	43.0	42.0	42.0
12/04/2019	VIERNES	41.0	41.0	40.0
15/04/2019	LUNES	40.0	39.0	38.0
17/04/2019	MIÉRCOLES	38.0	38.0	37.0
22/04/2019	LUNES	36.0	36.0	35.0
24/04/2019	MIÉRCOLES	34.0	34.0	35.0
26/04/2019	VIERNES	33.0	33.0	34.0
29/04/2019	LUNES	32.0	32.0	33.0
3/05/2019	VIERNES	31.0	30.0	31.0
6/05/2019	LUNES	30.0	29.0	30.0
8/05/2019	MIÉRCOLES	29.0	28.0	29.0
10/05/2019	VIERNES	28.0	27.0	28.0
13/05/2019	LUNES	27.0	26.0	27.0
15/05/2019	MIÉRCOLES	26.0	25.0	26.0
17/05/2019	VIERNES	24.0	24.0	25.0
20/05/2019	LUNES	23.0	23.0	24.0
22/05/2019	MIÉRCOLES	22.0	22.0	23.0
24/05/2019	VIERNES	21.0	21.0	20.0
27/05/2019	LUNES	20.0	19.0	19.0
29/05/2019	MIÉRCOLES	19.0	18.0	18.0
31/05/2019	VIERNES	18.0	17.0	17.0

### Anexo N° 3

#### CONTROL DE pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS TRATAMIENTOS

CONTROL DE pH -CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA CON LA APLICACIÓN DE EM- COMPOST SIN DOSIS							
TRATAMIENTO 0							
REPETICIONES		T0A		T0B		T0C	
FECHA	DIAS	pH	CE(mS.cm-1)	pH	CE(mS.cm-1)	pH	CE(mS.cm-1)
8/03/2019	VIERNES	6.12	0.731	6.14	0.734	6.13	0.764
15/03/2019	VIERNES	6.59	0.864	6.57	0.865	6.58	0.866
22/03/2019	VIERNES	6.78	0.874	6.79	0.875	6.77	0.876
29/03/2019	VIERNES	7.15	0.875	7.18	0.876	7.16	0.877
5/04/2019	VIERNES	7.24	0.975	7.28	0.976	7.27	0.977
12/04/2019	VIERNES	7.34	0.998	7.35	0.999	7.36	0.997
19/04/2019	VIERNES	7.41	1.123	7.42	1.222	7.43	1.221
26/04/2019	VIERNES	7.58	1.264	7.59	1.265	7.57	1.266
3/05/2019	VIERNES	7.63	1.354	7.64	1.356	7.63	1.357
10/05/2019	VIERNES	7.79	1.358	7.78	1.359	7.75	1.360
17/05/2019	VIERNES	8.15	1.486	8.14	1.485	8.17	1.484
24/05/2019	VIERNES	8.24	1.540	8.23	1.541	8.26	1.542
31/05/2019	VIERNES	8.27	1.543	8.28	1.542	8.29	1.543

CONTROL DE pH -CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA CON LA APLICACIÓN DE EM- COMPOST 500 ml							
TRATAMIENTO 1							
REPETICIONES		T1D		T1E		T1F	
FECHA	DIAS	pH	CE(mS.cm-1)	pH	CE(mS.cm-1)	pH	CE(mS.cm-1)
8/03/2019	VIERNES	6.45	0.732	6.47	0.735	6.48	0.741
15/03/2019	VIERNES	6.78	0.865	6.79	0.867	6.77	0.863
22/03/2019	VIERNES	7.25	0.864	7.26	0.865	7.24	0.867
29/03/2019	VIERNES	7.34	0.887	7.37	0.885	7.36	0.888
5/04/2019	VIERNES	7.68	0.973	7.67	0.975	7.67	0.974
12/04/2019	VIERNES	7.82	0.994	7.81	0.995	7.80	0.992
19/04/2019	VIERNES	7.95	1.134	7.96	1.132	7.94	1.135
26/04/2019	VIERNES	8.15	1.289	8.12	1.288	8.13	1.287
3/05/2019	VIERNES	8.19	1.328	8.21	1.327	8.23	1.326
10/05/2019	VIERNES	8.25	1.348	8.27	1.349	8.26	1.351
17/05/2019	VIERNES	8.34	1.587	8.37	1.585	8.36	1.587
24/05/2019	VIERNES	8.38	1.549	8.39	1.546	8.41	1.548
31/05/2019	VIERNES	8.49	1.611	8.45	1.615	8.46	1.617

