

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS**  
**NATURALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE**  
**RECURSOS NATURALES**



**“EVALUACIÓN DE DOSIS DE**  
**MICROORGANISMOS EFICACES PARA EL**  
**COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS**  
**EN EL CEMENTERIO SANTA ROSA DE LIMA**  
**DEL DISTRITO DE CHORRILLOS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO**  
**AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

**AUTORES:**

**ROSALYN DAPHNE GOZAR RAFAEL**  
**PAULO JOSÉ PORTA-BEDÓN**

**ASESORA:**

**MsC. MARIA TERESA VALDERRAMA ROJAS**

**Callao, Mayo, 2018**  
**PERÚ**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

## COMISION DE GRADOS Y TITULOS

### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

N° 003-2018-JEDT-FIARN

Siendo las 11:20 horas del día miércoles 16 de mayo de 2018, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II 306-Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada "EVALUACIÓN DE DOSIS DE MICROORGANISMOS EFICACES PARA EL COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL CEMENTERIO SANTA ROSA DE LIMA DEL DISTRITO DE CHORRILLOS" presentada, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de los Bachilleres Paulo José Porta Bedón y Rosalyn Daphne Gozar Rafael.

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesora a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 019-2018-D-FIARN de fecha 11 de mayo de 2018, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

Blgo. Carlos Odorico Tome Ramos	Presidente
Ing. María Antonieta Gutiérrez Díaz	Secretaria
Ing. Nancy Elizabeth Cáceres Mayorga	Vocal
MsC. María Teresa Valderrama Rojas	Asesora

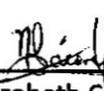
Terminada la exposición y la absolución de las preguntas del Jurado Evaluador, se invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del Auditorio para las deliberaciones del caso.

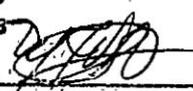
Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna con el Calificativo de **MUY BUENO** y con ello dar por concluido el proceso de Sustentación de Tesis.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 12:20 horas del día 16 de mayo de 2018.

  
Blgo. Carlos Odorico Tome Ramos  
Presidente

  
Ing. María Antonieta Gutiérrez Díaz  
Secretaria

  
Ing. Nancy Elizabeth Cáceres Mayorga  
Vocal

  
MsC. María Teresa Valderrama Rojas  
Asesora

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
OFICINA DE SECRETARIA GENERAL  
EL SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO que suscribe, CERTIFICA: Que la presente es copia fiel del original. Se expide la presente certificación a solicitud del (a) interesado (a) para los fines que juzgue conveniente

Callao, ..... 1 de JUN. 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
Oficina de Secretaría General

  
Lic. Cesar Guillermo Juregui Velazquez  
Secretario General

### **DEDICATORIA.**

A nuestros padres por el constante apoyo moral y económico brindado; a nuestros familiares y amigos por sus consejos y apoyo incondicional.

A Dios por nuestras vidas y por guiarnos al cumplimiento de todas nuestras metas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a todas las personas que prestaron su apoyo en la realización de esta tesis, en particular a la MsC. María Teresa Valderrama Rojas, quien fue nuestra asesora, aportando su amplio conocimiento en la mejora de nuestra investigación; asimismo agradecer al Sr. Félix Apolinario personal técnico del Cementerio Santa Rosa de Lima de Chorrillos por sus consejos y apoyo incondicional y a nuestros amigos Jhossy Chircca, Joseph Herencia y Dustin Travezaño por su apoyo en la implementación y realización de la parte experimental del proyecto.

Agradecemos a nuestra alma mater, la Universidad Nacional del Callao y en especial a nuestra Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales por la formación y conocimiento recibido durante nuestros años de estudios que permitieron el desarrollo de la presente investigación.

Finalmente agradecemos al Parque Ecológico Camposanto Santa Rosa de Lima – PNP de Chorrillos por el espacio y recursos brindados para la realización de esta tesis.

## INDICE

<b>CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1 Identificación del Problema .....	10
1.2 Formulación del problema.....	11
1.3 Objetivos de la investigación .....	12
1.4 Justificación.....	12
1.4.1 Teórica.....	12
1.4.2 Práctica.....	13
1.5 Importancia .....	13
1.5.1 Ambiental.....	13
1.5.2 Económico.....	13
1.5.3 Social.....	13
<b>CAPÍTULO 2 MARCO TEORICO.....</b>	<b>15</b>
2.1 Antecedentes del estudio .....	15
2.2 Bases teóricas.....	20
2.2.1 Compostaje .....	20
2.2.2 Propiedades del compost.....	20
2.2.3 Insumos utilizados en el compostaje.....	21
2.2.4 Tipos de compostaje.....	24
2.2.5 Principales variables en la dinámica del proceso de compostaje .....	25
2.2.6 Fases del compostaje .....	35
2.2.7 Sistemas de compostaje.....	36
2.2.8 Compost - Calidad del producto final .....	37
2.2.9 Microorganismos Eficaces .....	42
2.2.10 Análisis Multicriterio .....	48
2.3 Marco legal.....	52
2.3.1 Normativa nacional .....	52
2.3.2 Normativa internacional .....	54
2.4 Definiciones de términos básicos .....	57
<b>CAPÍTULO 3 VARIABLES E HIPOTESIS.....</b>	<b>59</b>
3.1 Variables de la investigación .....	59
3.2 Operacionalización de las variables: .....	59

3.3 Hipótesis .....	60
<b>CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA</b> .....	<b>61</b>
4.1 Tipo de Investigación .....	61
4.2 Diseño de la investigación.....	61
FASE 1: PREPARACIÓN .....	62
4.2.1 Identificación y caracterización de materiales .....	62
4.2.2 Elección y acondicionamiento del área de trabajo .....	63
4.2.3 Preparación de solución EM activado .....	65
4.2.4 Dimensionamiento y composición de pilas de compostaje.....	66
FASE 2: EJECUCIÓN.....	69
4.2.5 Acondicionamiento y armado de pilas de compostaje.....	69
4.2.6 Aplicación de los tratamientos a las pilas de compostaje.....	71
4.2.7 Seguimiento y control de pilas de compostaje .....	72
4.2.8 Cosecha de compost .....	74
4.3 Población y muestra.....	75
4.3.1 Población.....	75
4.3.2 Muestra.....	77
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	77
4.4.1 Técnicas utilizadas.....	77
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos.....	78
4.4.3 Procedimiento de recolección de datos.....	79
4.5 Procesamiento estadístico y análisis de datos .....	83
<b>CAPÍTULO 5 RESULTADOS</b> .....	<b>84</b>
5.1 Resultados obtenidos durante el proceso de compostaje.....	84
5.1.1 Temperatura .....	84
5.1.2 Potencial de hidrogeno (pH) .....	86
5.1.3 Conductividad eléctrica.....	87
5.2 Resultados obtenidos del análisis del compost final.....	88
5.2.1 Resultados de laboratorio .....	88
<b>CAPÍTULO 6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>90</b>
6.1 Contrastación de resultados durante el proceso de compostaje.....	90
6.1.1 Contrastación de la temperatura.....	90
6.1.2 Contrastación del pH .....	91
6.1.3 Contrastación de la conductividad eléctrica (CE).....	92

6.2 Contrastación de hipótesis con los resultados en referencia a la Norma Chilena 2880 y Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011 .....	93
6.2.1 Contrastación de pH .....	94
6.2.2 Contrastación de conductividad eléctrica (CE).....	95
6.2.3 Contrastación de materia orgánica (MO) .....	97
6.2.4 Contrastación de la relación carbono/nitrógeno (C/N).....	99
6.2.5 Contrastación de la humedad .....	100
6.2.6 Contrastación de nitrógeno .....	102
6.2.7 Contrastación del fósforo .....	103
6.2.8 Contrastación del Potasio .....	104
6.3 Determinación de la dosis óptima de microorganismos eficaces mediante la aplicación del método AHP.....	105
6.3.1 Determinación de la estructura del modelo jerárquico.....	106
6.3.2 Emisión de opiniones y evaluaciones de alternativas por criterio .....	106
6.3.3 Análisis de consistencia de las evaluaciones realizadas .....	109
6.3.4 Establecimiento de prioridades por criterio – ponderación de criterios.....	112
6.3.5 Determinación del vector de prioridad global .....	114
6.4 Contrastación de resultados con investigaciones similares .....	115
<b>CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES</b> .....	117
<b>CAPÍTULO 8 RECOMENDACIONES</b> .....	119
<b>CAPÍTULO 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	120
<b>ANEXOS</b> .....	126

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 2.1</b> COMPOSICIÓN DE MACRO Y MICRONUTRIENTES EN TIPOS DE ESTIERCOL .....	22
<b>TABLA 2.2</b> CONTENIDO TOTAL DE NUTRIENTES EN ESTIÉRCOLES.....	23
<b>TABLA 2.3</b> RELACIÓN C/N DE MATERIALES USADOS PARA COMPOSTAJE .....	29
<b>TABLA 2.4</b> PARÁMETROS DE COMPOSTAJE .....	31
<b>TABLA 2.5</b> ESCALA NUMÉRICA PROPUESTA POR SAATY .....	49
<b>TABLA 2.6</b> VALORES DE LOS INDICES DE CONSISTENCIA ALEATORIA .....	51
<b>TABLA 2.7</b> PRODUCTOS PERMITIDOS PARA FERTILIZACIÓN DEL SUELO.....	53

<b>TABLA 2.8</b>	REQUISITOS PARA DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE COMPOST .....	55
<b>TABLA 2.9</b>	CARACTERÍSTICAS GENERALES SEGÚN TIPO DE COMPOST .....	56
<b>TABLA 3.1</b>	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	60
<b>TABLA 4.1</b>	RESULTADOS DE DENSIDAD DE MATERIALES .....	63
<b>TABLA 4.2</b>	DETERMINACIÓN DEL PESO Y VOLUMEN POR PILA DE COMPOSTAJE .....	68
<b>TABLA 4.3</b>	CÁLCULO DE LA DOSIS DE APLICACIÓN .....	71
<b>TABLA 4.4</b>	APLICACIÓN DE EMA .....	72
<b>TABLA 4.5</b>	RECUPERACIÓN DE COMPOST TAMIZADO .....	74
<b>TABLA 4.6</b>	GENERACIÓN MENSUAL Y ANUAL DE MATERIALES A COMPOSTAR .....	77
<b>TABLA 4.7</b>	LISTADO DE TÉCNICAS DE ENSAYO .....	78
<b>TABLA 5.1</b>	RESULTADOS DE TEMPERATURA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	84
<b>TABLA 5.2</b>	RESULTADOS DE PH EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	86
<b>TABLA 5.3</b>	RESULTADOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	87
<b>TABLA 5.4</b>	RESULTADOS OBTENIDOS DEL COMPOST FINAL .....	88
<b>TABLA 6.1</b>	MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES PARA EL CRITERIO MATERIA ORGÁNICA (MO) .....	106
<b>TABLA 6.2</b>	MATRIZ NORMALIZADA PARA EL CRITERIO MATERIA ORGÁNICA (MO) .....	107
<b>TABLA 6.3</b>	VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO MATERIA ORGÁNICA (MO) .....	107
<b>TABLA 6.4</b>	MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO NITRÓGENO .....	108
<b>TABLA 6.5</b>	MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO FÓSFORO .....	108
<b>TABLA 6.6</b>	MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO POTASIO .....	108
<b>TABLA 6.7</b>	MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO RELACIÓN C/N .....	108

<b>TABLA 6.8</b>	MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO HUMEDAD.....	109
<b>TABLA 6.9</b>	MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH).....	109
<b>TABLA 6.10</b>	MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE).....	109
<b>TABLA 6.11</b>	VALORES DE RAZÓN DE CONSISTENCIA (RC) POR CRITERIO DE EVALUACIÓN.....	111
<b>TABLA 6.12</b>	MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES PARA LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	113
<b>TABLA 6.13</b>	VECTOR DE PRIORIDAD Y RAZÓN DE CONSISTENCIA (RC) DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	113
<b>TABLA 6.14</b>	VECTOR DE PRIORIDAD GLOBAL PARA LAS ALTERNATIVAS EVALUADAS .	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1</b>	EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA Y FASES DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	26
<b>FIGURA 2.2</b>	VARIACIÓN DE PH EN UNA PILA DE COMPOSTAJE .....	33
<b>FIGURA 2.3</b>	CURVA DE CRECIMIENTO MICROBIANO Y SUS FASES EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	34
<b>FIGURA 2.4.</b>	POSIBILIDADES DE APLICACIÓN DE COMPOST .....	39
<b>FIGURA 4.1</b>	ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
<b>FIGURA 4.2</b>	UBICACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.....	63
<b>FIGURA 4.3</b>	VISTA DE PLANTA DE RECUBRIMIENTO.....	64
<b>FIGURA 4.4</b>	DISPOSICIÓN DE PILAS DE COMPOSTAJE.....	67
<b>FIGURA 4.5</b>	DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES EN CAPAS .....	68
<b>FIGURA 4.6</b>	CONSTRUCCIÓN DE ZANJAS .....	70
<b>FIGURA 4.7</b>	PUNTOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN PILAS DE COMPOSTAJE.....	80
<b>FIGURA 6.1</b>	EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	90

<b>FIGURA 6.2</b>	EVALUACIÓN DEL PH DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	91
<b>FIGURA 6.3</b>	EVOLUCIÓN DE LA CE DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	92
<b>FIGURA 6.4</b>	RESULTADOS DE PH COMPARADOS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA ...	94
<b>FIGURA 6.5</b>	RESULTADOS DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA COMPARADPS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA.....	96
<b>FIGURA 6.6</b>	RESULTADOS DE MATERIA ORGÁNIIICA COMPARADOS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA.....	97
<b>FIGURA 6.7</b>	RESULTADOS DE RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO COMPARADOS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA .....	99
<b>FIGURA 6.8</b>	RESULTADOS DE HUMEDAD COMPARADOS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA.....	101
<b>FIGURA 6.9</b>	RESULTADOS DE NITRÓGENO COMPARADOS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA.....	102
<b>FIGURA 6.10</b>	RESULTADOS DE FOSFORO COMPARADOS CON NORMA MEXICANA.....	104
<b>FIGURA 6.11</b>	RESULTADOS DE POTASIO COMPARADOS CON NORMA MEXICANA .....	105
<b>FIGURA 6.12</b>	MODELO JERÁRQUICO DE ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA .....	106

EVALUACIÓN DE DOSIS DE MICROORGANISMOS  
EFICACES PARA EL COMPOSTAJE DE RESIDUOS  
ORGÁNICOS EN EL CEMENTERIO SANTA ROSA DE  
LIMA DEL DISTRITO DE CHORRILLOS

*vegetales de poda y arreglos florales del cementerio Santa Rosa de Lima?*

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **Objetivo General:**

- Evaluar la dosis de aplicación de microorganismos eficaces en el proceso de compostaje de estiércol equino, restos vegetales de poda y arreglos florales en el Cementerio Santa Rosa de Lima.

#### **Objetivos Específicos:**

- Implementar y monitorear un sistema de pilas de compostaje compuesto de microorganismos eficaces, estiércol equino y restos vegetales de poda y arreglo floral.
- Determinar la dosis óptima de microorganismos eficaces que permita obtener mejores rendimientos.
- Analizar las características químicas y fisicoquímicas del compost obtenido.

### **1.4 Justificación**

#### **1.4.1 Teórica**

Esta investigación se desarrolló con el método de compostaje en pilas con sistema de aireación por volteo, debido a que esta técnica es usada en áreas relativamente grandes, además de tener consumo de energía bajo, y posee un costo de inversión moderado, pudiendo generar altas cantidades de producción de compost de acuerdo al área donde se desarrolle y la cantidad disponible de materia prima. Se tomó en cuenta estas especificaciones para el desarrollo de la investigación para corroborar el uso adecuado de espacio, material, energía e inversión.

Así también se buscó contrastar información brindada por parte del productor de EM acerca de la dosis necesaria para el desarrollo de

compost, para así hallar la fórmula de compostaje más acorde al área de trabajo del cementerio donde se desarrolló la investigación.

#### **1.4.2 Práctica**

La presente investigación se enfocó en analizar cómo afecta la aplicación de los microorganismos eficaces (EM) dentro del proceso de compostaje, y evaluar la dosis que nos brinde el mejor rendimiento en la obtención del compost. Es así que como resultado de esta investigación se buscó proponer la dosis óptima que brinde el compost de mejor calidad con la materia orgánica disponible a compostar.

#### **1.5 Importancia**

##### **1.5.1 Ambiental**

La presente investigación mostró una alternativa asequible de aprovechamiento eficientemente de los residuos sólidos orgánicos mediante un proceso de compostaje con aplicación de microorganismos eficaces tomando en cuenta los impactos ambientales que conllevan la mala disposición y tratamiento de estos residuos.

##### **1.5.2 Económico**

Mediante esta investigación se brindó una alternativa beneficiosa de aprovechar los residuos orgánicos como un método de bajo costo, además de ser una manera de optimizar el aprovechamiento de residuos orgánicos con adición de dosis de EM que aumente la calidad del compost obtenido y reducir costos en compra de abono para áreas verdes del Cementerio Santa Rosa de Lima.

##### **1.5.3 Social**

La presente investigación expuso una propuesta de aprovechamiento de residuos orgánicos mediante método de compostaje como una alternativa de mejora en la gestión de los

residuos orgánicos del cementerio Santa Rosa de Lima ya que dicho establecimiento posee un entorno ecológico para trabajadores, visitantes y habitantes de viviendas aledañas. Ya que el potencial uso del abono generado a partir de residuos orgánicos producidos en el cementerio favorecerá al incremento y mejoramiento de áreas verdes del mismo.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEORICO

#### 2.1 Antecedentes del estudio

Altamirano y Cabrera (2006) realizaron la investigación titulada **“Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual”** en la ciudad de Lima distrito de Puente Piedra, la cual tuvo como objetivo evaluar la elaboración de dos tipos de compost mediante la utilización de un sistema manual de pozas, utilizando como sustratos los siguientes materiales: el primero utilizó restos orgánicos (restos de cocina), estiércol de vaca y cenizas, mientras que el segundo utilizó rastrojos (restos de tallos y hojas de cultivo), estiércol de cuy y cenizas. Una vez obtenido el compost de las dos pozas se procedió a realizar un análisis de las mismas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina; en los parámetros pH, conductividad eléctrica y porcentajes de materia orgánica, nitrógeno, fosfatos, oxido de potasio, oxido de calcio, oxido de manganeso, humedad y sodio. Finalmente los resultados obtenidos fueron comparados con las propiedades generales de un compost para ser comercializado de la OMS (1985) en los parámetros pH (6-9), humedad (30-50 %) y materia orgánica (10-30 %) obteniéndose valores dentro de dichos rangos para el compost obtenido de la poza 1 (pH: 7,10, humedad: 26,34 % y materia orgánica: 14,90 %) y poza 2 (pH: 6,90, humedad: 35,74 % y materia orgánica: 23,10 %), a excepción del parámetro humedad en la poza 1 que se encontró por debajo del límite inferior del rango estipulado por la OMS. Es así que los compost obtenidos en ambas pozas fueron de buena calidad en comparación con la norma de referencia.

Los autores Guerrero y Monsalve (2006) en su investigación titulada **“El compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda”**, que tuvo como objetivo la aplicación de metodologías de producción más limpia a los subproductos generados en el proceso de sacrificio y faenado del ganado de dichas instalaciones como son el rumen, decomisos, estiércol y sangre mediante la realización del compostaje, la investigación inició identificando las cantidades y características de los subproductos a utilizar (N: nitrógeno, C/N: relación de carbono-nitrógeno y Hd: humedad) siendo estas las siguientes: estiércol vacuno (N: 1,5 %, C/N: 25, Hd: 15 %), sangre (N: 7 %, C/N: 9, Hd: 97 %), Rumen y decomisos mezclados (N: 5 %, C/N: 4, Hd: 45 %) y tendido o viruta (N: 0,1 %, C/N: 300, Hd: 8 %), luego se procedió a realizar el cálculo de la relación carbono-nitrógeno y humedad de la mezcla resultante de los subproductos a utilizar obteniéndose resultados dentro de los rangos óptimos estipulados, por lo que se concluye que el proceso de compostaje es la mejor alternativa como solución técnica y socioeconómica de dicha localidad ya que según los cálculos realizados los subproductos de beneficio vacuno presentan características idóneas para dicho proceso.

Tiempo después los autores Guerrero y Monsalve (2007) publicaron la investigación titulada **“Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado”** en esta investigación se continuó el proyecto mencionado en la anterior publicación tomando como referencia los datos obtenidos en el análisis de los materiales potenciales a ser utilizados para el compostaje (estiércol, contenido ruminal, sangre y decomisos) mediante la construcción de una planta piloto ubicada en el área donde se realizaba el manejo del rumen del Centro de Beneficio Animal “Guayabito” en el municipio de Santa Rosa de Cabal, Colombia, la realización del compostaje se llevó a cabo mediante la

implementación de dos pilas de compostaje compuestas por la mezcla de subproductos generados aproximadamente de 15 reses en adición a 180 kg de aserrín, las dos pilas de compostaje recibieron tratamientos distintos con la finalidad de evaluar la cantidad de mano de obra necesaria para optimizar la producción de compost de la siguiente manera: en la pila 1 se efectuaron dos volteos semanales mientras que la pila 2 solo recibió 1 volteo semanal pero adicionalmente se le incorporo un tubo aforado al medio de la pila, teniendo la pila 1 más mano de obra en comparación con la pila 2. Una vez obtenido el compost de ambas pilas fueron mandados a analizar respecto a los siguientes parámetros: contenido de patógenos, parámetros fisicoquímicos, macronutrientes y micronutrientes; del análisis de todos estos parámetros se pudo concluir lo siguiente "...para efectos de este proyecto de investigación, se puede asegurar que la pila 1 permitió obtener un compost con una mejor calidad que el obtenido en la pila 2, dado que al comparar ambos compost, el obtenido en la pila 1 presenta un pH más neutro, una menor humedad, una mayor concentración de macronutrientes N, P y K y mayor contenido de materia orgánica", cabe señalar que el parámetro humedad si bien fue menor en la pila 1, aun así este valor no cumplió con el valor ideal recomendado (20 %) por lo que se recomendó cambiar el material de recubrimiento de las pilas por uno translucido.

Sanchez (2008) en su investigación "**Elaboración, caracterización y comparación de abonos orgánicos a base de equinaza y bovinaza**" presentado en el año 2008 en Santander, Colombia; se enfocó en el análisis cuantitativo y estadístico de las características propias del compost obtenido a partir de la equinaza y bovinaza, los materiales utilizados para la elaboración del compost fueron los siguientes: hojas y tallos previamente triturados (ripios), tierra negra, estiércol de caballo y de vaca. Una vez obtenidos los productos de

compostaje de equinaza y bovinaza, así como su evaluación fisicoquímica (la cual demostró que ambos productos de compost cumplieran todas las características necesarias para ser usadas) se procedió a determinar la eficiencia de los mismos en mini cultivos de hortalizas como el tomate, cilantro y rábano donde se les agregó dosis iguales del compost obtenido. El estudio concluyó que luego del análisis de la eficiencia en los mini cultivos, el compost obtenido a partir de la bovinaza presentó mejores resultados desde el punto de vista agrícola todo esto por su reducido tiempo de elaboración, fácil obtención de materia prima y por su calidad de nutrientes en la misma.

Tortarolo, Pereda, Palma y Arrigo (2008) publicaron su investigación **“Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje”** en la revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Argentina; los materiales utilizados fueron restos de vegetales (restos de poda, limpieza de hojas, cortes de césped de parques y jardines) y estiércol de caballo, los materiales fueron preparados en tres mezclas distintas para su compostaje: A: solo restos de vegetales, B: 75 % de restos de vegetales más 25 % de estiércol de caballo y C: 50 % de restos de vegetales más 50 % de estiércol de caballo, de estas mezclas se realizaron 5 repeticiones a las cuales se les agregó los siguientes complementos: compost previamente obtenido del mismo material en su fase activa a razón de 14 % en volumen, hongos del genero *Pleurotus sp*, bacterias de géneros *Pseudomonas sp.* y *Klebsiella sp.*, hongos más bacterias mencionadas anteriormente y testigo sin inocular; en adición a esto se realizaron 5 repeticiones según lo precisado anteriormente pero con una dosificación de aminoácidos para el aporte de nitrógeno; dando un total de 30 tipos de tratamiento para la elaboración de compost. Del análisis de los resultados se concluyó lo siguiente: las temperaturas obtenidas en los compost que recibieron inóculos fueron más elevadas y la fluctuación de las

mismas fue menor durante la fase termófila en comparación con las que no recibieron inoculación, no se presentó diferencia alguna entre las muestras que recibieron o no una dosis de aminoácidos (nitrógeno), cabe precisar que el tiempo en que se alcanzó las temperaturas pico en los tratamientos con inoculación fueron entre los días 2 y 4, mientras que para los tratamientos sin inoculación dicho pico de temperatura se presentó en el octavo día.