CONTROL DE pH -CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA CON LA APLICACIÓN DE EM- COMPOST 1000 ml							
TRATAMIENTO 2							
REPETICIONES		T2G		T2H		T2I	
FECHA	DIAS	pH	CE(mS.cm-1)	pH	CE(mS.cm-1)	pH	CE(mS.cm-1)
8/03/2019	VIERNES	6.47	0.733	6.49	0.734	6.48	0.738
15/03/2019	VIERNES	7.24	0.875	7.26	0.876	7.25	0.874
22/03/2019	VIERNES	7.34	0.867	7.35	0.865	7.36	0.867
29/03/2019	VIERNES	8.24	0.887	8.26	0.886	8.27	0.885
5/04/2019	VIERNES	8.35	0.971	8.34	0.973	8.33	0.976
12/04/2019	VIERNES	8.15	0.993	8.12	0.994	8.13	0.995
19/04/2019	VIERNES	8.48	1.116	8.49	1.118	8.51	1.119
26/04/2019	VIERNES	8.67	1.286	8.68	1.287	8.69	1.288
3/05/2019	VIERNES	8.46	1.387	8.47	1.389	8.45	1.388
10/05/2019	VIERNES	8.57	1.459	8.56	1.460	8.58	1.461
17/05/2019	VIERNES	8.67	1.548	8.68	1.549	8.67	1.547
24/05/2019	VIERNES	8.74	1.587	8.75	1.588	8.76	1.589
31/05/2019	VIERNES	8.89	1.678	8.87	1.677	8.89	1.678

CONTROL DE pH -CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA CON LA APLICACIÓN DE EM- COMPOST 2000 ml							
TRATAMIENTO 3							
REPETICIONES		T2J		T2K		T2L	
FECHA	DIAS	pH	CE(mS.cm-1)	pH	CE(mS.cm-1)	pH	CE(mS.cm-1)
8/03/2019	VIERNES	6.54	0.759	6.53	0.760	6.52	0.762
15/03/2019	VIERNES	7.48	0.824	7.48	0.825	7.49	0.826
22/03/2019	VIERNES	8.23	0.842	8.24	0.843	8.26	0.847
29/03/2019	VIERNES	8.37	0.945	8.39	0.946	8.38	0.947
5/04/2019	VIERNES	8.78	0.979	8.79	0.978	8.77	0.977
12/04/2019	VIERNES	8.46	0.993	8.47	0.994	8.45	0.997
19/04/2019	VIERNES	8.37	1.247	8.35	1.248	8.36	1.246
26/04/2019	VIERNES	8.58	1.348	8.57	1.349	8.56	1.350
3/05/2019	VIERNES	8.67	1.478	8.66	1.479	8.66	1.480
10/05/2019	VIERNES	8.76	1.578	8.75	1.579	8.74	1.580
17/05/2019	VIERNES	8.88	1.648	8.87	1.649	8.86	1.650
24/05/2019	VIERNES	8.94	1.785	8.96	1.786	8.95	1.787
31/05/2019	VIERNES	8.97	1.845	8.98	1.846	8.99	1.845

## Anexo N° 4

### RESULTADOS DE ANÁLISIS DE COMPOST - HUAYUCACHI



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



#### INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : LADY CELY CASTILLO HUAMAN  
PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ HUAYUCACHI  
MUESTRA : COMPOST  
REFERENCIA : H.R. 68810  
BOLETA : 3148  
FECHA : 28/06/19

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
600	T2 III	7.21	3.97	26.81	0.94	1.30	0.57
601	T3 IV	7.44	3.26	28.69	1.00	1.54	0.55

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
600	T2 III	7.11	0.83	37.35	0.05
601	T3 IV	6.90	0.76	40.59	0.04

N° LAB	CLAVES	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm
600	T2 III	12018	29	370	603	23
601	T3 IV	9490	22	220	642	19

N° LAB	CLAVES	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
600	T2 III	47.63	4.55	36.65
601	T3 IV	34.55	3.68	22.73



Dr. Sady García Bendezy  
Jefe de Laboratorio



## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : LADY CELY CASTILLO HUAMAN  
PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ HUAYUCACHI  
MUESTRA : COMPOST  
REFERENCIA : H.R. 68810  
BOLETA : 3148  
FECHA : 28/06/19

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
598	T0 I	7.18	3.01	27.48	1.00	1.36	0.47
599	T1 II	6.97	3.43	28.85	0.98	1.27	0.46

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
598	T0 I	5.95	1.01	27.17	0.04
599	T1 II	7.39	1.01	31.63	0.03

N° LAB	CLAVES	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm
598	T0 I	9598	22	173	659	14
599	T1 II	9235	23	550	661	19

N° LAB	CLAVES	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
598	T0 I	45.35	2.75	19.10
599	T1 II	50.65	4.45	22.75

  
Dr. Sady García Bendezo  
Jefe de Laboratorio

## Anexo N° 5

### RECIBO DE PAGO DE LOS ANÁLISIS EN EL LABORATORIO DE SUELOS DE LA UNALM

**FDA**  
 FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO AGROPECUARIO  
 Jr. Camilo Carrillo N° 325 - Jesús María - Lima - Lima

Punto de emisión : Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Lima

Página Web : [www.fdaweb.com](http://www.fdaweb.com)

RUC: 20101259014  
 BOLETA DE VENTA ELECTRÓNICA  
 B041 - 00003148

Fecha : 18/06/2019  
 Identificación: DOC: NACIONAL DE IDENTIDAD  
 N° Identificación: 73087097  
 Nombre: LADY CELY CASTILLO HUAMAN  
 Dirección: —LIMA

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	IMPORTE
ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA: MATERIA ORGÁNICA COMPLETA, MICROELEMENTOS, PLOMO, CADMIO Y CROMO	NIU	4,00	310,00	1.240,00

**CANCELADO**  
 18 JUN 2019  
 LASPAF - UNALM

SON: MIL DOSCIENTOS CUARENTA Y 00/100 SOLES

TOTAL GRAVADA	TOTAL EXONERADA	TOTAL DSCTO.	VALOR VENTA	IMPUESTO	ISC	IMPORTE TOTAL
S/ 1,050.85	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 1,050.85	S/ 189.15	S/ 0.00	S/ 1,240.00

Autorizado mediante resolución N° 0320050000973 /SUNAT

bTnccOnW0hLzfmSNRdGtyrDpci= Puede descargar su comprobante desde el sitio: <http://consulta.fdaweb.com.pe>



Anexo N° 6

RECIBO DE PAGO DE LOS MICROORGANISMOS EFICACES



# AGROJESUS

## HUANCAYO S.A.C.

**¡TU AMIGO SEMBRANDO AGRICULTURA Y GANADERÍA!**

DISTRIBUIDOR DE SEMILLAS CERTIFICADAS ORIGINALES: ALFALFA MAOPA, ARAGON, SUPERLECHERA, RAYGRASS GIGANTE, TAMA, NUI, TREBOL ROJO, HORTALIZAS, STRONG, TUNDRAGRASS PARA ESTADIO Y PARQUES, AL POR MAYOR Y MENOR

**BOLETA DE VENTA**  
R.U.C. 20600651499  
001- N° 002012

**JR. CALIXTO N° 376 - URB. CERC. - HUANCAYO - HYO. - JUNIN - CEL.: 964601061**

Señor (es): Cely Castell

DIA	MES	AÑO
30	3	19

Dirección: \_\_\_\_\_ D.N.I.: \_\_\_\_\_

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	IMPORTE
1	Microorganismos Eficaces		49

**AGROJESUS HUANCAYO S.A.C.**  
SEMILLERIA - AGRICULTURA  
VETERINARIA - FERTILIZANTES  
UMIGADORAS - ALIMENTOS BALANCEADOS

Ind. Gref. CAHUIN  
R.U.C. 10448200529  
Jr. Cosco N° 198 - Huancaayo  
Aut. N° 1070327133 - F.I. 22/11/2018  
SERIE 001 del 2001 al 5.000

**CON CERTIFICADO DE SENASA**

TOTAL S/ 49

USUARIO \_\_\_\_\_





## GALERÍA FOTOGRÁFICA

### Anexo N° 8

#### PREPARACIÓN DEL ÁREA DE EXPERIMENTACIÓN

	
<p>Fotografía 1. Remoción de maleza del área experimental</p>	<p>Fotografía 2. Preparación de la cama con restos de hojarasca seca.</p>
	
<p>Fotografía 3. Medida del área de experimentación 6 m x 3 m</p>	<p>Fotografía 4. Reforzamiento de las pilas de compostaje con madera por los bordes</p>