En la investigación titulada **“Evaluación de los efectos del activador biológico *Enzymplus* en la elaboración de compost utilizando estiércol de vacuno y ovino”** de los autores Kimura y Guerrero (2009) realizada en la Universidad Nacional Agraria de la Molina en la ciudad de Lima, Perú; el método de compostaje fue mediante el método de pilas, implementándose 6 pilas de la siguiente forma: las tres primeras pilas correspondieron a una mezcla de vegetales (mezcla de pasto Kinggrass verde y seco, campanilla y tallo de algodón previamente picados) y estiércol vacuno (dispuestas en una relación de 2:1 en volumen), la primera pila correspondió al blanco o patrón donde no fue agregado el activador biológico, en la pila 2 se agregó la dosis sugerida por la empresa que comercializa este insumo siendo de 418,2 g/t al momento de la instalación de la pila, en la pila 3 se añadió el doble de la dosis sugerida por el proveedor siendo esta de 836,3 g/t al momento de la instalación de la pila; así mismo las siguientes 3 pilas correspondieron a una mezcla de vegetales y estiércol de ovino que fueron preparadas de forma similar a las tres primeras pilas (a excepción de la dosis de activador biológico usado que fue de 486,3 g/t y 972,6 g/t respectivamente). El tiempo de maduración del compost fue de 4 meses, asimismo se realizó un monitoreo constante de los siguientes parámetros: temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica, relación carbono-nitrógeno y población bacteriana y de hongos. De la evaluación se concluyó que el activador biológico aplicado en la dosis recomendada por la

empresa presento mejoras en la calidad agronómica del compost elaborado con estiércol vacuno frente a los demás compost, así mismo los compost elaborados con estiércol vacuno y ovino que recibieron una dosis cercana a la recomendada por la empresa fueron las que presentaron mayor producción de materia seca de maíz frente a los otros tipos de compost.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Compostaje**

Para Dalzell (1991) el compostaje es la descomposición o degradación de los materiales de desechos orgánicos por una población mixta de microorganismos en un ambiente cálido, húmedo y aireado. Los desechos se amontonan juntos en una pila de manera que el calor generado en el proceso pueda ser conservado. Como resultado, sube la temperatura de la pila, acelerando por tanto el proceso básico de degradación natural que normalmente ocurre con lentitud en desechos orgánicos que caen sobre la superficie del suelo. El producto final del proceso es el compost que sirve en agricultura para mejorar la estructura y propiedades de retención del agua del suelo, y para suministrar nutrientes a las plantas a medida que el compost se descompone finalmente en materia mineral.

### **2.2.2 Propiedades del compost**

Entre las propiedades conocidas del compost como producto del compostaje y su aplicación en la agricultura tenemos:

Según Álvarez de la Puente (2007)

- El compost contiene una gran reserva de nutrientes que poco a poco entrega a las plantas.
- Al aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, aumenta su estabilidad y así se evita la erosión y la desertificación.

- Su utilización amortigua el peligro que supone para el suelo y el agua subterránea la aplicación abusiva de fertilizantes químicos de la agricultura convencional, absorbiendo sobrantes.

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2013) indica que el compost:

- Aporta estructura al suelo y contribuye a la calidad de sus propiedades de aireación. Reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y la permeabilidad hídrica y gaseosa.
- Aumenta el contenido de nutrientes, macronutrientes Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), micronutrientes y mejora la capacidad de intercambio de cationes del suelo.

### **2.2.3 Insumos utilizados en el compostaje**

Los residuos orgánicos son la principal fuente de suministro de material para la elaboración de compost.

Por su origen se clasifican como:

*Domésticos*, se considera materiales residuales de la preparación de comidas (restos de frutas, verduras, cascara de huevo, entre otros) y desechos de origen animal (carne, piel, sangre, huesos y otros); *De jardín*, incluye restos de cultivo de huertas, flores muertas, tallos, pastos y hojarasca; *Subproductos agrícolas*, como residuos de cosecha de todo cultivo, así como cascarillas y salvado obtenidos de la molienda; *Desechos del ganado*, los estiércoles, orina y deyecciones de todo tipo de animales, son excelentes para el compostaje ya que tienen alto porcentaje de nutrientes y *Forestales*, restos de árboles, hojas y ramas caídas que contiene grandes cantidades de lignina y celulosa que continúan mineralizándose en el suelo después de aplicados. (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2014)

Dentro de los insumos de tipo residuos orgánicos, los cuales se menciona por ser de importancia para nuestro estudio, tenemos al estiércol y el forraje (residuos de poda de jardín y flores).

**Estiércol:** Son los principales insumos usados para considerar en la preparación de abonos orgánicos como aportantes de macro y micro-nutrientes.

Los estiércoles son preparados bioquímicos en los cuales proliferan en forma natural los microorganismos transformadores de sustancias simples y complejas; estos mineralizan sustancias de estructuras complicadas en elementos simples, al igual que pueden sintetizar dentro de sus organismos productos complejos. (Bongcam, 2003)

El contenido total de nutrimentos en los estiércoles es muy variable y depende de la especie que lo produce, edad del animal, su eficiencia digestiva, tipo de alimentación que recibe y el manejo a que ha sido sometido el estiércol desde de su recolección, maduración y almacenamiento. (SAGARPA, 2014)

En la tabla N° 2.1 se presenta la composición nutricional en macro y micronutrientes de los diferentes tipos de estiércol utilizados en la elaboración de abonos orgánicos como el compost.

**TABLA 2.1**  
COMPOSICIÓN DE MACRO Y MICRONUTRIENTES EN TIPOS DE ESTIÉRCOL

Tipo de estiércol	Macronutrientes (%)					Micronutrientes (%)				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	H <sub>2</sub> O
Gallina	2.78	5.4	8.68	6.71	0.61	2300	837	-	590	58
Bovino	2.11	1.6	5.76	0.87	0.44	1200	763	-	132	75
Porcino	2.32	4.72	3.9	3.25	8.77	8800	643	-	422	62
Equino	1.79	2.29	2.87	-	-	-	-	-	-	71

Fuente: (Restrepo, 2001)

Asimismo el contenido de nutrientes de los estiércoles utilizados en agricultura se muestra en la tabla 2.2.

**TABLA 2.2**  
**CONTENIDO TOTAL DE NUTRIENTES EN ESTIÉRCOL**

Determinaciones	Tipo de estiércol				
	Vacuno	Gallina	Porcino	Equino	Caprino
Humedad (%)	36	30	20	25	18
pH (relación 1:2)	2	7.4	7.2	7	7.5
Materia Orgánica (%)	70	70	68	60	55
Nitrógeno total (%)	1.5	3.7	3.7	1.2	2.5
Fosforo (%)	0.6	2.2	2	0.2	0.6
Potasio (%)	2.5	2.7	30	2.5	2.2
Calcio (%)	3.2	5.7	7.5	6	8
Magnesio (%)	0.8	1	2.3	0.2	0.2
Sodio (%)	1.6	1.1	0.3	0.1	0.1
Zinc (ppm)	130.6	516	-	-	-
Manganeso (%)	264	474	-	-	-
Hierro (%)	<354	4902	-	-	-
Relación C/N	26	11	13	33	18
Mineralización (%1er. Año)	35	90	65	30	32

Fuente: Romero (citado en SAGARPA, 2014)

**Forrajes en general:** “Se consideran los residuos de cocina, de cosechas y otros resultantes de podas y guadañados, en cercas vivas y coberturas de piso. Favorecen la fermentación, aportan nitrógeno y otros materiales” (Bongcam, 2003).

Luego como otro tipos de insumos importantes para el estudio tenemos:

**El agua:** “Con la aplicación de agua se homogeniza la humedad de los insumos del abono. Propicia las condiciones ideales para el desarrollo y reproducción microbiológica, durante todo el proceso de la fermentación” (Bongcam, 2003) en el proceso de compostaje.

Puede controlarse el exceso de humedad agregando a la mezcla bagazo, broza o estiércol seco picado.

**La cal viva:** Es el óxido de calcio. “Se recomienda su uso en lugar de la cal agrícola o carbonato cálcico, dado su mayor contenido de

calcio. Es empleado también para pasteurizar los restos orgánicos que puedan llegar contaminados por microorganismos perjudiciales para el hombre y animales” (Bongcam, 2003).

“Su función principal es regular la acidez que se presenta durante todos el proceso de fermentación, cuando se está elaborando el abono orgánico” (Restrepo, 2001).

#### **2.2.4 Tipos de compostaje**

El compostaje según la naturaleza del proceso de descomposición se divide en:

**Compostaje anaeróbico:** La descomposición se produce en ausencia o cantidades limitadas de oxígeno. Bajo este método, microorganismos anaerobios dominan y desarrollan compuestos intermedios como el metano, ácidos orgánicos, sulfuro de hidrógeno y otras sustancias. Por otra parte el proceso suele tardar más tiempo que el compostaje aeróbico, sin embargo se suele perder menos nutrientes durante el proceso. (Misra, Roy e Hiraoka, 2003)

**Compostaje aeróbico:** Tiene lugar en presencia de oxígeno, además en este proceso los microorganismos aeróbicos descomponen la materia orgánica y producen dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), amoníaco, agua, calor y humus, el producto orgánico final es estable. El compost resultante, con su forma relativamente inestable de materia orgánica tiene poco riesgo de fitotoxicidad. El calor generado acelera la descomposición de las proteínas, grasas e hidratos de carbono complejos, tales como la celulosa y hemicelulosa. Por lo tanto, el tiempo de procesamiento es más corto. Además, este proceso destruye muchos microorganismos que son patógenos humanos o vegetales, así como semillas de malas hierbas, ya que se somete a una temperatura suficientemente alta. A pesar de que se pierden más nutrientes a partir de los materiales de

compostaje aeróbico, se considera más eficaz y útil que el compostaje anaeróbico para la producción agrícola. (Misra et al. 2003)

### **2.2.5 Principales variables en la dinámica del proceso de compostaje**

La dinámica del proceso de compostaje es compleja la cual se debe principalmente a las variaciones que existen a lo largo del proceso en las diferentes variables.

La Red Española de Compostaje (2015) afirma que las variables que controlan el proceso de compostaje pueden clasificarse en tres grupos: físicas, químicas y biológicas. Entre las variables físicas podemos destacar la temperatura, humedad y el tamaño de partículas que condicionará la porosidad y el espacio de aire libre. Entre las variables químicas, la relación C/N, el pH y la disponibilidad de oxígeno, que garantizará una adecuada aireación. Entre las biológicas, los dos factores más importantes son la presencia de microorganismos capaces de realizar el proceso de compostaje y la biodegradabilidad de los residuos.

#### **▪ *Temperatura***

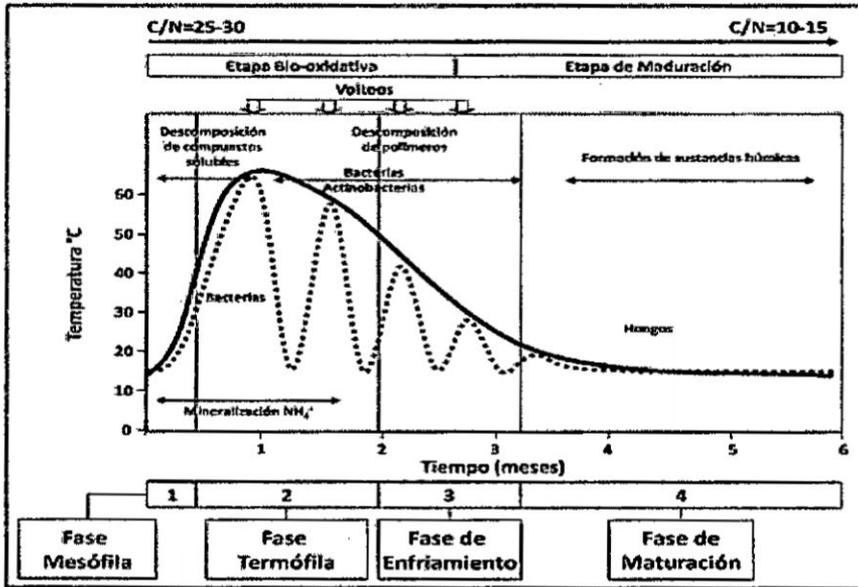
Dalzell (1991) menciona que la temperatura dentro del proceso es resultado del balance energético entre el calor generado en el proceso aerobio de oxidación de los sustratos y las pérdidas de calor que origina un aumento de la temperatura.

Román, Martínez y Pantoja (2013) afirman que el compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente.

La evolución de la temperatura en un proceso de compostaje presenta etapas denominadas: mesófila, termófila, de enfriamiento y

madurez, la cual podemos apreciar en el perfil de la temperatura de la figura 2.1.

**FIGURA 2.1**  
EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA Y FASES DEL PROCESO DE COMPOSTAJE



Fuente. Red Española de Compostaje (2015)

La Red Española de Compostaje (2015) indica que la evolución real de la temperatura estará matizada por características de los residuos de compostaje y por el sistema empleado para realizar el proceso. Siendo la temperatura un factor clave en el proceso de compostaje ya que de ella dependen los consorcios microbianos viables que realizan la degradación en cada momento y determina la desinfección al final del proceso (...) Por todos estos motivos se considera a la temperatura como una de las variables más adecuadas para realizar el seguimiento del proceso.

▪ **Humedad**

Según Román et al. (2013) es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que, usan el agua como medio de transporte de nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular.

“El material orgánico polimérico (proteínas, grasas, hemicelulosas y ligninas) no puede ser usado por los microorganismos a menos que sea roto (hidrolizado) a componentes solubles, generalmente monómeros o dímeros, que pueden cruzar la membrana celular” Hankni (citado en Red Española de Compostaje, 2015). Siendo los compuestos solubles que se pueden encontrar durante el compostaje, azúcares, aminoácidos, ácidos grasos, etc. generados presentes al inicio del proceso o generados fruto de hidrólisis de compuestos más complejos.

Adicionalmente la Red Española de Compostaje (2015) afirma que el agua es esencial en el proceso de compostaje debido a su importancia en la refrigeración de las pilas de compostaje ya que además el agua permite el movimiento de nutrientes y contribuye a la definición de matriz sólido-líquido-gas en a que se desarrolla el proceso de compostaje.

Es debido a estos motivos que es fundamental controlar el adecuado contenido de humedad en el proceso, especialmente en la etapa termófila que es donde se producen mayores pérdidas de humedad debido a la evaporación por altas temperaturas alcanzadas. Siendo el método más común para controlar la humedad a adición directa de agua.

Según Dalzell (1991) cuando el contenido de humedad es demasiado alto los espacios entre las partículas del material se saturan de agua, impidiendo el movimiento del aire dentro de la pila. Siendo el valor inicial de humedad para el compostaje de 55 - 85 % y el valor final debe estar entre 30 - 40%.

La Red Española de Compostaje (2015) menciona que si la humedad es demasiado elevada puede producirse colmatación de los poros, lo que reducirá la disponibilidad del oxígeno dando lugar a

la descomposición anaerobia, que conllevaría al descenso de la temperatura, producción de malos olores. Por el contrario valores demasiados bajos de humedad hacen que la humedad no sea disponible a las comunidades microbianas, haciendo que la matriz sólida del compost no presente humedad biodisponible para los microorganismos que inhibirá la actividad microbiana y ralentizará el proceso. El descenso de humedad afecta principalmente a poblaciones microbianas ya que los hongos pueden permanecer activos biológicamente a humedades más bajas, aunque por debajo del 20% todas las poblaciones inhiben casi totalmente su actividad.

▪ **Conductividad eléctrica (CE)**

Según la Red Española de Compostaje (2015) está condicionada por la concentración de sales y de iones de amonio o nitrato. La CE aumenta generalmente durante el proceso debido a la degradación de la materia orgánica que produce un aumento en la concentración de sales. Sin embargo la disminución de la CE puede estar asociada a un riego excesivo de la masa con agua limpia que supone un lavado de sales y acumulación de lixiviados.

Siendo la CE uno de los parámetros que condiciona en mayor medida la calidad y aplicabilidad del compost ya que un exceso de salinidad afecta las propiedades agronómicas dificultando la absorción de agua por las raíces de las plantas.

Una de las características químicas más importantes del compost final es su conductividad eléctrica, la cual nos indica la salinidad del compost y no debe ser muy superior a 2 mS/cm, para no provocar toxicidad en las plantas. (Ecogestión de los Residuos Orgánicos Ganaderos [ECOREGA], 2017)

▪ **Tamaño de partícula y porosidad**

Román et al. (2013) mencionan que la actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula es decir con la facilidad de

acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm.

La Red Española de Compostaje (2015) afirma que la porosidad es el espacio libre entre las partículas sólidas que generalmente se expresa en términos de porcentaje con respecto al volumen total. Los poros proveen al sistema de conductos a través de los cuales se transportan los nutrientes, permiten el crecimiento de los microorganismos y sirven para almacenar la humedad.

▪ **Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)**

Román et al. (2013) afirman que la relación C/N varía en función de material de partida y se obtiene la relación numérica al dividir el contenido del C (%C total) sobre el contenido de N total (%N total) de los materiales a compostar.

**TABLA 2.3**  
RELACIÓN C/N DE MATERIALES USADOS PARA COMPOSTAJE

<b>Material</b>	<b>Relación C/N</b>
<b>Desechos del ganado</b>	
Orina	0.8
Estiércol Almacenado (3 meses)	15-20
Estiércol bovino	20-25
Estiércol de caballo	25
<b>Desechos de cosecha</b>	
Semillas de oleaginosas	3-15
Residuos de leguminosas	15
Alfalfa verde	15
Desechos de caña de azúcar	15-20
Rastrojos de maíz	40-80
Paja de trigo	50-150
<b>Desechos vegetales</b>	
Follaje de pino	5
Residuos frescos de jardín	12
Algas	19
Restos frescos del huerto	30

Material	Relación C/N
Hojas secas	50-80
<b>Desechos agroindustriales</b>	
Pulpa de café seca	3
Harina de pescado	4-5
Harina de hueso	8
Bagazo de caña	200
Aserrín	200-500

Fuente. Martín, FAO (citado en SAGARPA, 2014)

Esta relación también varía a lo largo del proceso, decreciendo constantemente, "pues el nitrógeno es usado fundamentalmente en la síntesis de proteína y el carbono en un 60% aproximadamente como fuente de energía y por lo tanto transformado en CO<sub>2</sub>. Es por ello que la relación C/N óptima de los materiales iniciales está comprendida entre 25 y 35" (Vicente, Carrasco y Negro, 1996), sin embargo esta relación varía en función del sustrato a compostar. Es así como se debe tener en cuenta la relación C/N de los materiales iniciales a compostar (véase tabla 2.3)

La norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 indica que para hallar el %C se tiene la ecuación N°1:

$$\%C = \frac{\%Materia\ orgánica}{1.724} \dots \dots \dots (1)$$

En donde % C es el porcentaje de carbono orgánico total, % MO es el porcentaje de materia orgánica y 1.724 es el factor de Van Benmelen, el cual asume que el 58% de la MO está compuesta por carbono.

Asimismo la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 indica que para determinar la relación carbono – nitrógeno se aplica la ecuación N°2:

$$C/N = \frac{C\%}{N\%} \dots \dots \dots (2)$$

En donde C/N es la relación Carbono-Nitrógeno, C% es el porcentaje de carbono orgánico total y N% es el porcentaje de nitrógeno total.

Así también Margaría (2003) nos proporciona una fórmula para el cálculo de la relación C/N de una mezcla, para lo cual primero identificamos la relación carbono/nitrógeno (C/N) correspondiente a cada residuo utilizado para la mezcla, luego sumamos el peso de cada componente de la mezcla que vendrá a ser el 100% de la mezcla. A continuación hallamos el porcentaje correspondiente a cada componente de la mezcla mediante regla de tres simple. Habiendo hallado el porcentaje de cada componente, dividiremos cada uno de estos resultados por 100. Y por último sumamos estos valores obteniendo la relación C/N de la mezcla, expresada mediante fórmula a continuación:

$$C/N = \text{proporción (1)} \times \frac{C}{N} (1) + \text{proporción (2)} \times \frac{C}{N} (2) + \dots + \text{proporción (n)} \times \frac{C}{N} (n) \dots (3)$$

En la tabla 2.4 se muestra los rangos óptimos de los parámetros dentro del proceso de compostaje.

**TABLA 2.4**  
**PARÁMETROS DE COMPOSTAJE**

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2 a 5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C/N	25:1 - 35:1	15/20	10:1 - 15:1
Humedad	50% - 60%	45% - 55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1.6 cm
pH	6.5-8.0	6.0-8.5	6.5 - 8.5
Temperatura	45-60°C	45°C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m <sup>3</sup>	<700kg/m <sup>3</sup>	<700kg/m <sup>3</sup>
Materia orgánica (Base)	50%-70%	>20%	>20%

Parametro	Rango ideal al comienzo (2 a 5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
seca)			
Nitrógeno total (base seca)	2.5-3%	1-2%	~1%

Fuente: Román et al. (2013)

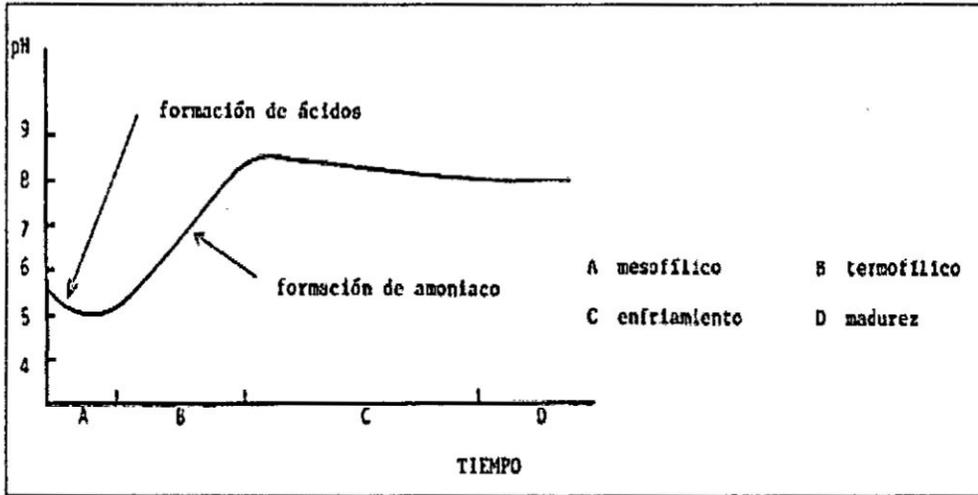
### ▪ pH

El pH depende de los materiales de origen y durante el proceso de compostaje varía desde 4.5 a 8.5, ya que al inicio del proceso "se vuelve ligeramente ácido puesto que los productos iniciales de la descomposición son ácidos orgánicos simples, luego al cabo de unos pocos días se vuelve ligeramente alcalina a medida que las proteínas son atacadas y se libera amoníaco." (Dalzell, 1991) por lo que no es conveniente la aplicación de cal a la pila en esta fase del proceso. Finalmente el pH se estabiliza llegando a valores cercanos al neutro debido a la disminución de la actividad microbiana en la fase de maduración, ya que se produce "la formación de compuestos húmicos que actúan como tampón" (Red Española de Compostaje, 2015).

En la figura N° 2.2 se aprecia a detalle la variación del pH dentro del proceso de compostaje.

Román et al. (2013) afirman que el pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6.0 - 7.5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5.5 - 8.0.

**FIGURA 2.2**  
VARIACIÓN DE PH EN UNA PILA DE COMPOSTAJE



Fuente: Dalzell (1991)

#### ▪ **Disponibilidad de Oxígeno y Aireación**

El oxígeno es un factor fundamental en el metabolismo aerobio de los microorganismos, por lo cual es esencial dentro del proceso de compostaje. Los requerimientos de oxígeno varía de acuerdo a las etapas del compostaje, es así que en “la primera fase mesófila e inicio de la termófila, será cuando los requerimientos de oxígeno serán mayores, ya que es cuando se produce un crecimiento microbiológico más rápido mientras que por el contrario en la fase de maduración el oxígeno no es limitante ya que los nutrientes disponibles se reducen drásticamente y por tanto la necesidad de oxígeno para su degradabilidad” (Red Española de Compostaje, 2015).

Dalzell (1991) afirma que un suministro adecuado de aire a todas las partes de una pila de compostaje es esencial para el suministro de oxígeno a los organismos y para eliminar el dióxido de carbono producido (...) La aireación se logra por el movimiento natural del aire hacia el interior de la pila de compost, mediante el volteo periódico del material, a mano o con una máquina, o insuflando aire en la pila usando un ventilador. Es por ello que lo recomendable en

sistemas de compostado sencillos que usan flujo natural del aire es voltear la pila 2 o 3 veces.

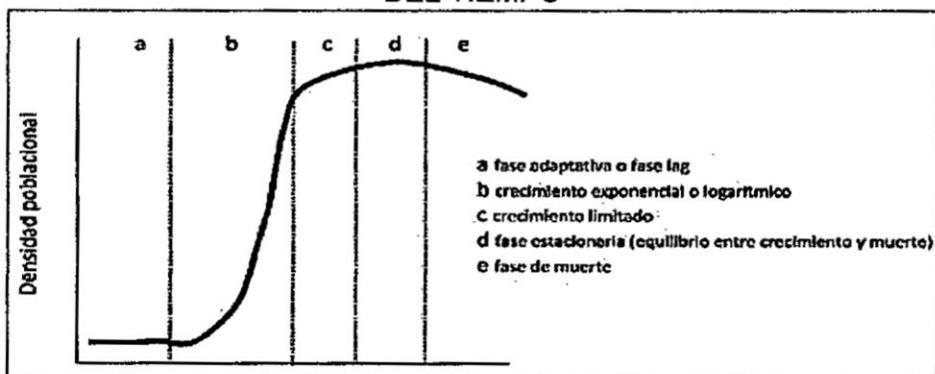
#### ▪ **Presencia y actividad microbiana**

La actividad microbiana ante un sustrato determinado en condiciones ideales sigue un tipo de función como se aprecia en la figura 2.3 en la que comienza con una fase de adaptación conocida como fase lag, seguida de una fase de crecimiento exponencial no restringido, el cual cesa cuando el sustrato comienza a ser limitante, hasta llegar a una fase de equilibrio entre crecimiento y muerte celular.

#### ▪ **Biodegradabilidad**

Red Española de Compostaje (2015) nos indica que la biodegradabilidad de un sustrato orgánico durante el proceso de compostaje consiste en su transformación en formas más oxidadas, en el límite que llegaría a su mineralización, por acción de microorganismos en condiciones aerobias (...) así pues la biodegradabilidad varía de acuerdo a la naturaleza del sustrato y condiciona la cinética del proceso ya que influye en la cantidad de energía liberada en forma de calor y por consiguiente la temperatura alcanzada del proceso.

**FIGURA 2.3**  
CURVA DE CRECIMIENTO MICROBIANO Y SUS FASES EN FUNCIÓN DEL TIEMPO



Fuente. Red Española de Compostaje (2015)

### **2.2.6 Fases del compostaje**

Durante el proceso de compostaje al descomponerse el carbono (C), el nitrógeno (N) y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de variaciones de temperatura a lo largo del tiempo que dure el proceso. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración.

#### **a. Fase Mesófila:**

Román et al. (2013) mencionan que:

El material de partida comienza a temperatura ambiente y en pocos días, la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos, por tanto el pH puede bajar hasta cerca de 4.0 o 4.5. Esta fase dura de dos a ocho días.

#### **b. Fase Termófila o de Higienización:**

Según Román et al. (2013):

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH sube. A partir de 60°C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son encargadas de

descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas, del lugar y otros factores. Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*

**c. Fase de enfriamiento o Mesófila II:**

En esta fase Román et al. (2013) afirman que:

Agotadas las fuentes de carbono y en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase continua la degradación de polímeros como la celulosa. Al bajar de 40°C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, sin embargo se sigue manteniendo ligeramente alcalino. Esta fase requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

**d. Fase de maduración:**

“Es un periodo que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos” (Román et al. 2013).

**2.2.7 Sistemas de compostaje**

Basado en el tipo de instalación se encuentran divididos en compostaje en pilas y compostaje en reactor.

**a. Sistemas en pilas o hileras**

“Se puede llevar a cabo cuando hay una cantidad abundante y variada de residuos orgánicos (sobre 1m<sup>3</sup> o superior)” (Román et al. 2013).

“El material se dispone en largas pilas o montones de 2 a 4 m de altura que pueden estar cubiertas o no. La aireación se lleva a cabo por convección natural ayudada por volteos periódicos. La frecuencia de volteos depende de la humedad, textura y estabilidad de la mezcla. (...) Es el método más económico en cuanto a consumo de energía”. (Álvarez de la Puente, 2007)

#### **b. Compostaje en reactores o contenedores**

Este sistema se aplica cuando se requieren tasas elevadas de transformación y condiciones muy controladas. Son sistemas más complejos y más costosos, de construir, operar y mantener. Permite una amplia gama de diseños ya sean horizontales o verticales y normalmente están provistos de un sistema de agitación que permita una aireación y homogenización de la masa. (Álvarez de la Puente, 2007)

En función de las diferencias estructurales, las plantas de compostaje pueden ser divididas en: sistemas de operación continua, en el cual el material o mezcla a compostar se carga en forma continua, luego la carga de mezcla se realiza después que el material procesado se descarga del reactor, mientras que en los sistemas de operación discontinua el cual se maneja en función de la presencia o ausencia de movimiento del material dentro del reactor. (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2013)

#### **2.2.8 Compost - Calidad del producto final**

Según Masaguer y Benito (2007) el concepto calidad de compost es difícil de definir ya que hay de tener en cuenta múltiples aspectos, además puede ser siempre muy subjetivo. Sin embargo Ansorena, Batalla y Merino (2014) define a la calidad como la capacidad o aptitud del compost para satisfacer necesidades de las plantas con un mínimo de impacto ambiental y sin riesgo para la salud pública. Mientras Soliva y Lopez (2004) afirman que la calidad del compost

viene determinada por la suma de distintas propiedades y características. Teniendo en cuenta criterios relevantes en la evaluación de la calidad son: destino del producto, protección del entorno y requerimientos del mercado, ya que en muchos casos el compost de salida deberá competir con variedad de productos compostables.

Para determinar calidad de compost, los parámetros más adecuados dependen del uso final, siendo importante identificar indicadores suficientemente representativos y a la vez fáciles de interpretar y medir en análisis.

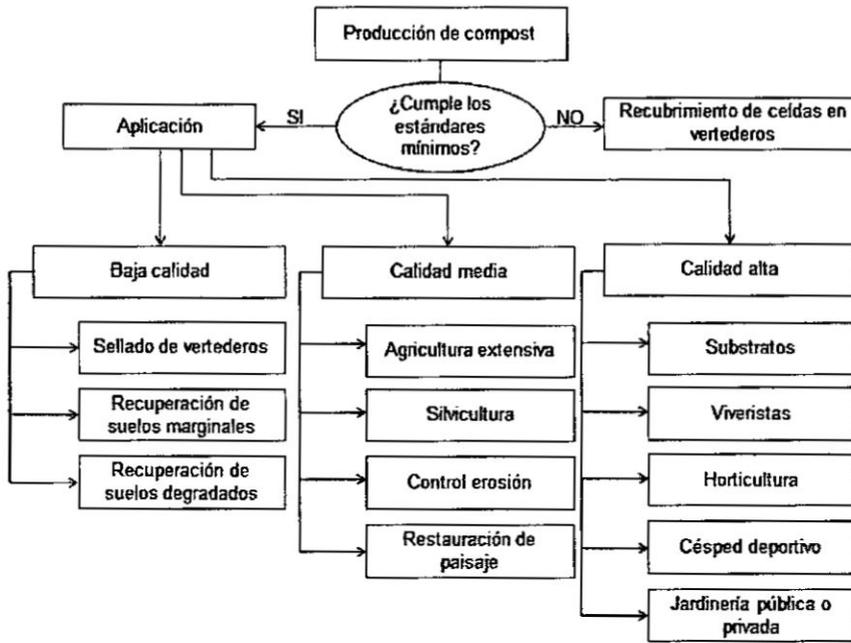
Según Ansorena et al. (2014) los aspectos relativos a la calidad pueden abordarse desde una doble perspectiva: legal o agronómica y su evaluación dependerá en gran medida del criterio o punto de vista de partida, así también de los usos a que se destine.

Ansorena et al. (2014) plantean que la calidad del compost para un uso dado suele determinarse por dos vías diferentes:

- Midiendo un conjunto de propiedades, algunas de las cuales, como las organolépticas (olor, color, tamaño de partícula, presencia de elementos impropios tales como plásticos, vidrio, etc.) pueden evaluarse sensorialmente, mientras que las propiedades físicas, químicas y biológicas (densidad, porosidad, aireación, pH, conductividad eléctrica, nutrientes, metales pesados, contaminación bacteriológica, etc.), normalmente se determinan en el laboratorio.
- Mediante experimentos de campo, en los que se mide la respuesta de las plantas en condiciones reales de cultivo a diferentes dosis de compost, en términos de producción de biomasa, crecimiento radicular, número de hojas o de flores, etc.

En la figura 2.4 se puede observar la aplicación del compost con respecto a la calidad del producto obtenido.

**FIGURA 2.4.**  
POSIBILIDADES DE APLICACIÓN DE COMPOST



Fuente: Soliva y Lopez (2004)

García, Lima, Ruiz y Calderón (2014) señalan que la determinación del mayor número posible de parámetros (físicos, fisicoquímicos, químicos o biológicos) no lleva a definir mejor la calidad del producto final de un proceso de compostaje. Se trata de seleccionar aquellos parámetros que mejor definan las características del compost en función al uso que se le dé al mismo, permitiendo conocer el comportamiento de dicho compost en la aplicación elegida.

Butler (citado en García et al., 2014) expresa que no existe una clasificación global del compost, pero de forma general se pueden encontrar tres clases:

Compost clase A. Producto de alta calidad, que cumple con las exigencias según las normas de calidad de cada país, para esta

clase de compost. Puede ser aplicado directamente sin necesidad de que sea mezclado previamente con otros materiales.

Compost clase B. Producto de nivel intermedio. Presenta algunas restricciones para su uso, requiere ser mezclado con otros elementos adecuados.

Compost inmaduro o subestándar. Materia orgánica que ha pasado por etapas mesofílicas y termofílicas del proceso de compostaje, pero no ha alcanzado las etapas de enfriamiento o maduración necesarias para obtener un compost clase A o B.

La Red Española de Compostaje (2015) afirma que entre las distintas propiedades y características que definen la calidad del compost, además de las reguladas normativamente, pueden distinguirse:

Calidad física, donde se situarían la densidad aparente, coloración, olor, humedad, granulometría, capacidad de retención de agua, temperatura y capacidad de auto calentamiento.

Calidad química, donde se sitúa el pH, CE, Contenido de materia orgánica, nitrógeno, calcio, fósforo, potasio, calcio y sodio, etc.

Calidad biológica, donde se situaría la estabilidad alcanzada, ausencia de patógenos, índice de germinación, grado de mineralización y/o ausencia de semillas de malas hierbas.

Con respecto a las propiedades físicas, químicas y biológicas de un abono orgánico, Ansorena, Batalla y Merino (2014) mencionan que en un abono orgánico no se valoran sus propiedades físicas, sino su contenido de materia orgánica y nutrientes esenciales en sus diferentes formas (ácidos húmico y fúlvico, nitrógeno orgánico y mineral, etc.). Así también influye el tamaño de cribado, ya que cuanto menor sea la luz de malla de la criba, mayor será la

proporción de partículas de pequeño tamaño y en consecuencia más elevado su capacidad de retención de agua.

“Las propiedades químicas de los abonos orgánicos pueden clasificarse en dos tipos: las que permiten conocer el contenido total de un elemento tales como humedad, materia orgánica, nutrientes (nitrógeno, fosforo, potasio, etc.), metales pesados, etc., y las que determinan solamente la fracción disponible o asimilable para las plantas. (...) El efecto fertilizante del compost a corto o medio plazo depende principalmente de su contenido de nutrientes disponibles y por tanto, para predecir adecuadamente la disponibilidad de los nutrientes del compost en el sistema suelo-planta es necesario conocer las principales formas de cada elemento en el compost.” (Ansorena et al. 2014).

El compost posee una elevada concentración de materia orgánica (MO) estabilizada y una concentración relativamente baja de nutrientes disponibles a corto plazo. Por tanto las ventajas de aplicación de compost en el suelo derivan del incremento de MO, lo que mejora la estructura del suelo, disminuyendo riesgo de erosión y compactación, aumenta capacidad de retención de agua, aumenta capacidad de intercambio catiónico, aumenta la absorción del calor, disminuye riesgo de lixiviación de nutrientes e incrementa la productividad vegetal. (García et al. 2014).

Con respecto a las propiedades biológicas para Ansorena et al. (2014) es conocida la mejora en las propiedades biológicas del suelo que se deriva de la aportación del compost, particularmente el efecto supresor de enfermedades, el incremento de la biomasa y la actividad microbiana. La relación C/N ha sido utilizada para determinar el grado de madurez y estabilidad del compost de forma aproximada aunque presenta limitaciones. Por ese motivo, se han

desarrollado métodos basados en la medida de la actividad biológica de los microorganismos presentes en el compost.

### **2.2.9 Microorganismos Eficaces**

Los microorganismos eficaces conocidos por su sigla en inglés-EM-, son una mezcla de tres grupos de microorganismos, lactobacilos, levadura y bacterias fototróficas o fotosintéticas, completamente naturales que se encuentran comúnmente en los suelos y en los alimentos. Siendo estos microorganismos benéficos y altamente eficientes.

La tecnología EM fue desarrollada a lo largo de muchos años por el Dr. Teruo Higa, mientras era catedrático de la Universidad de Ryukus, Japón. El descubrimiento del Dr. Higa consistió en hallar la forma de que estos grupos de microorganismos pudieran coexistir, realizando una combinación que tiene efecto sinérgico.

Inicialmente, el EM estaba considerado como una alternativa a los productos químicos en el sector agrícola. Sin embargo, los beneficios de su uso se fueron expandiendo a otras áreas. Es utilizado con gran eficacia en áreas como agricultura, ganadería, avicultura, porcicultura, acuicultura, manejo de desechos, y medio ambiente. Recientemente, las investigaciones han permitido extender sus beneficios al sector industrial y de la salud. (BIOEM SAC, 2014).

#### **a. Composición microbiológica del EM y modo de acción:**

Los principales tipos de microorganismos presentes en el EM comprenden: bacterias ácido lácticas, bacterias fototróficas y levaduras, los cuales cumplen funciones específicas propias a su naturaleza.

**Las bacterias ácido lácticas.** Son bacterias anaeróbicas que comprenden especies como *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum* y *Streptococcus lactics*

El modo de acción de estas bacterias según la Estación Experimental Agropecuaria para la Introducción de Tecnologías Apropriadas de Japón [EEAITAJ] (2013):

- Sintetizan sustancias bioactivas generando una marcada actividad antagonista con microorganismos patógenos:

El ácido láctico es capaz de inhibir y controlar *Staphylococcus aureus*, *Ralstonia sp.*, *Fusarium* y nemátodos

Sustancias antimicrobiales del tipo Bactericinas, que inhiben *Enterococcus*, *Clostridium* y *Streptococcus*, entre otros.

Disminuyen el pH del sustrato ya que son resistentes a condiciones de acidez inhibiendo así a competidores.

- Sintetizan sustancias útiles para el crecimiento de plantas y sustancias antimicrobiales: Vitaminas A y D, enzimas como invertasas y galactosidasas, hormonas que promueven la división celular y el crecimiento de raíces.

**Las bacterias fototróficas.** Son un grupo de microorganismos independientes y autosuficientes conformadas por especies como *Rhodospseudomonas palustris*, *Rhodobacter sphaeroides*.

El modo de acción de este grupo de microorganismos según EEAITAJ (2013):

- Sintetizan sustancias bioactivas: Aminoácidos (Metionina, Leucina y Lisina), Enzimas (Amilasas, Hidrolasas, Proteasas).
- Degradan compuestos orgánicos e inorgánicos como  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $SO_4$  e hidrocarburos
- Reducen la DBO y DQO.
- Los metabolitos liberados pueden ser absorbidos directamente por las plantas promoviendo su desarrollo y/o actuar como sustrato para incrementar la población de otros microorganismos benéficos (Micorrizas VA).

- El oxígeno producido por la fotosíntesis estimula a los microorganismos fijadores de Nitrógeno (*Azobacter*, *Rhizobium*) y solubilizadores de fósforo (*Pseudomonas fluorescens*).

**Levaduras.** Hongos unicelulares anaerobios conformados por especies como *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*.

El modo de acción de las levaduras según EM Producción y Tecnología [EMPROTEC] (2013):

- Sintetizan sustancias antimicrobiales y sustancias útiles (hormonas y enzimas) requeridas por las plantas para su crecimiento a partir de aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fototrópicas
- Las sustancias bioactivas como las hormonas y las enzimas producidas por las levaduras promueven la división activa celular y radical. Estas secreciones también son sustratos útiles para el EM como las bacterias ácido lácticas y actinomicetes.

La tecnología de los microorganismos eficaces EM también utiliza especies como actinomicetos de especies como *Streptomyces albus*, *Streptomyces griseus* y hongos como *Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis*.

EEAITAJ (2013) afirma que una de las claves del desarrollo de los microorganismos eficaces como tecnología está en la coexistencia de los mismos en un medio de cultivo apropiado. Esa coexistencia se basa, entre otros aspectos en el hecho de que sustancias que generan unos sirven de alimentos para otros. Siendo la coexistencia de los microorganismos eficaces la que trae como consecuencia un efecto sinérgico entre todos.

#### **b. Funciones básicas del EM**

Según EEAITAJ (2013) son dos las funciones básicas que cumple el EM dentro del proceso de compostaje:

- Exclusión competitiva de microorganismos patógenos mediante competencia por la materia orgánica de sirve de alimento y la producción de sustancias que controlan directamente las poblaciones de microorganismos patógenos
- Producción de sustancias benéficas como vitaminas, enzimas, aminoácidos y antioxidantes, a través de un proceso de descomposición parcial.

### **c. Proceso de activación de EM**

El EM viene únicamente en forma líquida y contiene microorganismos útiles y seguros. Se encuentra en estado latente (inactivo) para conservarse a largo plazo, por lo tanto antes de usarlo hay que activarlo mediante un proceso de acondicionamiento sugerido por el proveedor de EM. El cual permite obtener mayor población de microorganismos benéficos y también para su uso extensivo. (EMPROTEC, 2013)

Para activar el EM se usa la proporción de una (1) parte de EM 5% para una (1) parte de melaza 5% de caña o azúcar para dieciocho (18) partes de agua 90% limpia (sin cloro), tomando en cuenta que para el caso de uso de agua tratado con cloro, antes de usarla, es necesario colocarla en un recipiente abierto y exponerla a la luz por 24 horas. Así un litro de EM le rendirá 20 litros de EM Activado - EMA para aplicación. Para la activación, use sólo recipientes plásticos limpios y tapas que permitan el cierre hermético para evitar la entrada de aire. (Portal Oficial de la Tecnología EM en Latinoamérica, 2017)

Independiente del volumen total del recipiente utilizado, realice los siguientes pasos:

- Llenar el recipiente con 9 partes de agua o por la mitad.
- Coloque 1 parte de EM y 1 parte de melaza de caña o azúcar.
- Agite bien para disolver la melaza o el azúcar hasta formar una solución homogénea.

- Agregue las otras 9 partes de agua y cierre bien el recipiente para evitar la entrada de aire.
- Mantenga el EM Activado en un lugar cuya temperatura oscile de cálida a caliente (25°C a 40°C) durante un periodo de 4 a 7 días para su respectiva fermentación.
- Durante la fermentación, y ya a partir del 2° día, se produce gas. Es necesario eliminar el exceso abriendo el recipiente apenas lo suficiente para extraerlo. Realice la extracción del gas cada vez que sea necesario.
- El EM-Activado está listo para usar a partir del 4° al 7° día, cuando el pH de la solución esté debajo de 4,0 o cuando presente olor agridulce y exista un cambio de color de café-oscuro a café-anaranjado.
- El EM-Activado debe utilizarse durante los 35 días siguientes después de su activación de lo contrario pierde eficacia.
- Almacene el EM-Activado siempre bien tapado, en un lugar fresco, aireado.

Tener en cuenta que si el olor del EM-Activado no es agridulce y agradable, o si solo el pH esta debajo de 4,0, entonces hubo contaminación y la solución con el producto debe ser desechado. (Portal Oficial de la Tecnología EM en Latinoamérica, 2017)

#### **d. Usos y Aplicaciones del EM**

##### ***Aplicaciones en agricultura***

El EM como inoculante microbiano, restablece el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas e incrementando la producción de los cultivos. (BIOEM SAC, 2014)

##### ***Aplicaciones en producción animal***

El EM es una gran herramienta para las unidades de producción animal debido a sus efectos como probiótico, antígeno y limpiador

natural. El EM se utiliza con efectividad en sistemas de producción ganadera, avícola, porcina, ovina y crianza de cuyes, así mismo puede utilizarse no solo en las instalaciones, sino también en el tratamiento de efluentes y residuos, en el agua ofrecida a los animales y en la alimentación. (BIOEM SAC, 2014)

### ***Aplicaciones en el medio ambiente***

En el tratamiento de aguas contaminadas, los microorganismos presentes en el EM, a través de un proceso de fermentación acelera la descomposición natural de los compuestos orgánicos, produciendo sustancias bioactivas y eliminando microorganismos patógenos que promueven la putrefacción y la producción de gases nocivos que contaminan el agua y producen malos olores.

En la descontaminación de suelos ha sido utilizado con éxito en la biorremediación de suelos contaminados. La metodología y dosis varía de acuerdo a la fuente de contaminación y características específicas del suelo contaminado. (BIOEM SAC, 2014)

### ***Aplicación en preparación de abonos orgánicos***

Los residuos provenientes de cosecha o de los procesos de transformación industrial como aceites, harinas, cascaras, frutos, hojas, ramas, etc. pueden ser transformadas en un abono fértil y de calidad con la utilización de EM. Esto debido a que promueve la transformación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando la descomposición de la materia orgánica por oxidación en la que se liberan gases generadores de malos olores, incrementa la eficiencia de la materia orgánica como fertilizante, acelera el proceso de compostaje a una tercera parte del tiempo de un proceso convencional, elimina microorganismos patógenos en el material compostado, por efecto de las altas temperaturas generadas en los núcleos de las pilas que alcanzan los 60°C. (BIOEM SAC, 2014)

### **2.2.10 Análisis Multicriterio**

El análisis multicriterio es un método que permite orientar la toma de decisiones en varios criterios comunes. Claver y Sebastián (2016) afirman que encuentra su campo de aplicación en el estudio de alternativas para la selección de la más adecuada.

El proceso de decisión lleva implícita la elección, y a su vez implica existencia de alternativas entre las que escoger, así como un actor que realice dicha elección, expresando dicho proceso como la elección por parte de un centro decisor de “lo mejor” entre lo “posible”. Determinar lo posible permitirá identificar alternativas, en base a información técnica, entre las cuales se intentará identificar la mejor u óptima, a partir de los juicios y preferencias de los decisores. (Claver y Sebastián, 2016)

Dentro de las técnicas de análisis multicriterio destaca por su amplia difusión y aplicación el método AHP (Analytic Hierarchy Process).

#### **Proceso Jerárquico Analítico (AHP)**

Surge a finales de los años setenta de la mano de Thomas L. Satty y se concibe para el estudio de problemas decisionales discretos. Es decir, la decisión se efectúa sobre un número finito de alternativas posibles, identificando la más adecuada en base a una serie de criterios. (Claver y Sebastián, 2016)

Sanchez, Milanesi y Rivitti (2010) indican que el método permite estructurar un problema en un modelo jerárquico que contiene tres niveles principales: a) el nodo raíz de la jerarquía representa el objetivo global; b) los niveles siguientes constituyen los criterios a evaluar para priorizar las alternativas; y c) los nodos del último nivel representan cada una de las alternativas.

Según Claver y Sebastián (2016) la aplicación del AHP plantea cuatro pasos o etapas fundamentales:

1. Definir el problema
2. Definir la estructura jerarquizada de decisión
3. Construir matrices de juicios por pares
4. Aplicar las prioridades obtenidas a través de los diferentes niveles de estructura.

Los decisores emiten juicios en términos de preferencia, de importancia o de probabilidad, utilizando una escala numérica propuesta por Saaty con valores del 1 al 9 como se muestra en la tabla 2.5.