## Anexo N° 9

### RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA



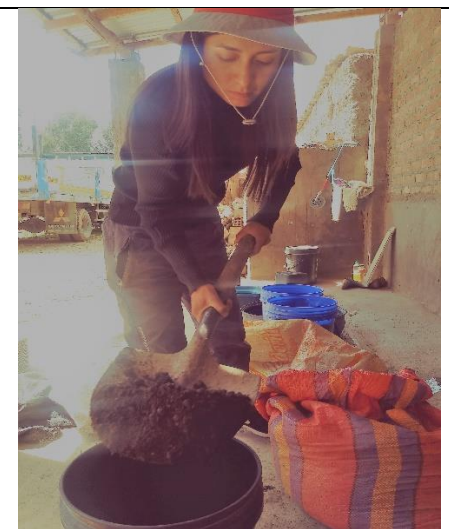
Fotografía 5. Recolección de residuos de mercado



Fotografía 6. Recolección de restos de cosecha



Fotografía 7. Recolección de estiércol de vaca



Fotografía 8. Recolección de estiércol de oveja

## Anexo N° 10

### APILADO PARA DAR INICIO AL COMPOSTAJE



Fotografía 9-10. Picado del estiércol de vaca



Fotografía 11. Picado de los residuos orgánicos de mercado



Fotografía 12. Pesado de 5 Kg de estiércol de oveja y 5 Kg de estiércol de vaca para cada pila



Fotografía 13. Pesado de 8 Kg de residuos orgánicos de mercado y 6 Kg de restos de cosecha.



Fotografía 14. Primera base con estiércol de vaca y oveja.



Fotografía 15. Segunda base con residuos orgánicos de mercado



Fotografía 16. Etiquetado de cada muestra por tratamiento



Fotografía 17. Cobertura de las pilas de compostaje con plástico negro para retener el calor y proteger de la lluvia

## Anexo N° 11

### ACTIVACION DE MICROORGANISMOS EFICACES (EM-COMPOST)



Fotografía 18. Adición de 1 litro de melaza de caña (5%) en un balde de plástico



Fotografía 19. Adición de 18 litros de agua de manantial en un balde de plástico.



Fotografía 20. Adición de 1 litro de EM Compost (5%) en un balde de plástico



Fotografía 21. Mezcla preparada, y almacenada en un recipiente con tapa de cierre hermético, para su fermentación bajo sombra.

## Anexo N° 12

### APLICACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS EFICACES (EM) EN LAS PILAS DE COMPOSTAJE



Fotografía 22. Adición de 500 ml de Microorganismos Eficaces (EM-A) en las pilas de tratamiento 1



Fotografía 23 Adición de 1000 ml de Microorganismos Eficaces (EM-A) en las pilas de tratamiento 2



Fotografía 24. Adición de 2000 ml de Microorganismos Eficaces (EM-A) en las pilas de tratamiento 3



Fotografía 25. Regado de cada pila de compostaje con Microorganismos Eficaces EM- A de acuerdo a la medida programada para cada tratamiento.

## Anexo N° 13

### MONITOREO DE LA TEMPERATURA, HUMEDAD Y VOLTEO DEL COMPOST



Fotografía 26. Monitoreo constante de la humedad y temperatura del compost



Fotografía 27. Volteo del compost



Fotografía 28. Presencia de lombrices por la descomposición de los residuos orgánicos



Fotografía 29. Descomposición de residuos orgánicos

## Anexo N° 14

### MONITOREO Y CONTROL DE pH, TEMPERATURA Y HUMEDAD



Fotografía 30. Control de temperatura con el termómetro de mercurio de 100 °C



Fotografía 31. Control de pH in situ



Fotografía 32. Control de pH in situ



Fotografía 33. Control de humedad con la prueba del puño



## Anexo N° 15

### COSECHA DEL COMPOST

	
<p>Fotografía 34. Finalización del proceso de compostaje listo para la cosecha</p>	<p>Fotografía 35. Compost por cada pila de compostaje</p>
	
<p>Fotografía 36. Mezcla de las pilas por tratamiento</p>	<p>Fotografía 37. Muestras de compost por tratamiento</p>

## Anexo N° 16

### MUESTRAS DE COMPOST PARA LOS ANALISIS RESPECTIVOS EN EL LABORATORIO DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES- UNALM



Fotografía 38. Tamizado y pesado de las muestras 1Kg por tratamiento.



Fotografía 39. Etiquetado con los parámetros para ser evaluados



Fotografía 40. Muestras de compost 1 Kg por tratamiento