**TABLA 2.5**  
**ESCALA NUMÉRICA PROPUESTA POR SAATY**

<b>Escala Numérica</b> Intensidad o Importancia	<b>Escala Verbal</b> Definición	<b>Explicación</b>
<b>1</b>	<b>Misma importancia</b>	Los dos criterios contribuyen de igual medida
<b>2</b>	Leve importancia	
<b>3</b>	<b>Importancia o preferencia moderada</b>	Se prioriza moderadamente un criterio sobre el otro basándose en la experiencia y el razonamiento
<b>4</b>	Mayor que moderada	
<b>5</b>	<b>Importancia o preferencia fuerte</b>	Se prioriza fuertemente un criterio sobre el otro basándose en la experiencia y el razonamiento
<b>6</b>	Mayor que fuerte	
<b>7</b>	<b>Importancia o preferencia muy fuerte</b>	Se prioriza muy fuertemente un criterio sobre el otro. Esta dominancia está demostrada en la práctica
<b>8</b>	Realmente fuerte	
<b>9</b>	<b>Importancia o preferencia extremadamente fuerte</b>	La priorización de un criterio sobre otro alcanza el mayor valor posible

Fuente: Saaty (citado en Claver y Sebastián, 2016)

Definida la escala de referencia, se podrán realizar las comparaciones por pares, es decir se compara un criterio con el otro y viceversa.

Las matrices obtenidas mediante la comparación por pares, presentan rasgos que las caracterizan como ser positivas y cuadradas, presentan homogeneidad (referida a la valoración de elementos semejantes), reciprocidad (en referencia a la relación lógica entre los elementos que se comparan) y consistencia (medida de la coherencia de juicios a través de la comparaciones por pares que se efectúan).

Realizada la comparación por pares entre los correspondientes criterios se procede a establecer las prioridades resultantes. El resultado que refleja la distribución de prioridades será un vector normalizado, siendo importante mencionar que en esta investigación se empleó uno de los métodos matemáticos más comunes para la normalización de los valores, que consiste en dividir cada número de la columna de la matriz de comparación de pares por la suma total de las columnas obteniendo una matriz normalizada. Para luego realizar una media aritmética de cada fila de la matriz normalizada y obtenemos un vector de prioridades para cada criterio considerado.

Luego de obtenido el vector de prioridades, “el problema se centra en valorar si el vector obtenido es válido como representación de las prioridades entre los criterios considerados, es decir la aceptación o no del vector de prioridades dependerá de la consistencia de los juicios realizados en las comparaciones de pares”. (Claver y Sebastián, 2016)

La matriz será consistente si, y solo si, se cumple que  $\lambda_{máx} = n$ , donde  $n$  es el tamaño de la matriz, pero, sin embargo, para las matrices de juicios siempre se obtiene un valor  $\lambda_{máx} \geq n$  (Saaty citado en Claver y Sebastián, 2016). La igualdad solo se dará si la matriz es consistente, por lo que en la práctica se tendrán valores superiores al rango.

Claver y Sebastián (2016) afirma que para ello Saaty introduce el concepto de índice de inconsistencia (IC), que aporta un valor de medida de la consistencia de la matriz de prioridades (...) siendo sólo el valor de IC obtenido nulo en caso de matrices consistentes. Para determinar la frontera entre inconsistencias inaceptables e inconsistencias tolerables se hace uso de un índice de consistencia aleatoria (ICA), valor obtenido para los distintos tamaños de matrices cuadradas según el número de criterios que se comparen. Es así que Saaty aporta valores de consistencia aleatoria como se refleja en la tabla

**TABLA 2.6**  
VALORES DE LOS ÍNDICES DE CONSISTENCIA ALEATORIA

Tamaño de la matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de consistencia aleatoria	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Fuente: Saaty (citado en Claver y Sebastián, 2016)

A continuación se muestra la expresión para calcular el índice de consistencia.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

Claver y Sebastián (2016) mencionan que se establece desviaciones del 10% como valor límite de inconsistencia. De este modo se tiene la razón de consistencia (RC) valor que se obtiene de comparar el índice de consistencia de una matriz de prioridades con el índice de consistencia aleatoria. A continuación se muestra la expresión para calcular la razón de consistencia:

$$RC = \frac{IC}{ICA}$$

De este modo si el cociente es igual o inferior a 0.1 se estará cumpliendo que la desviación es inferior a un 10%. En caso contrario, la

inconsistencia de los juicios se considera excesiva y deben ser revisados para corregir la situación.

## **2.3 Marco legal**

La presente investigación presentó un marco normativo ambiental nacional enfocado a presentar una sustentación técnica y legal a la utilización de microorganismos eficaces en la producción de compost, así como a las normas internacionales que permitieron evaluar la calidad del mismo desde el punto de vista fisicoquímico, las cuales se detallan a continuación:

### **2.3.1 Normativa nacional**

#### **a) Ley 29196 de Promoción de Producción Orgánica y Ecológica**

La presente ley publicada el 29 de enero de 2008, es una de las normas acerca de producción orgánica que tiene como finalidad el desarrollo sostenible y competitivo de la producción orgánica en el Perú.

#### **b) Decreto Supremo 044-2006-AG Reglamento técnico para productores orgánicos**

El presente reglamento norma la producción, transformación, etiquetado, certificación y comercialización de productos denominados orgánicos, ecológicos, biológicos.

Donde en su Capítulo VI Subcapítulo 2: Fertilización y Abonamiento; menciona lo siguiente: el manejo de la fertilidad del suelo será mediante “El uso del abonamiento orgánico, con estiércol animal y restos vegetales, preferentemente compostados y complementados, cuando sea necesario, con minerales primarios (rocas molidas)”, por otro lado respecto al uso de aditivos biológicos para la mejora en el proceso de compostaje menciona lo siguiente: “Será permitido el uso de organismos benéficos (siempre que no sean Organismos Vivos Modificados – OVMs) tales como:

lombrices de tierra, micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno, estimuladores microbianos y preparados homeopáticos y biodinámicos”, por lo que el uso de EM en el proceso de compostaje se encuentra incluido dentro de la gama de estimuladores microbianos mencionados en la presente norma.

En la tabla 2.7 se muestra el anexo 1 de esta norma que presenta los productos permitidos para la fertilización del suelo y de los cuales “restringido” significa que el programa de certificación debe establecer condiciones y procedimientos para su uso.

**TABLA 2.7**  
PRODUCTOS PERMITIDOS PARA FERTILIZACIÓN DEL SUELO

Compost, estiércol, estiércol líquido (purín) y orinas (sin uso de sales)	Libre
Estiércoles líquidos con uso de sales	Restringido
Restos de cultivos y abonos verdes	Libre
Paja y otras coberturas del suelo	Libre
Algas y productos a partir de algas, obtenidos por procesos físicos o extraídos con agua o ácido acuoso y/o soluciones alcalinas	Restringido
Turba aserrín, virutas, y cortezas, siempre que provengan de madera no tratada	Libre
Guano de islas	Restringido
Humus de lombrices	Restringido
Harina de pescado, sangre, de carne, de huesos, cuernos, pesuñas y de plumas, lana, pelos, productos lácteos	Restringido
Productos y subproductos orgánicos de origen vegetal para abono (por ejemplo: harina de tortas oleaginosas, cáscara de cacao, etc.)	Restringido
Lodos de aguas servidas y compost urbano, de fuentes separadas y evaluados para la contaminación.	Restringido y solamente para reforestamiento

Pescado y productos de harina de pescado, sin preservantes	Restringido
Subproductos de industrias alimentarias y textiles, de material biodegradable de origen microbiano, vegetal o animal, sin aditivos sintéticos	Restringido
Otros productos permitidos: preparados bacterianos, preparados biodinámicos, extractos y preparados vegetales.	

Fuente: D.S. N° 044-2006-AG - Anexo 1 (2006)

Asimismo se propuso la comparación de la calidad de compost obtenido con normativas de índole internacional, esto debido a que el Perú no cuenta con normativa específica en calidad de compost; a continuación se detalla las normas utilizadas y sus respectivos valores guía (estándares).

### **2.3.2 Normativa internacional**

La normativa internacional utilizada en la presente investigación sirvió como estándar de comparación para la calidad del compost final obtenido, así como para la determinación del tratamiento óptimo entre las pilas de compostaje implementadas.

Cabe mencionar que según Román et al. (2013) en Latinoamérica existen diferentes países que han desarrollado normativas para definir la calidad del compost y su uso pero solo Chile, Colombia y México, además de definir la calidad del compost, las diferencian en dos clases, A y B, con o sin restricciones de uso, basados en la presencia de patógenos y metales pesados.

Es por dichos motivos que se tomó en cuenta estas normas a excepción de la colombiana, debido a que dicha norma presenta una restricción monetaria (costo de adquisición virtual o físico) para la utilización de la misma.

La información general relacionada a las normas chilena y mexicana se detalla a continuación:

### c) Norma Chilena 2880 “Compost – Clasificación y requisitos”

Norma publicada en febrero de 2005 y elaborada por el Instituto Nacional de Normalización (INN), dicha norma clasifica el compost en dos tipos:

- Compost Clase A: siendo este un producto de alta calidad sin restricciones de uso, caracterizado por presentar una relación C/N de 25 y una conductividad eléctrica menor a 3dS/m.
- Compost Clase B: siendo un producto de nivel intermedio, dicho producto puede presentar limitaciones, está caracterizado por presentar una relación C/N de 30 y una conductividad eléctrica menor a 8dS/m.

Asimismo dicha norma presenta una serie de requisitos de índole sanitario, fisicoquímico y de metales totales.

A continuación se presenta la Tabla 2.8 que muestra un resumen de los parámetros y sus respectivos valores guía para ser comparados con el compost obtenido en la realización del presente proyecto de investigación.

**TABLA 2.8**  
REQUISITOS PARA DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE COMPOST

Parámetro	Unidades	Clase A	Clase B
pH	Unid	5 - 8.5	
N	%	>5	
Humedad	%	30 - 45	
Conductividad eléctrica	dS/m	<3	<8
C/N	Unid	25	30
Materia Orgánica	%	20	
Tamaño de partícula	mm	16	

Fuente: NCh2880 Norma Oficial Chilena Compost Clasificación y Requisitos ( 2005)

**d) Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011**

Norma Mexicana publicada en noviembre de 2012, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de composta producida y/o distribuida en el distrito federal.

La norma presenta una serie de estándares a cumplir, clasificando la misma en tres tipos de calidad tal como se detalla a continuación:

- Tipo A: siendo su uso recomendado como sustrato en viveros y sustituto de tierra para macetas, corresponde al compost de mejor calidad.
- Tipo B: recomendado para uso en agricultura ecológica y en actividades de reforestación, corresponde al compost de calidad intermedia.
- Tipo C: recomendado para uso en mejoramiento del paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación, corresponde al compost de calidad baja.

A continuación se presenta la Tabla 2.9 que muestra un resumen indicando los valores guía que se deben cumplir para cada tipo de compost obtenido:

**TABLA 2.9**  
**CARACTERÍSTICAS GENERALES SEGÚN TIPO DE COMPOST**

Parámetro	Unidades	Tipo de compost		
		A	B	C
Humedad	%	25-35		25-45
pH	Unid	6.7-7.5	6.5-8	
Conductividad Eléctrica	dS/m	<4	<8	<12
Materia Orgánica	%	>20		>25

Parámetro	Unidades	Tipo de compost		
		A	B	C
Relación C/N	Unid	<15	<20	<25
Macronutrientes (NPK)	%	Deben estar entre 1 y 3%, siendo su suma menor a 7 % para el caso de uso como mejorador de suelos, en caso se superen dichos valores el compost podrá ser usado para nutrición vegetal.		
Granulometría	mm	≤10	≤30	

Fuente: NADF-020-AMBT-2011 (2012)

## 2.4 Definiciones de términos básicos

**Abono orgánico:** El abono orgánico abarca los abonos elaborados con estiércol de ganado, compost rurales y urbanos, otros desechos de origen animal y residuos de cultivos. Los abonos orgánicos son materiales cuya eficacia para mejorar la fertilidad y la productividad de los suelos ha sido demostrada.

**Abonos orgánicos precompostados:** Abonos elaborados con materiales de origen orgánico (estiércol y restos de cultivo), conducidos a un proceso de descomposición.

**Aditivos:** Sustancias agregadas o añadidas como ingredientes en los procesos de transformación.

**Aeróbico:** Proceso que ocurre en presencia de oxígeno. Para que un compost funcione con éxito se debe proporcionar suficiente oxígeno para que mantenga el proceso aeróbico.

**Anaeróbico:** Proceso que ocurre en ausencia de oxígeno. Si esto ocurre durante el proceso de compostaje, este se ralentiza y se pueden desprender malos olores, como consecuencia de procesos de pudrición.

**Biomasa:** Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

**Compost:** Mezcla de materia orgánica en descomposición, como la precedente de hojas y estiércol, que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes.

**Compost maduro:** Compost que ha finalizado todas las etapas del compostaje.

**Estiércol:** Material orgánico empleado para fertilizar la tierra, compuesto generalmente por heces y orina de animales domésticos. Puede presentarse mezclado con material vegetal como paja, heno o material de cama de los animales.

**Materia orgánica:** residuos vegetales, animales y de microorganismos en distintas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo.

**Microorganismos:** Organismos vivos microscópicos (hongos, bacterias, virus, protozoos, etc.).

**Organismos vivos modificados- OVMs:** cualquier organismo vivo que posea una combinación nueva de material genético obtenida mediante la aplicación de la biotecnología moderna, alterada de una manera que no ocurre en la naturaleza por apareamiento o recombinación natural. Incluye sin limitarse a estas: ADN recombinante, fusión celular, micro y macro inyección, encapsulación, supresión y duplicación de genes. No incluye técnicas de conjugación, transducción e hibridación.

**Proceso de compostaje:** Procedimiento controlado por el cual se fabrica el abono orgánico a partir de materiales de origen orgánico (estiércol y restos de cultivos, etc.) hasta su descomposición y estabilización.

**Relación C/N:** cantidad de carbono con respecto a la cantidad de nitrógeno que contiene un material.

## CAPÍTULO 3 VARIABLES E HIPOTESIS

### 3.1 Variables de la investigación

- **Variable independiente:** Dosis de Microorganismos Eficaces (EM)  
**Definición de la variable:** Se refiere a la cantidad de EM activado que se adicionó a los materiales compostados.
  
- **Variables dependiente:** Calidad de compost  
**Definición de la variable:** Características de calidad de compost para uso como abono orgánico.

### 3.2 Operacionalización de las variables:

Como parte de la comprobación de la hipótesis planteada en la investigación fue necesaria la operacionalización de las variables mediante el análisis de la relación que existe entre variable del tipo dependiente e independiente y sus respectivos indicadores.

- **Variable independiente:**  
X= Dosis de EM  
Se expresó mediante los indicadores:  
P1: Dosis de EM N°1.....X<sub>1</sub>  
P2: Dosis de EM N°2.....X<sub>2</sub>  
P3: Dosis de EM N°3.....X<sub>3</sub>
  
- **Variable dependiente:**  
Y= Calidad de compost  
Se expresó mediante los indicadores:  
pH.....Y1  
Conductividad Eléctrica (dS/m).....Y2  
Materia orgánica (%).....Y3  
Humedad (%).....Y4  
Nitrógeno(N) (%).....Y5

Potasio (K <sub>2</sub> O) (%).....	Y6
Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (%).....	Y7
Relación C/N.....	Y9

**TABLA 3.1**  
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Dimensiones	Definición operacional (Indicadores)
Independiente (X) Dosis de EM	Tratamiento de pila 1 Tratamiento de pila 2 Tratamiento de pila 3	Representado por la dosis de estudio: Dosis de EM N°1 Dosis de EM N°2 Dosis de EM N°3
Dependiente (Y) Calidad de Compost	Calidad de Compost	pH Conductividad Eléctrica (dS/m) Materia orgánica (%) Humedad (%) Nitrógeno(N) (%) Potasio (K <sub>2</sub> O) (%) Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (%) Relación C/N

Fuente: Elaboración propia (2017)

### 3.3 Hipótesis

La hipótesis general de la investigación fue "La dosis de microorganismos eficaces aplicada determinará la calidad del compost producido a partir de estiércol equino, restos vegetales de poda y arreglos florales del cementerio Santa Rosa de Lima."

## CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA

### 4.1 Tipo de Investigación

En función al propósito de la investigación, la naturaleza de la problemática y de los objetivos formulados, el presente estudio cumplió las condiciones suficientes para ser calificado como una investigación del tipo analítico experimental.

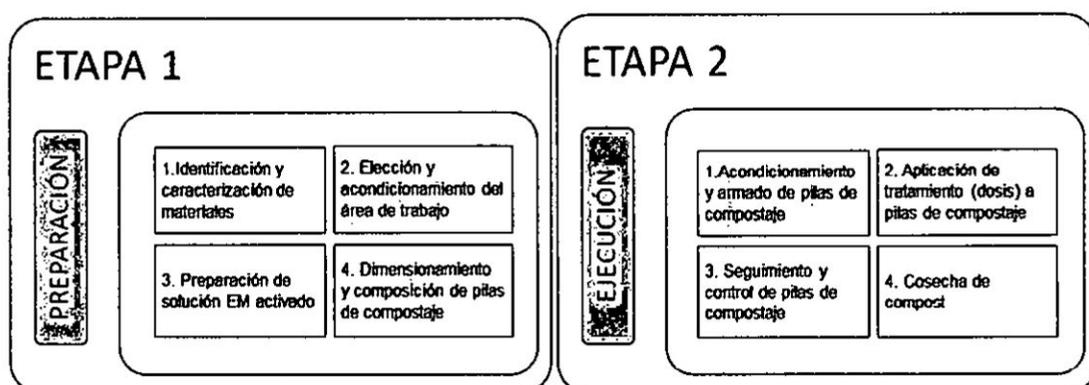
Durante el proceso de investigación para demostrar y comprobar la hipótesis se aplicaron métodos cuantitativos.

### 4.2 Diseño de la investigación

El tipo de diseño de investigación que se empleó fue un diseño correlacional, con la finalidad de describir variables y la relación entre ellos. Este presentó también un grupo de control (blanco), pre-prueba y post-prueba para la manipulación de variables. Para lo cual se empleó la experimentación a escala con fines de validación de hipótesis.

La presente investigación ha sido desarrollada en dos etapas, las cuales cuentan con actividades presentadas a continuación en la Figura 4.1.

**FIGURA 4.1**  
ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia (2017)

## **FASE 1: PREPARACIÓN**

### **4.2.1 Identificación y caracterización de materiales**

Los materiales utilizados para el proceso de compostaje fueron los correspondientes a restos de poda (césped) y restos vegetales de arreglos florales de los funerales realizados en las instalaciones, siendo estos elegidos debido a su constante generación en las instalaciones del cementerio lo que aseguró una fuente constante de materiales a compostar; adicionalmente se utilizó estiércol equino (equinaza) procedente de los establos de Tacalá administrados también por la PNP.

La caracterización de materiales se realizó de forma teórica y práctica (para el caso de la densidad), para que de esta forma se cuente con información suficiente para generar una mezcla de los mismos con una composición de nutrientes adecuado para el proceso de compostaje (relación carbono-nitrógeno).

Para el cálculo de la densidad se utilizó un recipiente volumétrico de 12 litros y una balanza romana.

El cálculo de la densidad se realizó mediante los siguientes pasos (ver Registro Fotográfico – Fotografía 1):

- Se llenó completamente el recipiente de plástico con el material respectivo (restos de poda, arreglo floral y estiércol).
- Se procedió a pesar el recipiente con la balanza romana.
- Asimismo se repitió dicho procedimiento un mínimo de tres veces para obtener una densidad promedio del material.

Los resultados de densidad obtenidos presentados en la Tabla 4.1 fueron utilizados para el diseño propuesto de pilas de compostaje y la determinación de la cantidad de materiales a utilizar.

**TABLA 4.1**  
**RESULTADOS DE DENSIDAD DE MATERIALES**

N°	Restos de poda			Arreglo floral			Estiércol equino		
	Masa (kg)	Volumen (L)	Densidad (kg/L)	Masa (kg)	Volumen (L)	Densidad (kg/L)	Masa (kg)	Volumen (L)	Densidad (kg/L)
Prueba 1	1.1	12	0.0917	2	12	0.1667	6.2	12	0.5167
Prueba 2	1.2	12	0.1	2.1	12	0.1750	6.4	12	0.5358
Prueba 3	1.2	12	0.1	2	12	0.1667	6.2	12	0.5167
Promedio	1.17	12	0.0972	2.03	12	0.1694	6.28	12	0.5231

Fuente: Elaboración propia (2017)

#### 4.2.2 Elección y acondicionamiento del área de trabajo

El área escogida para la implementación de las pilas de compostaje fue la zona de disposición de arreglos florares ubicado en la zona sur del cementerio al este de la laguna artificial, como se detalla en la Figura 4.2.

**FIGURA 4.2**  
**UBICACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO**



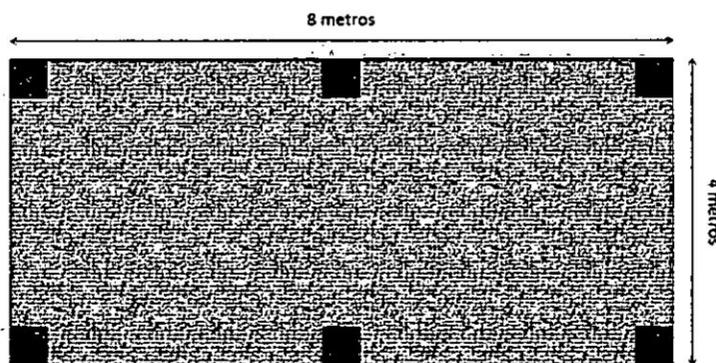
Fuente: Elaboración propia (2017)

La zona de trabajo tuvo un área de 60 m<sup>2</sup> aproximadamente y fue elegida debido a su cercanía a las fuentes de material para el proceso de compostaje (ya que los restos de poda y arreglos florares son dispuestos en dicha zona), así como su cercanía a fuentes de agua para el proceso de humedecimiento.

Luego de identificada el área de trabajo se procedió a realizar las actividades de acondicionamiento del área de trabajo la cual se detalla a continuación:

- Se procedió a realizar una limpieza general del área de trabajo, realizándose luego la nivelación del área con uso de pala y rastrillo, así como la delimitación de las áreas a usar para cada pila de compostaje (ver Registro Fotográfico – Fotografía 2).
- Con la finalidad de proteger las pilas de compostaje de los rayos solares y de las precipitaciones se implementó un sistema de recubrimiento compuesto de la siguiente manera: 6 maderas que sirven de columnas para el recubrimiento con las siguientes dimensiones 3,5 cm x 4 cm x 3 metros; asimismo el techo que soportan dichas maderas fue de malla rachel verde-negro 80%. Siendo el área efectiva del sistema de recubrimiento de 32 m<sup>2</sup>, teniendo las siguientes dimensiones: 4x8 metros, tal como se muestra en la Figura 4.3.

**FIGURA 4.3**  
VISTA DE PLANTA DEL SISTEMA DE RECUBRIMIENTO



Fuente: Elaboración propia (2017)

- La implementación inicio con el cavado de 6 agujeros de aproximadamente 30 cm de profundidad, para seguidamente colocar las maderas que sirven como base del sistema de recubrimiento (ver Registro Fotográfico – Fotografía 3).
- Luego de haber culminado la colocación de las 6 maderas se procedió a colocar estacas con cuerda tensada para proveer de soporte a las bases de madera (para soportar el peso de la malla) para finalmente colocar la malla rachel (ver Registro Fotográfico – Fotografía 4).

#### **4.2.3 Preparación de solución EM activado**

La preparación de la solución de microorganismos eficaces para su aplicación a las pilas de compostaje se realizó mediante un procedimiento de activación del EM ya que antes de su aplicación, la solución de microorganismos eficaces debió ser activada mediante la mezcla de 1 litro de EM Compost, 1 litro de melaza y 18 litros de agua, de forma que los microorganismos estén listos para empezar la degradación de la materia orgánica presente en las pilas de compostaje; dicho proceso se realizó mediante los siguientes pasos:

- Se dejó calentar 3 litros de agua en una olla hasta obtener el primer hervor, para luego ser trasvasado a un recipiente de 20 litros en adición de 1 litro de melaza, seguidamente se realizó una agitación constante hasta que se obtuvo una solución homogénea (ver Registro Fotográfico – Fotografía 5).
- Una vez obtenida la solución de melaza se procedió a adicionar 15 litros de agua y 1 litro de EM Compost, seguida de una agitación constante hasta que se obtuvo una mezcla homogénea (ver Registro Fotográfico – Fotografía 6).

- Finalmente se procedió a trasvasar el contenido en una galonera de 20 litros y dejarlo reposar durante 6 días, tiempo que permitió obtener el EM Compost activado para su utilización.

Una vez obtenido el EM compost activado (EMA) fue guardado para su utilización en el material a compostar mediante su aplicación homogénea a lo largo de la pila de compostaje implementada.

Cabe mencionar que para los fines de la presente investigación se realizó 3 tipos de dosificación para la determinación de la dosis óptima de microorganismos eficaces:

D1: Dosis menor a la recomendada por el productor (1.5 litros de EMA por TM de materia orgánica a compostar).

D2: Dosis recomendada por el productor (2 litros de EMA por TM de materia orgánica a compostar).

D3: Dosis mayor a la recomendada por el productor (2.5 litros de EMA por TM de materia orgánica a compostar).

#### **4.2.4 Dimensionamiento y composición de pilas de compostaje**

El tipo de método de compostaje elegido fue el de compostaje en pilas ya que es el método estándar más usado y que no requiere de mucha inversión y equipos o infraestructura específica, para el diseño de las pilas de compostaje se realizó el cálculo de las dimensiones y la composición de las pilas de compostaje.

En cuanto a la elección de las dimensiones de la pila de compostaje, es un factor muy importante, ya que de ello dependen factores como la facilidad de aireación, temperatura y humedad; por lo que influye directamente en la eficiencia del proceso de compostaje.

Las dimensiones fueron elegidas en función a la estación del año en la que se realizó el proceso de compostaje y en función a lo sugerido por el asesor técnico de distribución del producto EM Compost,

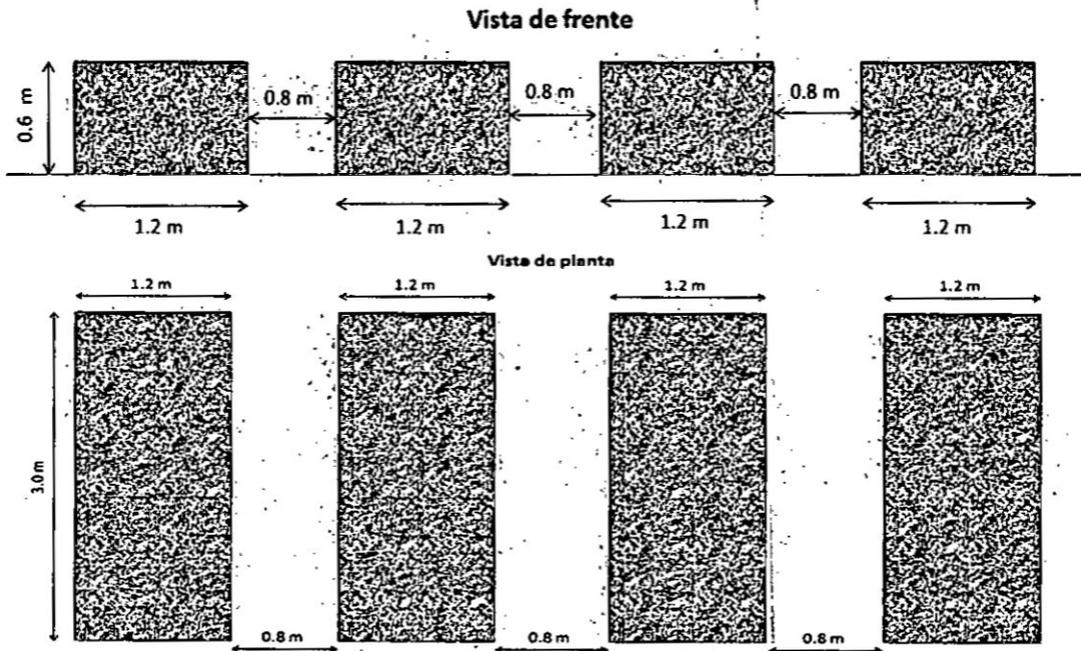
dimensión que fue consultada y regulada en función a la zona donde se desarrolló el compostaje.

En el presente trabajo de investigación se optó por implementar 4 pilas de compostaje que siguen las siguientes dimensiones: largo: 3 m, ancho: 1,2 m y alto: 0,6 m

La altura elegida se debió al clima de la zona y a la estación del año en la cual se desarrolló el compostaje (verano-otoño).

Asimismo la separación entre pila y pila fue de 0,8 m entre cada una de ellas, la disposición de las pilas de compostaje en vista de planta y frente se muestran en la Figura 4.4.

**FIGURA 4.4**  
**DISPOSICIÓN DE PILAS DE COMPOSTAJE**



Fuente: Elaboración propia (2017)

Con respecto a la composición de las pilas de compostaje, estuvieron en función a los materiales identificados para compostar, siendo estos: restos de poda (césped), restos vegetales de arreglos florales y estiércol equino; todo esto en función a la obtención de la relación óptima de C/N entre 25/1 y 30/1.

El peso y volumen total de cada pila de compostaje fue de aproximadamente 568.58 kg y 2.16 m<sup>3</sup> respectivamente, partiendo del cálculo de densidad de los materiales a compostar, tal como se muestra en la Tabla 4.2.

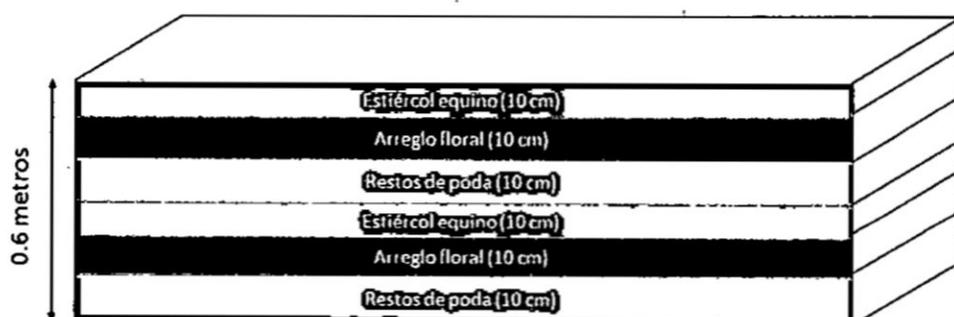
**TABLA 4.2**  
DETERMINACIÓN DEL PESO Y VOLUMEN POR PILA DE COMPOSTAJE

Materiales	Densidad (kg/L)	Volumen por capa (L)	N° de capas (Unid)	Volumen total (L)	Sub total (kg)
Restos de poda	0.0972	360	2	720	69.984
Arreglo floral	0.1694	360	2	720	121.968
Estiércol equino	0.5231	360	2	720	376.632
<b>Total</b>	<b>0.7897</b>	<b>1080</b>	<b>6</b>	<b>2160</b>	<b>568.58</b>

Fuente: Elaboración propia (2017)

Asimismo la disposición por capas elegida para las pilas de compostaje se presenta en la Figura 4.5.

**FIGURA 4.5**  
DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES EN CAPAS



Fuente: Elaboración propia (2017)

Cabe precisar que luego de cada capa de estiércol equino armado se procedió a colocar una cubierta de cal para el respectivo control de pH y de microorganismos perjudiciales presentes en el mismo.

Asimismo se realizó un cálculo aproximado de la relación C/N de la mezcla de los materiales dispuestos en la pila de compostaje siguiendo los siguientes pasos:

- Primero se realizó el cálculo de la relación porcentual entre los materiales de la pila de compostaje:

$$\% \text{ Restos de poda} = \frac{69.984 \times 100}{568.58} = 12.3 \%$$

$$\% \text{ Arreglo floral} = \frac{121.968 \times 100}{568.58} = 21.5 \%$$

$$\% \text{ Estiércol equino} = \frac{376.632 \times 100}{568.58} = 66.2 \%$$

- Finalmente se procedió a utilizar la fórmula de estimación de la relación C/N de una mezcla de materiales expresada por Margaría (2003), estimada a partir de la proporción de cada material en la pila de compostaje multiplicada por su respectiva relación C/N, de la siguiente forma:

$$C/N = \text{proporción (1)} \times \frac{C}{N} (1) + \text{proporción (2)} \times \frac{C}{N} (2) + \dots + \text{proporción (n)} \times \frac{C}{N} (n)$$

$$C/N = (0.123 \times 17) + (0.215 \times 15) + (0.662 \times 33)$$

$$C/N = 27.162$$

Por lo que según los cálculos expuestos la mezcla de materiales propuestos para el armado de las pilas de compostaje (27.162) cumplió con el rango óptimo de relación C/N de 25 – 30.

## FASE 2: EJECUCIÓN

### 4.2.5 Acondicionamiento y armado de pilas de compostaje

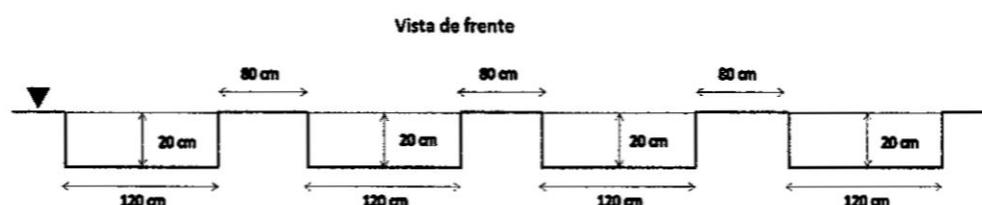
Una vez calculada las dimensiones de las pilas, así como su composición respectiva, se procedió a implementarlas tal como se indica a continuación:

Parte del acondicionamiento de las pilas de compostaje lo conformó la construcción de zanjas con la finalidad de evitar contacto de

lixiviados entre ellas y para generar una mayor estabilidad durante su implementación y manejo.

Se realizó la construcción de 4 zanjas con las siguientes medidas 1.2 m x 3 m x 0.2 m, tal como se muestra en la Figura 4.6 (ver Registro Fotográfico – Fotografía 7).

**FIGURA 4.6**  
**CONSTRUCCIÓN DE ZANJAS**



Fuente: Elaboración propia (2017)

Luego de culminar la implementación de las zanjas que sirvieron de base para el material a compostar se procedió a implementar las pilas de compostaje según la composición descrita en el apartado 4.2.4 tomando en cuenta tanto el peso de la pila como su altura respectiva (ver Registro Fotográfico – Fotografía 8).

Cabe mencionar que luego de cada capa de materiales armados (césped, arreglo floral y estiércol) se procedió a polvorear aproximadamente 600 gr de cal por capa, según lo recomendado por el productor de EM y tomando en referencia el estudio de Navia et al. (2013) donde usaron 250 gr de cal para 113 kg de material a compostar en adición de EM por lo que extrapolado a la presenta investigación se usó en total la cantidad de 1.2 kg de cal para 568 kg de residuos orgánicos en conjunto con EM por pila para la producción de compost.

Finalmente se procedió a realizar el humedecimiento de los materiales y aplicación de EMA respectivamente, lo cual será detallado en el siguiente acápite.

#### 4.2.6 Aplicación de los tratamientos a las pilas de compostaje

La presente investigación se desarrolló mediante la implementación de 4 pilas de compostaje las cuales recibieron tratamientos diferenciados detallados a continuación:

- Tratamiento A – Pila 0: correspondió al blanco, dicha pila no recibió ningún tratamiento y sirvió de testigo para la comparación con las demás pilas de compostaje.
- Tratamiento B – Pila 1: correspondió a la pila de compostaje que recibió la “Dosis 1” preparada.
- Tratamiento C – Pila 2: correspondió a la pila de compostaje que recibió la “Dosis 2” preparada.
- Tratamiento D – Pila 3: correspondió a la pila de compostaje que recibió la “Dosis 3” preparada.

Las dosis utilizadas fueron obtenidas a partir de la dosis recomendada por el productor de EM Compost (2 litros de EMA por TM de material a compostar) según lo detallado en el apartado 4.2.3 y la Tabla 4.3.

**TABLA 4.3**  
CÁLCULO DE LA DOSIS DE APLICACIÓN

Tratamiento	Dosificación		
	Dosis (l/TM)	Peso (TM)	Volumen (l)
Pila 1	1.5	0.5686	0.85
Pila 2	2	0.5686	1.14
Pila 3	2.5	0.5686	1.42

Fuente: Elaboración propia (2017)

Con respecto a la aplicación de los tratamientos en las pilas de compostaje, la dosificación de EMA fue realizada tomando en cuenta que en las etapas iniciales del proceso de compostaje es cuando se necesita una mayor aplicación de dicho producto para que de esta forma el proceso sea acelerado, por lo que el 50% de la solución a dosificar fue añadida durante el armado de las pilas de compostaje;

para finalmente agregar el 50% restante durante la culminación de la primera y segunda semana del proceso de compostaje, tal como se muestra en la Tabla 4.4.

**TABLA 4.4**  
**APLICACIÓN DE EMA**

Tratamiento	Dosificación (l)			
	Volumen Total	Semana 0 (*)	Semana 1	Semana 2
Pila 1	0.85	0.425	0.2125	0.2125
Pila 2	1.14	0.570	0.2850	0.2850
Pila 3	1.42	0.710	0.3550	0.3550

Fuente: Elaboración propia (2017)

(\*) Fecha en la que se realizó el armado de pilas

Cabe mencionar que la aplicación inicial de EMA (50 % del total), así como de las subsiguientes aplicaciones al culminar la primera y segunda semana de compostaje (25 % del total cada una) se realizó durante el proceso de armado de pilas y volteos respectivamente, dicha actividad fue realizada con la ayuda de una bomba de presión tipo mochila de 5 litros (ver Registro Fotográfico – Fotografía 9).

#### **4.2.7 Seguimiento y control de pilas de compostaje**

Como parte del seguimiento y control que se realizó para el adecuado proceso de compostaje de cada pila, fue importante la determinación de la frecuencia de volteos y humedecimiento de las mismas.

La frecuencia de volteos se determinó de acuerdo a la naturaleza del sistema de pilas de compostaje y al ser este un tipo de tratamiento aerobio, el sistema de volteo fue crucial para la correcta oxigenación de dichas pilas (sobre todo en las primeras semanas de iniciado el proceso), para que de esta forma la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos sea acelerada.

Es por este motivo que se realizó volteos con una frecuencia de 2 veces por semana durante las dos primeras semanas, para luego realizar 1 volteo por semana hasta la culminación del proceso de compostaje, dicho proceso se realizó con la ayuda de un trinche de jardinería, removiendo el material y cambiando la profundidad de los materiales (los que inicialmente estaban en la parte superior fueron pasados a la base de la pila y viceversa) (ver Registro Fotográfico – Fotografía 10).

Con respecto a la frecuencia de humedecimiento, la adición de agua a las pilas de compostaje tuvo una frecuencia interdiaria o en su defecto en función a la determinación empírica de dicho parámetro (método del puño) ya que dependiendo del mismo se adelantó o retrasó la adición de agua a las pilas debido a que es igual de contraproducente tener una deficiencia de agua en la pila (retrasa el proceso metabólico de los microorganismos) o un exceso de la misma (ya que podría crear un ambiente anaeróbico o generar lavado de nutrientes).

El humedecimiento se realizó mediante la utilización de una tubería que colecta agua de la laguna artificial ubicada a 100 metros del área de implementación de las pilas de compostaje que es utilizada para el regado de las áreas verdes del cementerio con la ayuda de una manguera; el humedecimiento también se realizó durante el armado de las pilas y durante los volteos respectivos y de forma extemporánea cuando sea necesario (según lo indicado en la prueba empírica o método del puño) (ver Registro Fotográfico – Fotografía 11).

Cabe mencionar que el humedecimiento extemporáneo fue realizado a las 4 pilas de compostaje simultáneamente, ya que todas presentaron una tendencia similar respecto a los resultados obtenidos en la prueba del puño (en relación al requerimiento de

humedecimiento), por lo que el intervalo de humedecimiento fue más estrecho durante las primeras semanas de iniciado el proceso de compostaje para finalmente ser más holgado durante las últimas semanas del proceso (1 a 2 veces por semana).

#### 4.2.8 Cosecha de compost

Una vez culminado el proceso de compostaje se procedió a realizar el tamizado del material obtenido para la respectiva toma de muestra y posterior análisis en laboratorio tal como se detalla a continuación:

Para el proceso de tamizado se utilizó una malla metálica de ½ pulgada de diámetro de grilla y de 1 metro de ancho por 2 metros de alto, así como un marco de madera para dar soporte a la malla (ver Registro Fotográfico – Fotografía 12).

El tamizado se realizó colocando el marco de la malla metálica en un ángulo de aproximadamente 45 ° y pasando el compost obtenido a través del mismo, mediante el uso de un trinche de jardinería y pala (ver Registro Fotográfico – Fotografía 13).

Finalmente se procedió a realizar el pesaje del compost tamizado y su respectivo ensacado obteniéndose los siguientes rendimientos, tal como se muestra en la Tabla 4.5.

**TABLA 4.5**  
RECUPERACIÓN DE COMPOST TAMIZADO

Tratamiento	Peso total (kg)	Peso tamizado (kg)	Rendimiento (%)
Pila 0	568.68	187	32.88%
Pila 1	568.68	204	35.87%
Pila 2	568.68	238	41.85%
Pila 3	568.68	225	39.57%

Fuente: Elaboración propia (2017)

## **4.3 Población y muestra**

### **4.3.1 Población**

La población correspondió al total de residuos de poda de áreas verdes y de arreglos florales generados en las instalaciones del cementerio Santa Rosa de Lima según se detalla a continuación:

#### **▪ Restos de poda**

Para el estimado de la producción total de dicho material se tomó en cuenta el total de áreas verdes en las instalaciones del cementerio Santa Rosa de Lima la cual consta de aproximadamente 16,5 hectáreas aproximadamente (cálculo realizado con la ayuda de Google Earth Pro).

Se determinó que en promedio se generan 120 gramos de restos de poda por cada metro cuadrado de área verde (información proporcionada por personal del cementerio) y corroborada en campo, esto producto de las labores de mantenimiento realizadas con una frecuencia de 6 semanas, para luego llevar dichos restos de poda al área de disposición temporal (ver Registro Fotográfico – Fotografía 14). Por lo que se estimó que el total generado de manera trimestral sería de 33 toneladas métricas lo que correspondió a una generación anual de 132 toneladas métricas.

#### **▪ Arreglos florales**

Para el cálculo de la generación total de restos de arreglos florales se cuenta con información respecto a la cantidad promedio de arreglos florales que son recepcionados en las instalaciones siendo esta de 10 arreglos florales por día (información proporcionada por personal que labora en el área de disposición de arreglos florales).

Asimismo no se cuenta con información respecto al peso promedio de dichos arreglos florales por lo que se vio por conveniente realizar

mediciones de peso aleatorias de los mismos con la finalidad de generar un promedio de peso de los mismos y poder determinar la generación total mensual y anual de arreglos florales.

Para el cálculo del peso se realizó 5 mediciones mediante el uso de una balanza romana (ver Registro Fotográfico – Fotografía 15). A partir de estas mediciones se pudo obtener un peso promedio de 7 kilogramos por arreglo floral lo que correspondió a una generación de 70 kilogramos diarios de residuos de arreglos florales y en consecuencia una generación de 2,1 toneladas métricas mensuales y 25,2 toneladas métricas anuales respectivamente.

#### ▪ **Estiércol equino**

El estiércol equino utilizado provino de las instalaciones de los establos de Tacalá administrados por la Policía Nacional del Perú donde se realiza la crianza de caballos para su utilización por parte de la policía montada.

Para la determinación de la generación total de estiércol equino generado en estas instalaciones se tomó en cuenta la cantidad total de equinos, ascendiendo está a 100 cabezas en promedio, asimismo se estimó que la producción diaria de estiércol por cabeza de caballo asciende a 10 kg/día (información proporcionada por personal que cuida a los caballos), por lo que se determinó que la producción mensual de estiércol equino es de 30 TM mensuales y 360 TM anuales.

A continuación se presenta la Tabla 4.6 que resume la generación de los materiales a utilizar en la presente investigación.

**TABLA 4.6**  
**GENERACIÓN MENSUAL Y ANUAL DE MATERIALES A COMPOSTAR**

Materiales	Generación TM	
	Mensual	Anual
Restos de poda	11	132
Arreglo Floral	2.1	25.2
Estiércol equino	30	360
<b>Total</b>	<b>43.1</b>	<b>517.2</b>

Fuente: Elaboración propia (2017)

Cabe precisar que gran cantidad del estiércol producido en el establo es donada a la municipalidad de Chorrillos para su uso como abono directo (aproximadamente 10 TM mensuales transportadas en un camión).

#### **4.3.2 Muestra**

Del total de residuos generados en las instalaciones del cementerio Santa Rosa, la presente investigación abordó el tratamiento de 2.274 TM de residuos orgánicos distribuidos equitativamente en cuatro pilas de compostaje (568.58 kg en cada pila respectivamente), de los cuales 280 kg correspondieron a restos de poda y 488 kg a restos vegetales de arreglos florales y finalmente 1506 kg al estiércol equino usado, presentándose como muestra representativa de la producción total de residuos en las instalaciones, así como para un posible escalamiento del tratamiento mediante el compostaje de dichos residuos.

#### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **4.4.1 Técnicas utilizadas**

Para la recolección de datos se utilizaron técnicas de observación y experimentales como el registro de la medición de parámetros de control in situ (temperatura, pH, conductividad eléctrica) durante el proceso de compostaje y técnicas de análisis de laboratorio para el

análisis fisicoquímico del compost como producto final, el cual incluye 10 parámetros analizados, tal como se muestra en la Tabla 4.7 con sus respectivas técnicas de ensayo.

**TABLA 4.7**  
**LISTADO DE TÉCNICAS DE ENSAYO**

Parámetro	Técnica
pH	Método potenciométrico en pasta saturada
Conductividad eléctrica (dS/m)	Lectura con conductivímetro en pasta saturada
Humedad %	Método gravimétrico
Materia orgánica (%)	Calcinación o pérdida por ignición
N Total (mg/L)	Método de micro-Kjeldahl modificado
P Total (%) o P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Digestión vía húmeda (en solución nitro-perclórica) y posterior colorimetría empleando reactivo sulfomolibdico
K Total (%) o K <sub>2</sub> O	Espectrofotometría de absorción atómica
Ca Total (%)	Espectrofotometría de absorción atómica
Mg Total (%)	Espectrofotometría de absorción atómica
Na Total (%)	Espectrofotometría de absorción atómica

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes / Facultad de Agronomía – Universidad Nacional Agraria la Molina / Análisis de Materia Orgánica Total. (2017)

Además del uso de técnicas de análisis estadístico como promedio, análisis de gráficas de tendencia y gráfica de barras, así también variación porcentual para las cuales se hizo uso del programa Microsoft Excel.

#### **4.4.2 Instrumentos de recolección de datos**

Para la realización de las pruebas experimentales de acuerdo al dimensionamiento y los tratamientos planificados en el proceso de compostaje se utilizaron equipos y materiales que coadyuvaron a llevar a cabo las diferentes actividades planificadas.

### **Equipos**

- Termómetro digital con pantalla LCD
- Medidor de pH digital
- Medidor portátil de conductividad eléctrica
- Wincha
- Bomba rociadora de mochila manual (5L)

### **Materiales**

- Solución EM Compost
- Balde (20L)
- Galonera (20L)
- Costales
- Agua destilada
- Varilla de plástico
- Recipiente volumétrico de plástico (500ml)
- Marco de madera de 2x1.5m
- Malla metálica de ½ pulgada de diámetro.
- Bolsa con cierre hermético 25x8cm
- Etiqueta de identificación de muestra
- Libreta de campo, lapiceros y marcador indeleble.

#### **4.4.3 Procedimiento de recolección de datos**

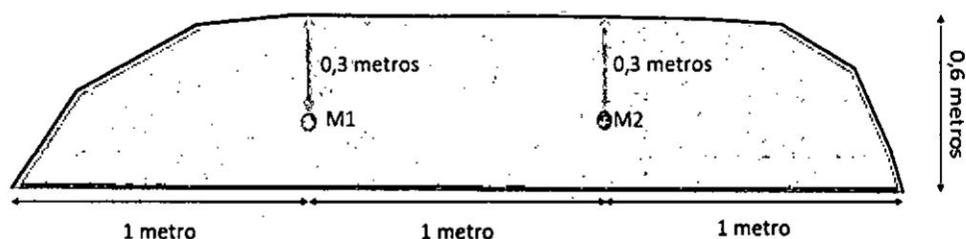
##### **a) Evaluación de parámetros in situ durante el proceso de compostaje**

###### **▪ Temperatura:**

La medición de la temperatura se realizó con una frecuencia diaria, con la finalidad de realizar el seguimiento de las etapas en el proceso de compostaje mediante la determinación de fluctuaciones en la misma, asimismo dicha información sirvió para regular dicho

parámetro mediante los volteos progresivos y humedecimiento. Para la recopilación de los valores de temperatura en las pilas de compostaje se utilizó un termómetro digital con pantalla LCD.

**FIGURA 4.7**  
PUNTOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN PILAS DE COMPOSTAJE



Fuente: Elaboración propia (2017)

Para la medición de la temperatura se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones, tal y como se muestra en la Figura 4.7 (ver Registro Fotográfico – Fotografía 16).

- La medición fue realizada a una profundidad de 0.3 metros
- Se realizó 2 mediciones por pila en las secciones M1 y M2

#### ▪ **pH y Conductividad eléctrica (CE)**

La medición del pH y CE fue realizada de forma interdiaria con la finalidad de identificar etapas en el proceso de compostaje, así como de posibles variaciones que pudieran haber ejercido impactos negativos en la degradación de la materia orgánica (ya que son parámetros importantes para la actividad microbiana en las pilas de compostaje). Para la medición de pH se hizo uso de un medidor de pH digital marca PH Tester modelo PH-107, mientras que para el cálculo de la CE se utilizó un medidor portátil de conductividad eléctrica modelo EZ-1

Para la medición del pH y conductividad eléctrica en las pilas de compostaje se siguió los siguientes pasos: (ver Registro Fotográfico – Fotografía 17).

- Se tomó una muestra compuesta del centro de la pila de compostaje (alrededor de 30 cm de profundidad) de aproximadamente 30 ml.
- A continuación se colocó el material en un recipiente volumétrico de 400 ml con adición de agua desionizada hasta alcanzar un volumen de 200 ml.
- Seguidamente se agitó la muestra durante aproximadamente 15 a 20 segundos.
- Finalmente se Insertó el medidor en el sector superior de la solución para consecuentemente realizar la medición.

Cabe precisar que fue necesario esperar entre 4 a 5 segundos la estabilización del medidor para registrar una lectura confiable.

#### ▪ **Humedad**

Dicho parámetro fue controlado con frecuencia interdiaria con la finalidad de determinar los requerimientos de agua en la pila de compostaje, la técnica utilizada fue la del método del puño (método empírico); fue en función de esto que se redujo o aumentó la frecuencia de humedecimiento de las pilas o en su defecto el incremento de la cantidad de agua usada para el mismo.

El método elegido para el cálculo de la humedad correspondió al método empírico denominado "Método del puño", que según Ninco y Sánchez (2017) se realizó siguiendo los siguientes pasos:

- Se extrajo una muestra del material en proceso de compostaje, suficiente para caber en la palma de la mano.
- Se cerró la mano y apretó fuertemente.
- Si luego de dicha operación se visualizó la salida de un hilo de agua continuo, entonces se entendió que el material presentaba un contenido de humedad superior al 40 %.

- Si luego de dicha operación no se visualizó la salida de agua del material y luego de abrir el puño el material permaneció compacto, entonces se entendió que el material presentaba un contenido de humedad entre 20 % y 30 %.
- Por último, si luego de la operación no se visualizó la salida de agua del material y luego de abrir el puño el material se disgregó, entonces se entendió que el material presentaba un contenido de humedad por debajo del 20 %.

Asimismo para obtener un adecuado proceso de compostaje la humedad debió estar en un rango entre 50 – 60 % por lo que debió cumplir la primera suposición (presencia de un hilo de agua al momento de presionar el puño).

#### **b) Análisis de compost final**

Una vez culminado el proceso de compostaje en los cuatro tratamientos se procedió a realizar el análisis fisicoquímico de los mismos con la finalidad de determinar sus características para que fueran comparadas con los estándares y normas respectivas.

El análisis fisicoquímico a realizar fue el de “Análisis de materia orgánica” el cual incluye 10 parámetros analizados por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina (Véase la tabla 4.7, de la página 78)

El análisis en laboratorio constó de dos etapas para su análisis siendo estas la de toma de muestra y análisis en laboratorio.

Para la toma de muestra se siguieron los siguientes pasos (ver Registro Fotográfico – Fotografía 18):

- Se procedió a recoger aproximadamente 300 gramos de muestra del compost obtenido para ser almacenado en una bolsa con cierre hermético.
- Seguidamente se procedió a sellar la bolsa tratando de quitar la mayor cantidad de aire del mismo.
- Finalmente se realizó el etiquetado de las muestras para su entrega al laboratorio.

#### **4.5 Procesamiento estadístico y análisis de datos**

Se recolectó los datos de campo y laboratorio, los cuales fueron ingresados en tablas de Microsoft Excel para su procesamiento y análisis empleando la estadística descriptiva para el análisis de los resultados con gráficos estadísticos, promedio aritmético, porcentajes de variación y Análisis Multicriterio mediante el método del Proceso Analítico Jerárquico (AHP-The Analytic Hierarchy Process), siendo este último utilizado para determinar el tratamiento de mejor calidad.

Así mismo se empleó Google Earth Pro como herramienta informática-geográfica para la obtención de información necesaria para el desarrollo de la presente investigación.

## CAPÍTULO 5 RESULTADOS

### 5.1 Resultados obtenidos durante el proceso de compostaje

Dichos resultados corresponden a los obtenidos de la medición de los parámetros in situ (temperatura, pH y conductividad eléctrica) durante el proceso de compostaje.

#### 5.1.1 Temperatura

La temperatura fue monitoreada de forma diaria por un intervalo de 55 días empezando el día 3 de iniciado el proceso de compostaje hasta el día 58 fecha en que se inició el proceso de maduración de las pilas (siendo este de 3 semanas aproximadamente) por lo que las mediciones luego de este día no fueron tomadas en cuenta ya que todas eran muy cercanas a la temperatura ambiente.

Los resultados obtenidos en el intervalo de tiempo descrito se presentan a continuación en la Tabla 5.1.

**TABLA 5.1**  
RESULTADOS DE TEMPERATURA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Día	Temperatura (°C)			
	Pila 0	Pila 1	Pila 2	Pila 3
3	43.80	49.50	40.50	45.90
4	45.20	51.70	41.90	46.70
5	51.90	57.63	50.63	50.85
6	58.60	63.55	59.35	55.00
7	50.70	49.15	49.75	44.10
8	49.75	46.80	48.65	45.30
9	41.70	45.95	48.10	45.65
10	47.95	45.80	51.85	48.55
11	44.00	43.25	47.90	42.90
12	51.65	51.95	54.00	49.63
13	59.30	60.65	60.10	56.35
14	54.25	57.00	59.45	55.25
15	50.10	52.20	52.10	49.80
16	54.70	51.50	54.95	54.00

Día	Temperatura (°C)			
	Pila 0	Pila 1	Pila 2	Pila 3
17	54.55	51.60	54.90	52.85
18	57.85	54.65	55.85	53.40
19	54.73	51.80	54.75	51.28
20	51.60	48.95	53.65	49.15
21	50.95	48.88	52.53	48.03
22	50.30	48.80	51.40	46.90
23	50.40	47.90	50.20	44.80
24	50.10	46.70	48.00	43.00
25	50.00	45.20	45.50	40.60
26	50.10	48.40	47.00	45.60
27	49.70	49.00	48.50	45.90
28	49.00	50.50	49.80	46.50
29	48.10	48.90	47.90	44.70
30	47.20	47.30	46.00	42.90
31	46.15	45.75	45.40	41.15
32	45.10	44.20	44.80	39.40
33	44.30	43.70	43.60	38.00
34	42.80	41.20	40.20	37.10
35	41.80	40.50	39.30	36.50
36	41.50	39.50	38.50	35.00
37	41.20	37.80	38.10	34.40
38	39.50	36.80	37.00	33.20
39	37.80	34.70	35.60	30.00
40	37.50	35.60	36.20	32.50
41	37.90	37.00	35.40	33.70
42	37.80	37.60	34.20	34.50
43	36.70	37.15	34.80	33.75
44	35.60	36.70	35.40	33.00
45	35.15	35.70	34.30	32.65
46	34.70	34.70	33.20	32.30
47	33.90	34.00	33.30	31.80
48	32.60	33.10	33.00	33.20
49	31.60	31.80	32.20	33.40
50	31.45	31.50	32.70	33.55
51	31.30	31.20	33.20	33.70
52	32.05	31.65	33.55	34.20
53	32.80	32.10	33.90	34.70
54	32.00	31.20	33.00	33.90
55	31.50	30.00	32.50	32.80

Día	Temperatura (°C)			
	Pila 0	Pila 1	Pila 2	Pila 3
56	30.10	30.80	31.40	32.40
57	30.40	30.45	30.80	32.20
58	30.70	30.10	30.20	32.00

Fuente: Elaboración propia (2017)

### 5.1.2 Potencial de hidrogeno (pH)

El pH fue monitoreado de forma interdiaria por un intervalo de 26 días empezando el día 4 de iniciado el proceso de compostaje hasta el día 80 fecha en la que culminó el proceso de maduración de las pilas; cabe resaltar que durante las 3 semanas que duro la maduración del compost solo se realizó una medición semanal (días 66, 73 y 80 respectivamente).

Los resultados obtenidos en el intervalo de tiempo descrito se presentan a continuación en la Tabla 5.2.

**TABLA 5.2**  
RESULTADOS DE PH EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Día	Potencial de Hidrógeno (unidades de pH)			
	Pila 0	Pila 1	Pila 2	Pila 3
4	6.0	4.7	4.5	4.3
6	6.2	5.8	6.0	5.5
8	7.5	7.4	7.2	7.6
11	8.1	7.9	8.2	8.0
13	8.7	8.9	8.7	8.0
15	8.1	8.2	8.3	8.0
18	8.5	8.6	8.3	8.4
20	8.5	8.5	8.3	8.6
22	8.1	7.8	8.5	7.9
25	8.3	8.1	8.0	7.9
28	8.9	8.7	8.9	8.8
30	8.9	9.1	8.7	8.6
32	8.9	8.9	9.0	8.9
35	9.1	9.2	9.1	8.7
38	8.2	8.7	8.0	8.2
42	8.5	8.6	8.1	8.4
44	8.7	8.4	8.7	8.3

Día	Potencial de Hidrógeno (unidades de pH)			
	Pila 0	Pila 1	Pila 2	Pila 3
46	8.4	8.4	8.5	8.0
49	8.2	8.3	8.3	8.3
51	8.4	8.4	8.5	8.0
53	8.7	8.6	8.4	8.5
56	8.5	8.3	8.3	8.2
58	8.6	8.3	8.4	8.3
66	8.5	8.2	7.9	8.0
73	8.1	8.0	7.9	7.5
80	7.7	7.5	7.4	7.3

Fuente: Elaboración propia (2017)

### 5.1.3 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica fue monitoreada de forma interdiaria por un intervalo de 26 días empezando el día 4 de iniciado el proceso de compostaje hasta el día 80 fecha en la que culminó el proceso de maduración de las pilas; cabe resaltar que durante las 3 semanas que duro la maduración del compost solo se realizó una medición semanal (días 66, 73 y 80 respectivamente).

Los resultados obtenidos en el intervalo de tiempo descrito se presentan a continuación en la Tabla 5.3.

**TABLA 5.3**  
RESULTADOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Día	Conductividad eléctrica (ús/cm)			
	Pila 0	Pila 1	Pila 2	Pila 3
4	680	650	600	720
6	700	690	720	680
8	852	700	820	780
11	660	438	1012	512
13	806	1310	712	858
15	678	554	852	587
18	782	762	977	748
20	800	812	914	590
22	1328	1108	824	770
25	546	674	586	494

Día	Conductividad eléctrica (us/cm)			
	Pila 0	Pila 1	Pila 2	Pila 3
28	550	672	564	618
30	636	428	496	456
32	654	604	434	382
35	410	576	566	462
38	1002	988	1160	860
42	820	864	764	908
44	450	512	428	410
46	680	658	446	660
49	480	498	298	330
51	368	302	384	502
53	296	308	360	416
56	314	386	250	294
58	230	390	258	296
66	274	394	398	518
73	508	510	370	482
80	1120	682	596	750

Fuente: Elaboración propia (2017)

## 5.2 Resultados obtenidos del análisis del compost final

### 5.2.1 Resultados de laboratorio

La calidad del compost final se determinó mediante un análisis físico químico denominado "Análisis de Materia Orgánica" a partir de las muestras obtenidas en cada tratamiento; sin embargo cabe resaltar que tanto los parámetros: porcentaje de carbono y relación carbono-nitrógeno no estuvieron incluidos en dicho análisis por lo que fueron calculados mediante fórmulas empíricas (tal como se detalla en el ítem relación carbono nitrógeno del apartado 2.2.5).

Los resultados obtenidos tanto en laboratorio como de forma empírica son presentados en la Tabla 5.4.

**TABLA 5.4**  
RESULTADOS OBTENIDOS DEL COMPOST FINAL

Parámetro	Unidades	Pila 0	Pila 1	Pila 2	Pila 3
pH	Unid de pH	7.5	7.51	7.55	7.37
Conductividad eléctrica	dS/m	3.52	3.01	3.55	4.1

Parámetro	Unidades	Pila 0	Pila 1	Pila 2	Pila 3
Materia orgánica (M.O)	%	15.32	19.2	20.37	24.42
Humedad	%	43.08	42.16	44.37	40.31
(*)Carbono (C)	%	8.89	11.14	11.82	14.16
Nitrógeno (N)	%	1.22	0.64	0.92	1.55
(*)Relación C/N	-	7.28	17.40	12.84	9.14
Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	0.81	0.78	0.91	0.87
Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	0.32	0.32	0.45	0.37
Calcio (CaO)	%	4.04	3.48	4.12	3.98
Magnesio (MgO)	%	1.19	1.19	1.29	1.12
Sodio (Na)	%	0.06	0.06	0.07	0.06

Fuente: Elaboración propia (2017)

(\*)El porcentaje de carbono fue obtenido a partir de la fórmula empírica: %C=%M.O/1.724, que fue utilizado para la estimación de la relación C/N junto al porcentaje de nitrógeno obtenido por análisis en laboratorio.

## CAPÍTULO 6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

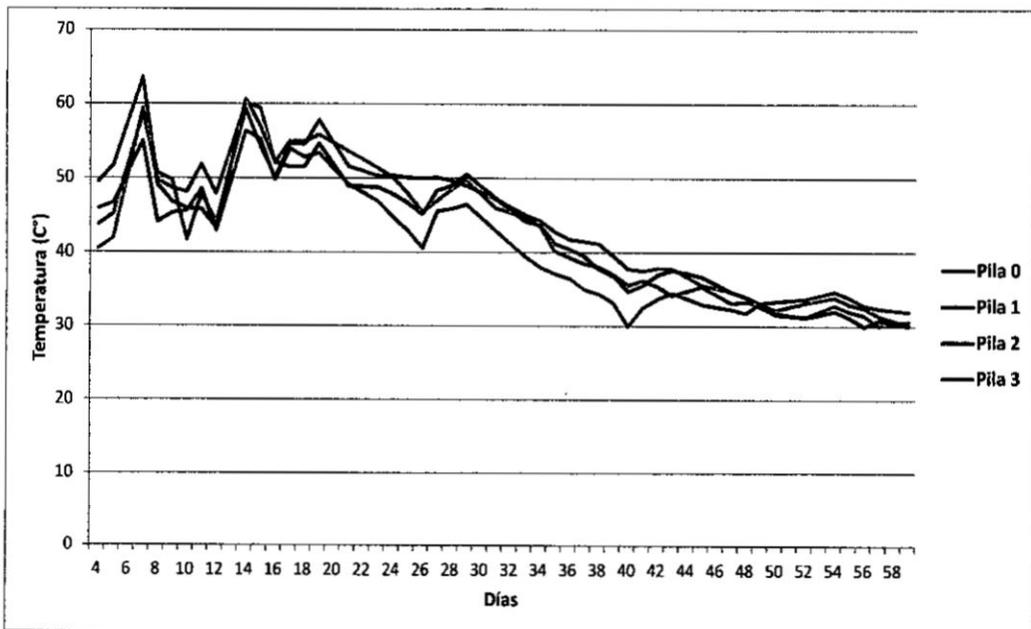
### 6.1 Contratación de resultados durante el proceso de compostaje

#### 6.1.1 Contratación de la temperatura

Para el análisis de la evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje de las 4 pilas implementadas se hizo uso de un análisis de tendencias tal y como se observa en la Figura 6.1.

FIGURA 6.1

#### EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE



Fuente: Elaboración propia (2017)

En la figura mostrada se puede observar que la temperatura durante el proceso de compostaje presentó una tendencia cíclica durante su etapa termófila (valores mayores a 40 °C) para luego presentar una reducción gradual correspondiente a la etapa de enfriamiento con una tendencia a ser constante en el tiempo (valores por debajo de los 40 °C), cabe mencionar que en la Pila 3 se inició dicha etapa en el día 32 siendo esta de forma temprana a diferencia de las Pilas 0, 1 y 2 en las cuales sus etapas de enfriamiento empezaron los días

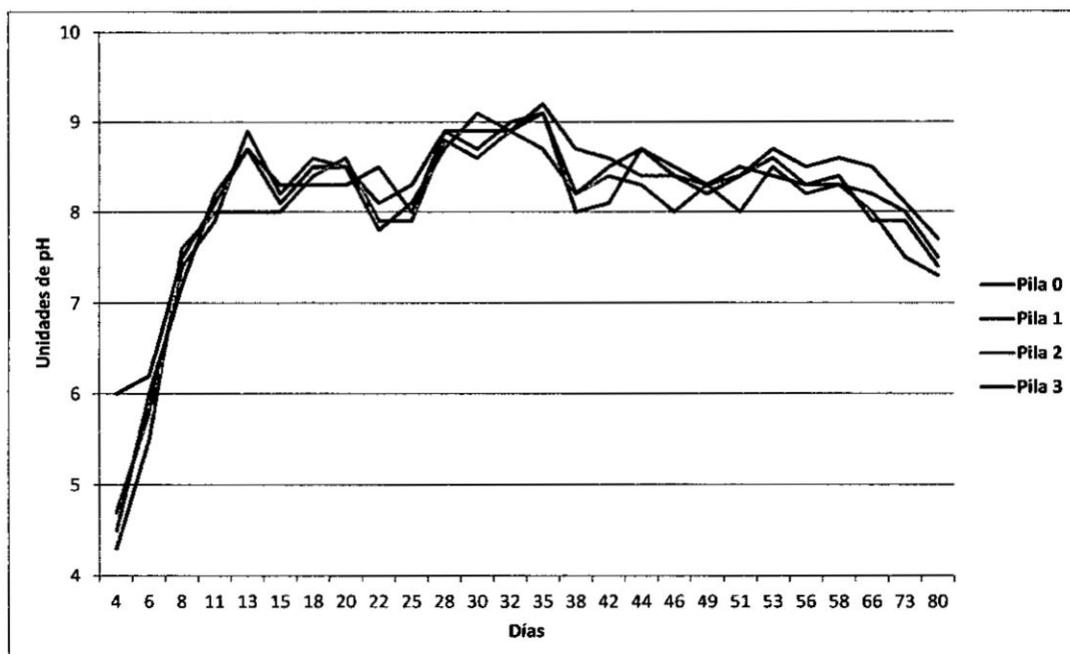
38, 36 y 35 respectivamente; asimismo la Pila 1 alcanzó la máxima temperatura en comparación con las otras pilas siendo esta de 63.55 °C seguido de las pilas 2, 0 y 3 con valores de 60.1 °C, 59.3 °C y 56.35 °C respectivamente, por otro lado el mínimo valor de temperatura registrado para las cuatro pilas tendió a los 30 °C.

Finalmente se observó que existen 3 picos de temperatura en las cuatro pilas de compostaje correspondientes a los días 6, 13 y 18 respectivamente estos picos estuvieron relacionados tanto a las actividades de volteo (aireación) y dosificación de EMA durante su etapa de mayor actividad microbiana ya que la adición de EMA a las Pilas 1, 2 y 3 se realizó durante los días 0, 7 y 14 respectivamente, acompañados del volteo y aireación respectiva de las pilas.

### 6.1.2 Contratación del pH

Para el análisis de la evolución del pH durante el proceso de compostaje de las 4 pilas implementadas se hizo uso de un análisis de tendencias tal y como se observa en la Figura 6.2.

**FIGURA 6.2**  
EVALUACIÓN DEL PH DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE



Fuente: Elaboración propia (2017)

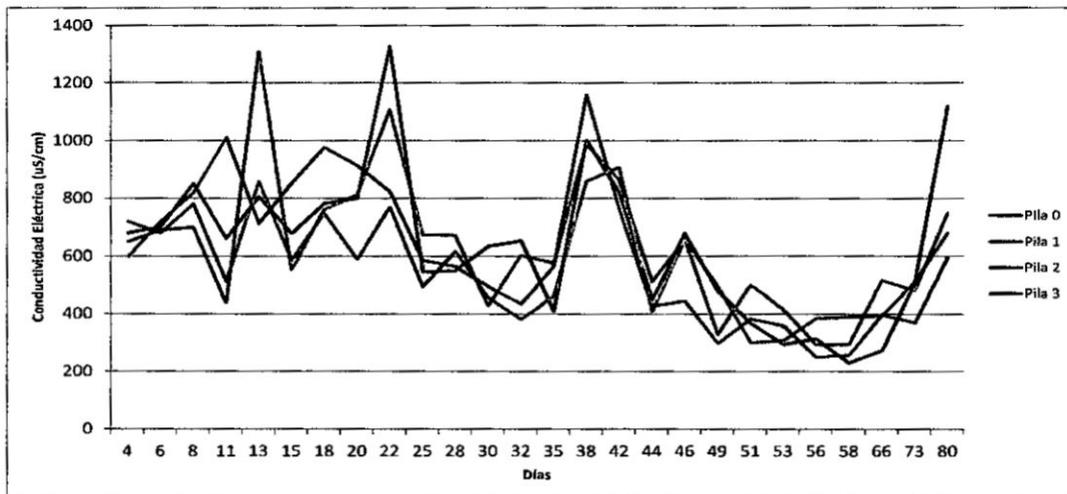
En la figura mostrada se puede observar que para las cuatro pilas de compostaje la evolución del pH inició con una etapa ácida con valores mínimos de 6, 4.7, 4.5 y 4.3 respectivamente para luego proceder a tener un aumento del mismo desde el día 4 (valor mínimo) hasta el día 8, donde se empezó a tener valores en el intervalo de 8 a 9 unidades de pH correspondiendo al 69 % de los datos registrados (desde el día 9 hasta el día 58), para finalmente presentar una reducción del mismo durante la etapa de maduración de las pilas de compost con una tendencia hacia los valores neutros o cercanos a 7.

Cabe resaltar que el valor inicial de pH registrado en la Pila 0 (pH=6) se encontró muy por encima de los valores iniciales encontrados en las demás pilas, esto es debido a la inoculación de EMA en las Pilas 1, 2 y 3 siendo esta una solución con pH ácido que provoco el descenso de pH en las pilas en sus etapas iniciales.

### 6.1.3 Contrastación de la conductividad eléctrica (CE)

Para el análisis de la evolución de la conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje de las 4 pilas implementadas se hizo uso de un análisis de tendencias tal y como se observa en la Figura 6.3.

**FIGURA 6.3**  
EVOLUCIÓN DE LA CE DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE



Fuente: Elaboración propia (2017)

En la figura mostrada se puede observar que la CE presentó una alta variación respecto al tiempo (esto debido a actividades como el humedecimiento de las pilas que provocan lixiviación y lavado de sales solubles en las mismas), presentando valores comprendidos en el rango de 200 mS/cm y 1400 mS/cm respectivamente; asimismo durante los primeros 46 días la CE presentó valores mayores a los 400 mS/cm para seguidamente presentar un descenso hacia valores entre los 200 mS/cm y 400 mS/cm (a excepción del valor de CE en la Pila 3 en el día 51 que tuvo un valor de 502 mS/cm) hasta el día 58, para finalmente presentar un crecimiento acelerado hasta el día 80.

Cabe precisar que durante todo el proceso de compostaje no se presentaron valores por encima de los sugeridos para el compost final por lo que dicho parámetro sugiere que si bien hubo gran variación en sus valores, todos se encontraron en un rango aceptable.

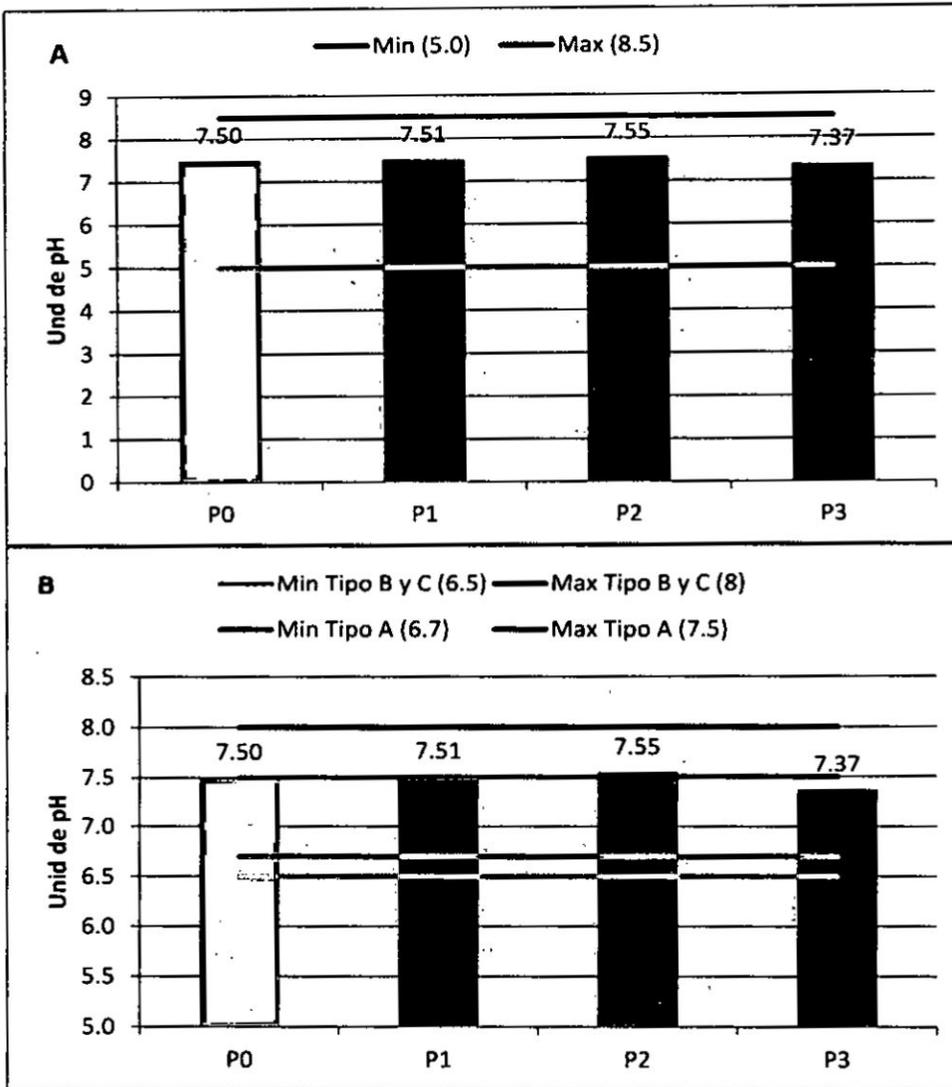
## **6.2 Contratación de hipótesis con los resultados en referencia a la Norma Chilena 2880 y Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011**

Los resultados obtenidos del análisis en laboratorio del compost final de las 4 pilas de compostaje fueron comparadas con la Norma Chilena 2880 "Compost – Clasificación y requisitos" (en adelante Norma Chilena) y la Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011 "Norma Ambiental para el Distrito Federal" (en adelante Norma Mexicana) en referencia a los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, relación carbono, humedad y nitrógeno para ambas normas, mientras que los parámetros fosforo y potasio fueron analizados solo en referencia a la Norma Mexicana; donde se obtuvo los siguientes resultados.

### 6.2.1 Contratación de pH

Los resultados de pH del compost final obtenido en las diferentes pilas en comparación con los intervalos presentados tanto en la Norma Chilena y Norma Mexicana se observa en Figura 6.4.

**FIGURA 6.4**  
RESULTADOS DE PH COMPARADOS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA



A: Resultados comparados con Norma Chilena  
B: Resultados comparados con Norma Mexicana  
Fuente: Elaboración propia (2017)

En relación a la Norma Chilena (A) se pudo observar que las cuatro pilas se encontraron dentro del intervalo permisible de pH requerido tanto para las Clases A y B (5 – 8.5).

Por otro lado, en comparación con la Norma Mexicana (B) se pudo determinar que todas las pilas cumplieron con el intervalo estipulado en los Tipos B y C de dicha norma (6.5 – 8), mientras que solo las Pilas 0 y 3 cumplieron adicionalmente con lo estipulado en el Tipo A (6.7 – 7.5), estando la Pila 0 al límite superior de dicho intervalo.

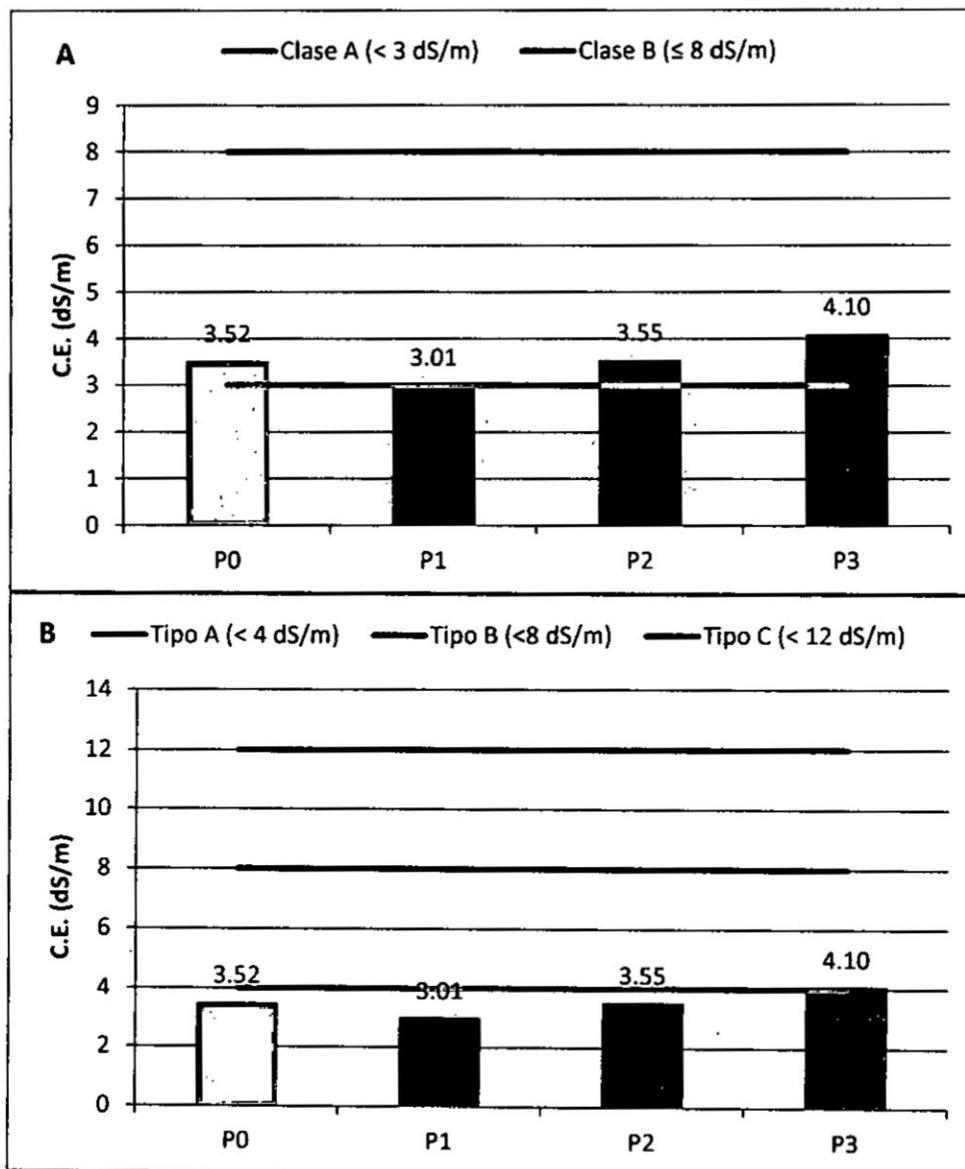
Asimismo cabe mencionar que si bien las Pilas 1 y 2 se encontraron por encima del límite superior del Tipo A, estas presentaron poco margen de excedencia al mismo con valores de 0.01 y 0.05 unidades de pH respectivamente.

Finalmente se pudo observar que los resultados obtenidos presentaron una tendencia hacia un pH de 7.5 con una desviación estándar de 0.078 lo que mostró que existe poca variabilidad entre los resultados obtenidos, aunque en función de los intervalos previstos por ambas normas se consideró que la Pila 3 cumplía con todas las disposiciones descritas en relación al parámetro pH, seguida de la Pila 0.

### **6.2.2 Contrastación de conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica obtenida del compost final correspondiente a las diferentes pilas implementadas en comparación con los valores estipulados para las Clases A ( $< 3$  dS/m) y B ( $\leq 8$  dS/m) de la Norma Chilena; así como los valores determinados para el Tipo A ( $< 4$  dS/m), Tipo B ( $< 8$  dS/m) y Tipo C ( $< 12$  dS/m) correspondientes a la Norma Mexicana se observan en la Figura 6.5.

**FIGURA 6.5**  
**RESULTADOS DE CE COMPARADOS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA**



A: Resultados comparados con Norma Chilena  
 B: Resultados comparados con Norma Mexicana  
 Fuente: Elaboración propia (2017)

En relación a la Norma Chilena (A) se pudo observar que las cuatro pilas cumplieron los valores de CE suficientes para ser catalogadas dentro de la Clase B, mientras que solo la Pila 1 presentó una desviación en defecto de 0.01 dS/m respecto al valor sugerido para la Clase A, siendo el más cercano al mismo, en comparación de las

Pilas 0, 2 y 3 que presentaron desviaciones en exceso de 0.52 dS/m, .55 dS/m y 1.1 dS/m respectivamente.

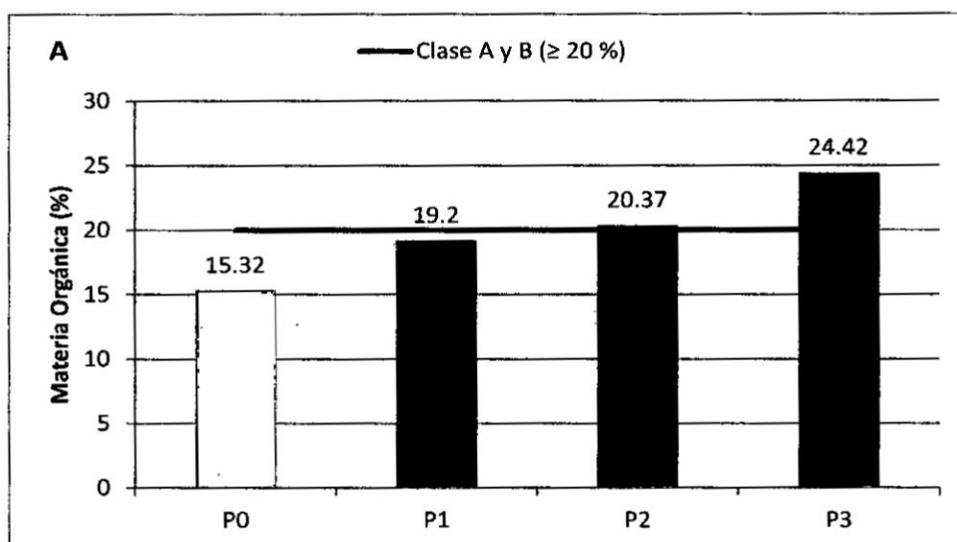
Asimismo según lo observado en la Norma Mexicana (B) se pudo determinar que todas las pilas cumplieron con los valores estipulado en los Tipos A, B y C, a excepción de la Pila 3 cuyo valor no cumple los requisitos para el Tipo A, presentando una excedencia de 0.1 dS/m.

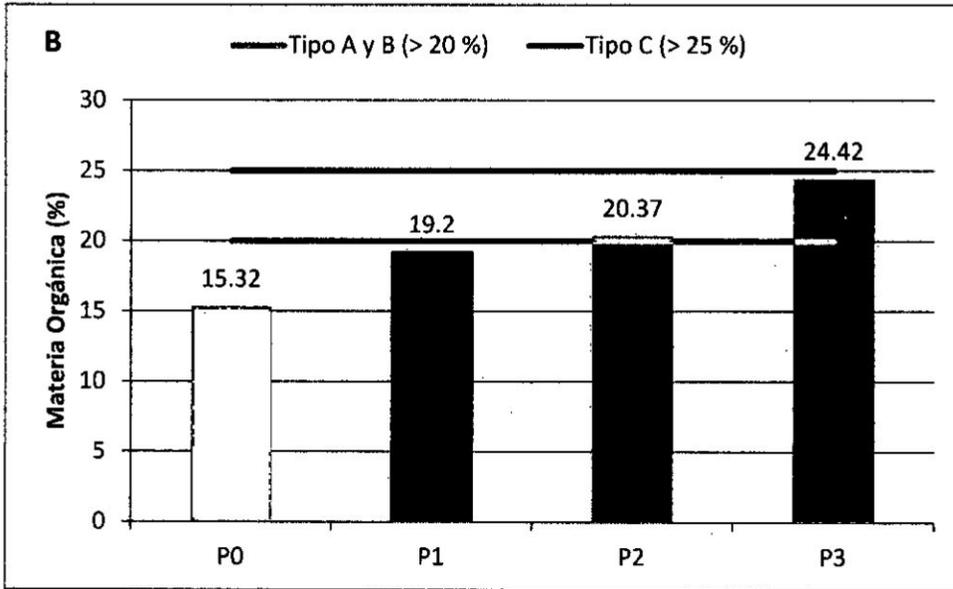
Por lo que la Pila 1 presenta la mejor calidad de compost obtenido respecto a la conductividad eléctrica en comparación a las demás pilas (ya que es el más cercano al valor estipulado en la Clase A de la Norma Chilena y cumple adicionalmente los requisitos para los tres Tipos de la Norma Mexicana).

### 6.2.3 Contrastación de materia orgánica (MO)

Los resultados de porcentaje de MO correspondientes al compost final obtenido en las 4 pilas de compostaje implementadas, en comparación con el valor definido tanto para las Clases A y B ( $\geq 20\%$ ) en la Norma Chilena, así como para los Tipos A y B ( $> 20\%$ ) y Tipo C ( $> 25\%$ ) de la Norma Mexicana se observan en Figura 6.6.

**FIGURA 6.6**  
RESULTADOS DE MATERIA ORGÁNICA COMPARADOS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA





A: Resultados comparados con Norma Chilena  
 B: Resultados comparados con Norma Mexicana  
 Fuente: Elaboración propia (2017)

En relación a la Norma Chilena (A) se puede observar que la Pila 3 cumple completamente con lo estipulado en las Clases A y B con 24.42 % de materia orgánica, 4.42 % por encima de lo requerido por dicha norma.

Asimismo las Pilas 1 y 2 presentan valores muy cercanos al límite estipulado resultando estos en un defecto de 0.8 % y exceso de 0.37 % respectivamente.

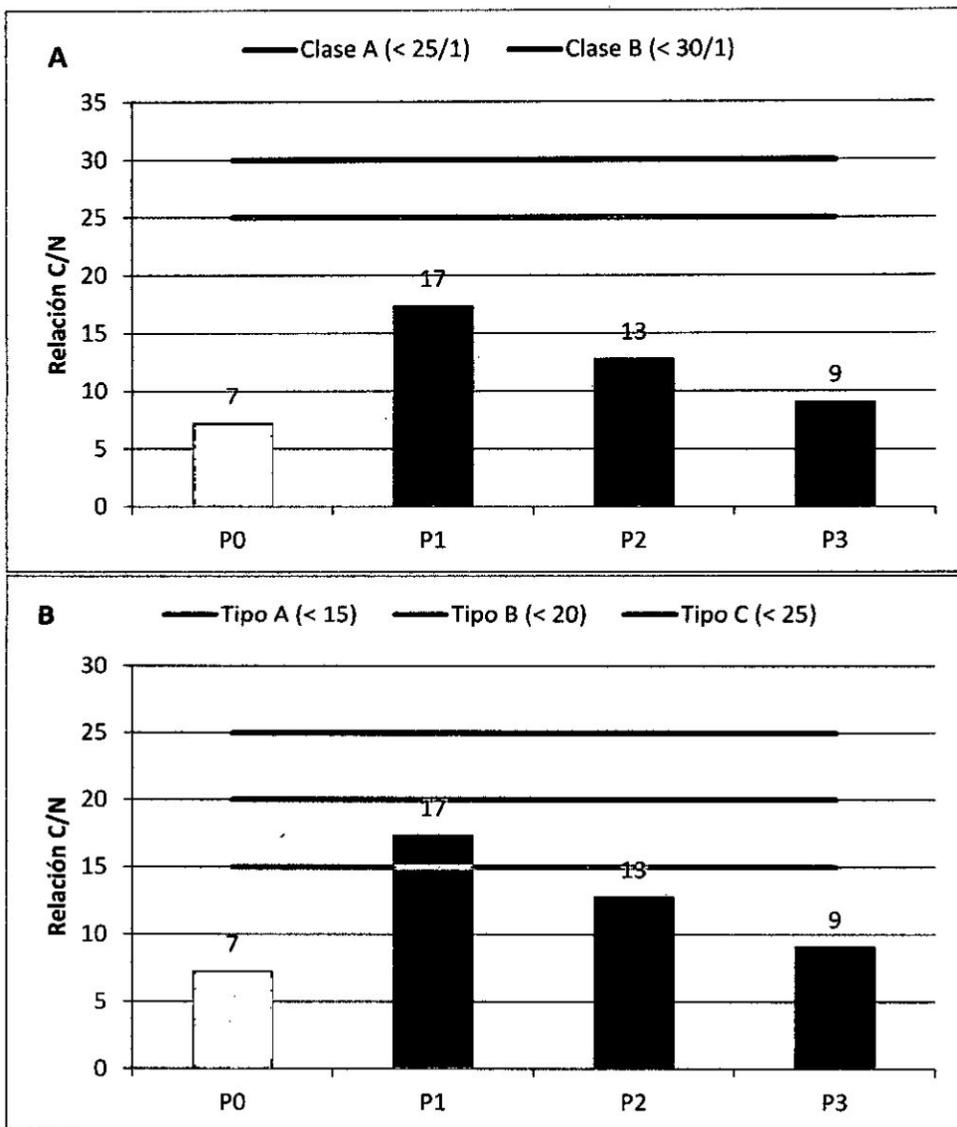
En relación a la Norma Mexicana (B) se puede observar que existe una similitud a lo encontrado en la Norma Chilena ya que son las Pila 2 y 3 las que cumplen lo estipulado en los Tipos A y B, seguidos de las Pilas 1 y 0 presentando valores por debajo de lo requerido (4.68 % y 0.58 %).

Finalmente cabe señalar que es la Pila 3 la que cumple los requisitos para ser calificado como de mejor calidad respecto a las demás pilas ya que cumple completamente tanto para las Norma Chilena y Mexicana.

### 6.2.4 Contratación de la relación carbono/nitrógeno (C/N)

Los resultados referidos a la relación carbono/nitrógeno del compost final obtenido en las 4 pilas de compostaje implementadas, en comparación con el valor definido tanto para la Clase A (< 25/1) y Clase B (< 30/1) en la Norma Chilena, así como para el Tipo A (< 15/1), Tipo B (< 20/1) y Tipo C (< 25/1) de la Norma Mexicana se observa en Figura 6.7.

**FIGURA 6.7**  
RESULTADOS DE RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO COMPARADOS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA



A: Resultados comparados con Norma Chilena  
B: Resultados comparados con Norma Mexicana  
Fuente: Elaboración propia (2017)

Según se observa en relación a la Norma Chilena (A), las 4 pilas cumplen los valores requeridos de relación C/N tanto para las Clases A y B.

Por otro lado, referente a la Norma Mexicana (B), se puede observar que todas las pilas cumplen los requisitos estipulados para los Tipos A, B y C, a excepción de la Pila 1 cuyo valor no llega a cumplir el parámetro estipulado en el Tipo A con un valor de 17/1 respectivamente.

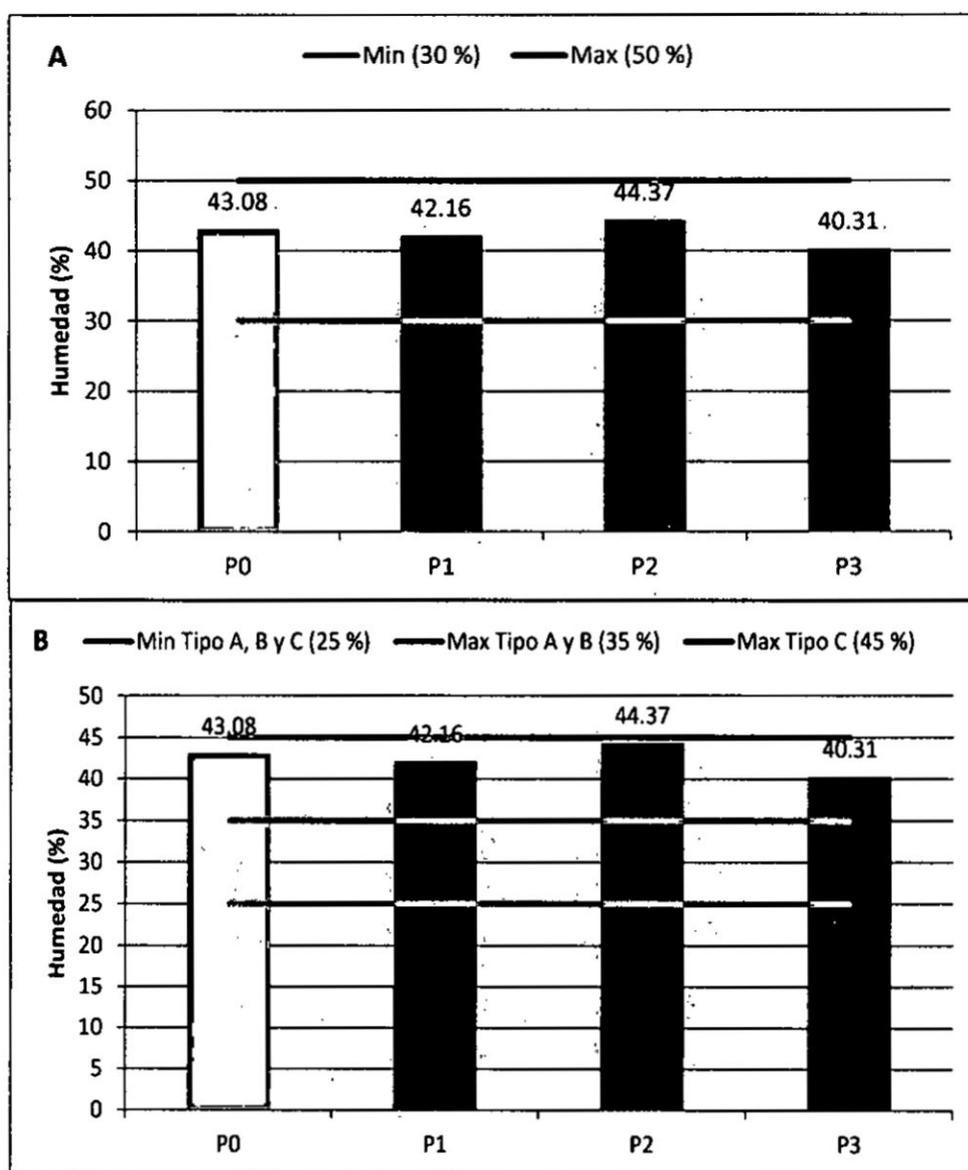
Asimismo cabe resaltar que Román et al. (2013) presentaron valores para el rango ideal de relación C/N de compost maduro, estando la Pila 2 dentro del rango para dicho parámetro (10/1 – 15/1), presentando un valor medio ubicado dentro del mismo (13/1) siendo el de mejor calidad respecto a dicho parámetro; seguido de la Pila 3 cuyo valor (9/1) se encuentra cercano al límite inferior de dicho rango.

Finalmente las Pila 0 y 1 presenta los valores con mayor variación en relación con los estándares descritos, presentando valores en defecto y exceso respectivamente.

#### **6.2.5 Contratación de la humedad**

Los resultados obtenidos de porcentaje de humedad del compost final en las 4 pilas de compostaje implementadas en comparación con el valor definido tanto para las Clases A y B (30 % - 50 %) en la Norma Chilena, así como para los Tipo A y B (25 % - 35 %) y Tipo C (25 % - 45 %) de la Norma Mexicana se observan en la Figura 6.8.

**FIGURA 6.8**  
**RESULTADOS DE HUMEDAD COMPARADOS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA**



A: Resultados comparados con Norma Chilena  
 B: Resultados comparados con Norma Mexicana  
 Fuente: Elaboración propia (2017)

Según se observa en relación a la Norma Chilena (A), las 4 pilas cumplen los valores requeridos de humedad tanto para las Clases A y B.

Seguidamente, en lo que respecta a la Norma Mexicana (B) se puede observar que si bien todas las pilas cumplen con lo estipulado

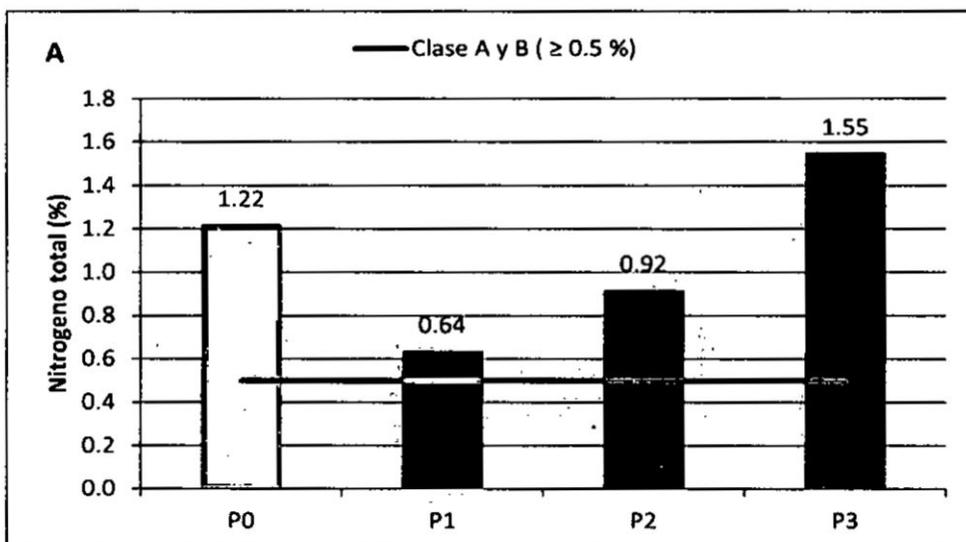
en el Tipo C, ninguna cumple los requisitos sugeridos para los Tipos A y B ya que sobrepasan el límite superior sugerido.

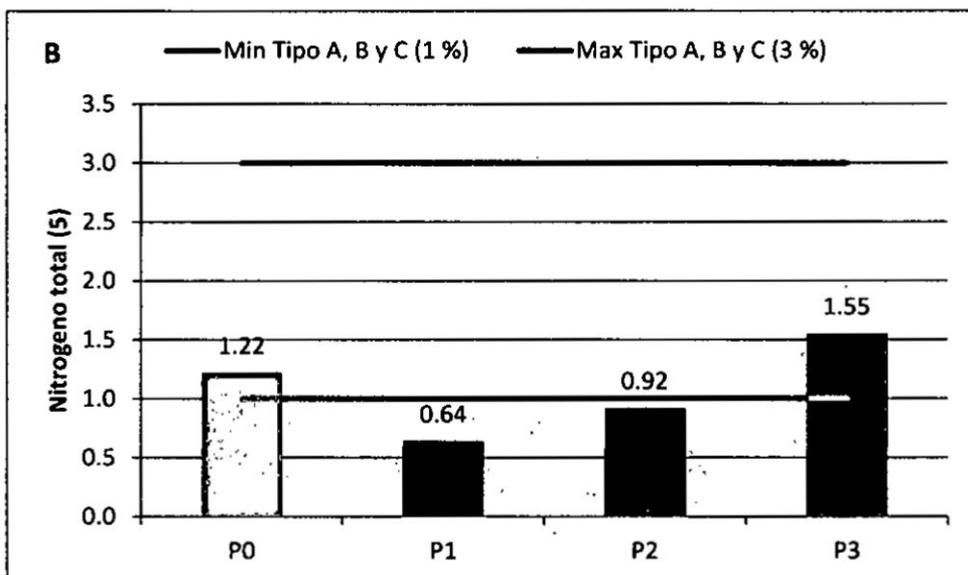
Asimismo cabe resaltar que Román et al. (2013) presentan valores para el rango ideal de humedad para compost maduro (30 % - 40 %), siendo la Pila 3 la que más cerca se encuentra de dichos valores presentando un exceso de solo 0.31 %; seguido de las Pilas 1, 0 y 2 que presentan mayores márgenes de exceso frente al límite superior mencionado, siendo estos de 2.16 %, 3.08 % y 4.37 % respectivamente; por lo que se considera a la Pila 3 como la de mejor calidad en función a la humedad frente a las demás pilas implementadas.

#### 6.2.6 Contratación de nitrógeno

Los resultados obtenidos de porcentaje de nitrógeno del compost final en las 4 pilas de compostaje implementadas en comparación con el valor definido tanto para las Clases A y B ( $\geq 0.5$  %) en la Norma Chilena, así como para el intervalo definido para los Tipos A, B y C (1 % - 3 %) en la Norma Mexicana se observan en la Figura 6.9.

**FIGURA 6.9**  
RESULTADOS DE NITRÓGENO COMPARADOS CON NORMA CHILENA Y MEXICANA





A: Resultados comparados con Norma Chilena  
 B: Resultados comparados con Norma Mexicana  
 Fuente: Elaboración propia (2017)

En relación a la Norma Chilena (A), las 4 pilas cumplen los valores requeridos de nitrógeno tanto para las Clases A y B.

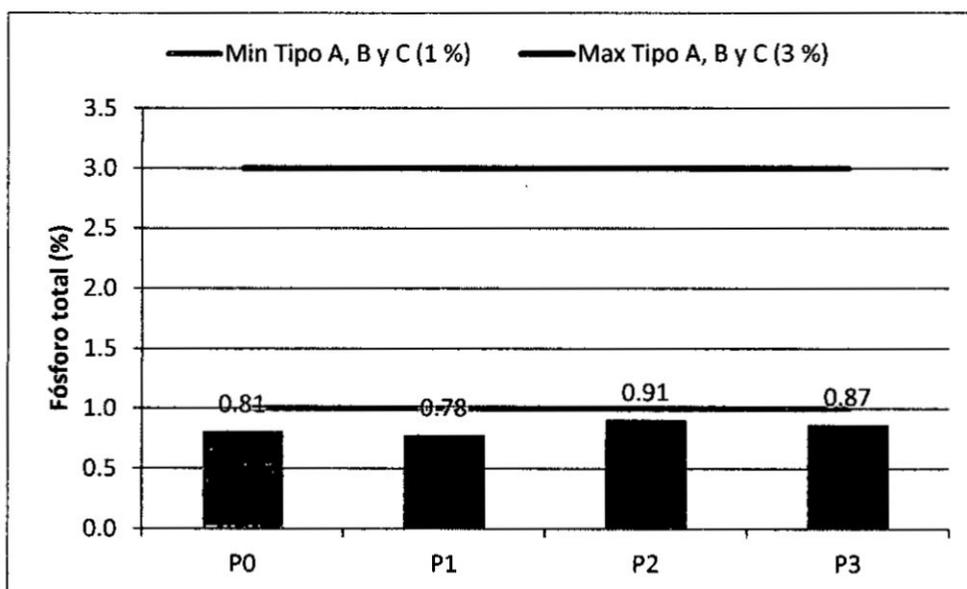
Por otro lado, respecto a la Norma Mexicana se puede observar que solo las Pila 0 y 3 cumplen con los valores estipulados para los Tipos A, B y C, mientras que las Pilas 1 y 2 presentan valores por debajo del límite inferior con márgenes de variación de 0.36 % y 0.08 % respectivamente.

Asimismo cabe señalar que la Pila 3 presenta un valor medio en comparación con el intervalo dispuesto para los Tipos A, B y C mientras que la Pila 0 presenta una tendencia más hacia el límite inferior de dicho rango.

### 6.2.7 Contrastación del fósforo

Los resultados obtenidos de porcentaje de fósforo (como  $P_2O_5$ ) del compost final en las 4 pilas de compostaje implementadas en comparación con el intervalo definido tanto para los Tipos A, B y C (1 % - 3 %) en la Norma Mexicana, se observan en la Figura 6.10.

**FIGURA 6.10**  
RESULTADOS DE FOSFORO COMPARADOS CON NORMA MEXICANA



Fuente: Elaboración propia (2017)

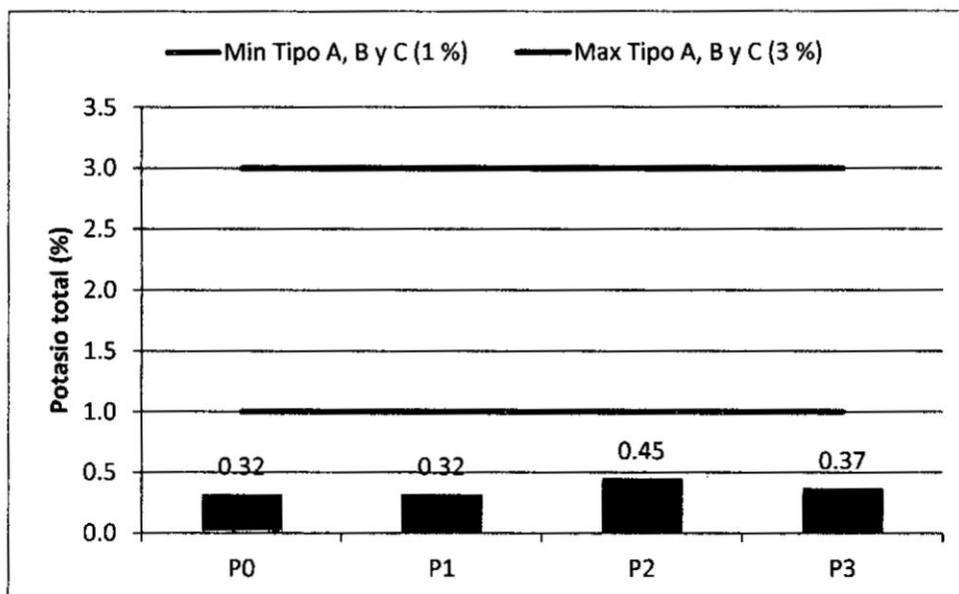
Según lo observado en la figura anterior, se determinó que ninguno de los valores obtenidos en las pilas alcanzó el valor mínimo estipulado para los Tipos A, B y C.

Asimismo cabe resaltar que la Pila 2 es la que se encuentra más próxima al valor mínimo de la Norma Mexicana con un valor en defecto de 0.91 %, seguido de la Pila 3 que presenta un valor de 0.87 %.

### 6.2.8 Contrastación del Potasio

Los resultados obtenidos de porcentaje de potasio (como  $K_2O$ ) del compost final en las 4 pilas de compostaje implementadas en comparación con el intervalo definido tanto para los Tipos A, B y C (1 % - 3 %) en la Norma Mexicana, se observan en la Figura 6.11.

**FIGURA 6.11**  
**RESULTADOS DE POTASIO COMPARADOS CON NORMA MEXICANA**



Fuente: Elaboración propia (2017)

Según se observa en la figura anterior, ninguno de los valores obtenidos en las pilas implementadas cumple con los requisitos mínimos para los Tipo A, B y C.

Asimismo cabe resaltar que la Pila 2 presenta el valor más próximo al límite inferior del rango presentado por la Norma Mexicana con un valor de 0.45 %, seguido de la Pila 3 con un valor de 0.37 % respectivamente.

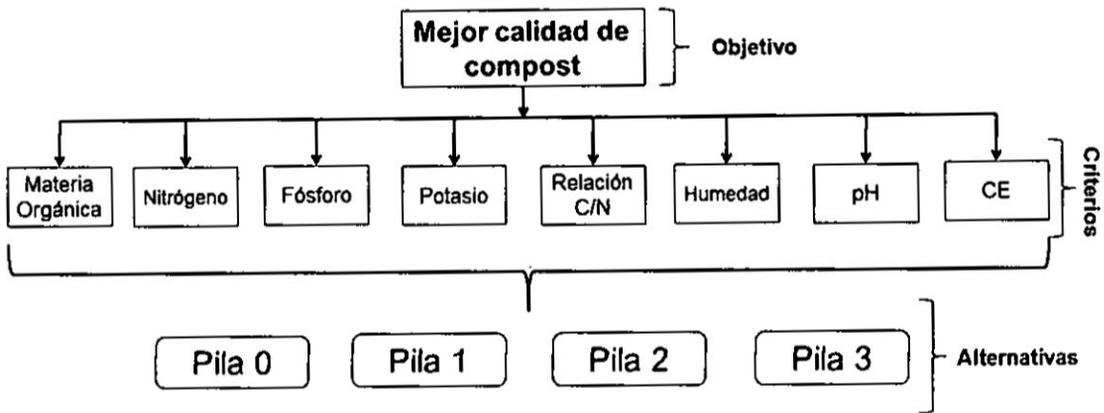
### **6.3 Determinación de la dosis óptima de microorganismos eficaces mediante la aplicación del método AHP**

Para la determinación de la mejor calidad de compost final obtenido a partir de las pilas de compostaje implementadas y por ende la dosis óptima de EM aplicado, se hizo uso de un análisis estadístico denominado “**Proceso Jerárquico Analítico**” para lo cual se siguió la siguiente metodología:

### 6.3.1 Determinación de la estructura del modelo jerárquico

Para determinar la estructura del modelo jerárquico se identificó el objetivo global, criterios de evaluación y alternativas respectivamente, tal como se muestra en la Figura 6.12.

**FIGURA 6.12**  
MODELO JERÁRQUICO DE ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA



Fuente: Elaboración propia (2017)

### 6.3.2 Emisión de opiniones y evaluaciones de alternativas por criterio

Para la determinación de opiniones se siguió los siguientes pasos:

- a) Primero se procedió a evaluar las alternativas mediante la comparación de pares utilizando la escala numérica de Saaty presentada en la Tabla 2.5 para cada criterio utilizado, tal como se muestra en la Tabla 6.1 en relación a los resultados obtenidos para la materia orgánica por pila de compostaje implementada, tomando en cuenta la normativa internacional utilizada para su evaluación.

**TABLA 6.1**  
MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES PARA EL CRITERIO MATERIA ORGÁNICA (MO)

M.O	Pila 0	Pila 1	Pila 2	Pila 3
Pila 0	1	1/3	1/5	1/7
Pila 1	3	1	1/3	1/5
Pila 2	5	3	1	1/3
Pila 3	7	5	3	1

Fuente: Elaboración propia (2017)

- a) A continuación se procedió a normalizar la matriz obtenida, la cual consistió en dividir cada número de una columna de la matriz de comparación de pares por la suma de su columna, tal como se muestra en la Tabla 6.2 en relación al criterio: materia orgánica.

**TABLA 6.2**  
MATRIZ NORMALIZADA PARA EL CRITERIO MATERIA ORGÁNICA (MO)

<b>M.O</b>	<b>Pila 0</b>	<b>Pila 1</b>	<b>Pila 2</b>	<b>Pila 3</b>
<b>Pila 0</b>	0.063	0.036	0.044	0.085
<b>Pila 1</b>	0.188	0.107	0.074	0.119
<b>Pila 2</b>	0.313	0.321	0.221	0.199
<b>Pila 3</b>	0.438	0.536	0.662	0.597

Fuente: Elaboración propia (2017)

- b) Luego se calculó la media aritmética de cada fila de la matriz normalizada para obtener un vector de prioridades que muestra la preferencia de cada alternativa para cada criterio, tal como se muestra en la Tabla 6.3 en relación al criterio Materia Orgánica.

**TABLA 6.3**  
VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO MATERIA ORGÁNICA (MO)

<b>Pila</b>	<b>Vector de prioridad</b>
<b>Pila 0</b>	5.69%
<b>Pila 1</b>	12.19%
<b>Pila 2</b>	26.33%
<b>Pila 3</b>	55.79%

Fuente: Elaboración propia (2017)

- c) Finalmente se procedió a realizar el mismo proceso metodológico para cada criterio de evaluación, tal y como se muestra en la Tabla 6.4, Tabla 6.5, Tabla 6.6, Tabla 6.7, Tabla 6.8, Tabla 6.9 y Tabla 6.10.

**TABLA 6.4**  
**MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE**  
**ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO NITRÓGENO**

<b>Nitrógeno</b>	<b>Pila 0</b>	<b>Pila 1</b>	<b>Pila 2</b>	<b>Pila 3</b>	<b>Vector de prioridad</b>
<b>Pila 0</b>	1	5	3	1/3	26.33%
<b>Pila 1</b>	0	1	1/3	1/7	5.69%
<b>Pila 2</b>	0	3	1	1/5	12.19%
<b>Pila 3</b>	3	7	5	1	55.79%

Fuente: Elaboración propia (2017)

**TABLA 6.5**  
**MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE**  
**ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO FÓSFORO**

<b>Fósforo</b>	<b>Pila 0</b>	<b>Pila 1</b>	<b>Pila 2</b>	<b>Pila 3</b>	<b>Vector de prioridad</b>
<b>Pila 0</b>	1	2	1/3	1/2	16.11%
<b>Pila 1</b>	1/2	1	1/4	1/3	9.60%
<b>Pila 2</b>	3	4	1	2	46.58%
<b>Pila 3</b>	2	3	1/2	1	27.71%

Fuente: Elaboración propia (2017)

**TABLA 6.6**  
**MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE**  
**ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO POTASIO**

<b>Potasio</b>	<b>Pila 0</b>	<b>Pila 1</b>	<b>Pila 2</b>	<b>Pila 3</b>	<b>Vector de prioridad</b>
<b>Pila 0</b>	1	1	1/3	1/2	14.11%
<b>Pila 1</b>	1	1	1/3	1/2	14.11%
<b>Pila 2</b>	3	3	1	2	45.47%
<b>Pila 3</b>	2	2	1	1	26.30%

Fuente: Elaboración propia (2017)

**TABLA 6.7**  
**MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE**  
**ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO RELACIÓN C/N**

<b>Relación C/N</b>	<b>Pila 0</b>	<b>Pila 1</b>	<b>Pila 2</b>	<b>Pila 3</b>	<b>Vector de prioridad</b>
<b>Pila 0</b>	1	3	1/4	1/3	14.09%
<b>Pila 1</b>	0	1	1/5	1/4	7.09%
<b>Pila 2</b>	4	5	1	3	52.00%
<b>Pila 3</b>	3	4	0	1	26.82%

Fuente: Elaboración propia (2017)

**TABLA 6.8**  
**MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO HUMEDAD**

<b>Humedad</b>	<b>Pila 0</b>	<b>Pila 1</b>	<b>Pila 2</b>	<b>Pila 3</b>	<b>Vector de prioridad</b>
<b>Pila 0</b>	1	1/2	2	1/3	16.11%
<b>Pila 1</b>	2	1	3	1/2	27.71%
<b>Pila 2</b>	1	0	1	1/4	9.60%
<b>Pila 3</b>	3	2	4	1	46.58%

Fuente: Elaboración propia (2017)

**TABLA 6.9**  
**MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)**

<b>pH</b>	<b>Pila 0</b>	<b>Pila 1</b>	<b>Pila 2</b>	<b>Pila 3</b>	<b>Vector de prioridad</b>
<b>Pila 0</b>	1	1	2	1/3	19.51%
<b>Pila 1</b>	1	1	2	1/3	19.51%
<b>Pila 2</b>	1	1	1	1/3	11.84%
<b>Pila 3</b>	3	3	3	1	49.15%

Fuente: Elaboración propia (2017)

**TABLA 6.10**  
**MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES Y VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS PARA EL CRITERIO CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)**

<b>CE</b>	<b>Pila 0</b>	<b>Pila 1</b>	<b>Pila 2</b>	<b>Pila 3</b>	<b>Vector de prioridad</b>
<b>Pila 0</b>	1	1/2	1	2	22.72%
<b>Pila 1</b>	2	1	2	3	42.31%
<b>Pila 2</b>	1	1/2	1	2	22.72%
<b>Pila 3</b>	1/2	1/3	1/2	1	12.25%

Fuente: Elaboración propia (2017)

### 6.3.3 Análisis de consistencia de las evaluaciones realizadas

Dicho análisis se realizó con la finalidad de identificar inconsistencias en las matrices de comparación de pares y así poder mejorar la validación de las respuestas obtenidas en relación a la preferencia de una alternativa sobre otra.

Este análisis se efectuó mediante cálculos para obtener una relación de consistencia para cada matriz de comparación de pares, siguiendo los siguientes pasos:

- a) Primero se realizó el cálculo de una suma ponderada a partir del producto de cada valor de la misma fila de la matriz de comparación de pares multiplicada por los valores de su vector de prioridades respectivamente, dicha operación se realizó a partir de la Tabla 6.1 y Tabla 6.3 para el criterio Materia Orgánica, tal como se muestra a continuación:

$$(1 \times 0.0569) + \left(\frac{1}{3} \times 0.1219\right) + \left(\frac{1}{5} \times 0.2633\right) + \left(\frac{1}{7} \times 0.5579\right) = 0.23$$

$$(3 \times 0.0569) + (1 \times 0.1219) + \left(\frac{1}{3} \times 0.2633\right) + \left(\frac{1}{5} \times 0.5579\right) = 0.492$$

$$(5 \times 0.0569) + (3 \times 0.1219) + (1 \times 0.2633) + \left(\frac{1}{3} \times 0.5579\right) = 1.099$$

$$(7 \times 0.0569) + (5 \times 0.1219) + (3 \times 0.2633) + (1 \times 0.5579) = 2.356$$

- b) Seguidamente a cada suma ponderada obtenida se le procedió a dividir entre cada valor del vector de prioridades respectivamente tal como se muestra a continuación:

$$0.23/0.0569 = 4.041$$

$$0.492/0.1219 = 4.036$$

$$1.099/0.2633 = 4.175$$

$$2.356/0.5579 = 4.222$$

- c) Una vez obtenidos dichos resultados se procedió a realizar el cálculo del factor  $\lambda_{\max}$ , a partir de la determinación de la media aritmética de los resultados del paso anterior, tal como se muestra a continuación:

$$\lambda_{\max} = \frac{4.041 + 4.036 + 4.175 + 4.222}{4}$$

$$\lambda_{\max} = 4.118$$

- d) Seguidamente se procedió a determinar el índice de consistencia (IC), a partir de  $\lambda_{\max}$  y la dimensión de la matriz cuadrada de comparación de pares (n), tal como se menciona a continuación:

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

$$IC = 0.039489$$

- e) A continuación se procedió a determinar el índice de consistencia aleatoria (ICA) a partir de la Tabla 2.6 del apartado 2.2.10 Análisis Multicriterio, a partir de la dimensión de la matriz cuadrada de comparación de pares.
- f) Consecuentemente se realizó el cálculo de la Razón de Consistencia (RC) a partir del cociente entre el Índice de Consistencia (IC) y el Índice de Consistencia Aleatorio (ICA), tal como se muestra a continuación:

$$RC = \frac{IC}{ICA}$$

$$RC = \frac{0.039489}{0.89}$$

$$RC = 0.04437$$

- g) Finalmente se procedió a realizar el cálculo de la Razón de Consistencia para cada criterio de evaluación siguiendo el mismo proceso metodológico detallado anteriormente y obteniendo los siguientes resultados, tal como se muestra en la Tabla 6.12.

**TABLA 6.11**  
VALORES DE RAZÓN DE CONSISTENCIA (RC) POR CRITERIO DE EVALUACIÓN

Criterios	RC
Materia orgánica	0.04437
Nitrógeno	0.04437
Fósforo	0.01163

<b>Criterios</b>	<b>RC</b>
<b>Potasio</b>	0.00388
<b>Relación C/N</b>	0.06877
<b>Humedad</b>	0.06877
<b>pH</b>	0.02274
<b>CE</b>	0.00388

Fuente: Elaboración propia (2017)

Cabe mencionar que según Claver y Sebastián (2016), Saaty establece desviaciones del 10% como el valor límite de inconsistencia, es de este modo que se introduce el concepto de Razón de Consistencia (...). De este modo, si el cociente es igual o inferior a 0.1 se estará cumpliendo que la desviación es inferior a un 10%. En caso contrario, la inconsistencia de los juicios se considera excesiva y deben ser revisados para corregir la situación.

Es de esta forma que se pudo determinar que todas las razones de consistencia cumplen lo estipulado por dicho parámetro (10%), teniendo una mayor certeza de la consistencia de las opiniones obtenidas en las respectivas matrices de comparación de pares y vector de prioridades respectivamente.

#### **6.3.4 Establecimiento de prioridades por criterio – ponderación de criterios**

El establecimiento de prioridades se realizó con la finalidad de establecer la importancia relativa de cada criterio de evaluación en relación con sus pares, esta comparación se efectuó en base a información teórica referente a la calidad de compost y su maduración, tal como se detalló en el apartado 2.2.8 Compost – calidad del producto final.

El cálculo del vector de prioridades, así como la razón de consistencia fueron efectuados siguiendo los mismos pasos metodológicos explicados en los apartados anteriores, obteniendo los siguientes resultados, tal como se muestra en la Tabla 6.13 y Tabla 6.14.

**TABLA 6.12**  
MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES PARA LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN

<b>Criterios</b>	<b>MO</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>C/N</b>	<b>Hd</b>	<b>pH</b>	<b>CE</b>
<b>MO</b>	1	3	3	3	5	5	5	5
<b>Nitrógeno</b>	1/3	1	1	1	3	3	3	3
<b>Fósforo</b>	1/3	1	1	1	3	3	3	3
<b>Potasio</b>	1/3	1	1	1	3	3	3	3
<b>Relación C/N</b>	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1
<b>Humedad</b>	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1
<b>pH</b>	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1
<b>CE</b>	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia (2017)

**TABLA 6.13**  
VECTOR DE PRIORIDAD Y RAZÓN DE CONSISTENCIA (RC) DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN

<b>Criterios</b>	<b>Vector de prioridad</b>
<b>MO</b>	33.69%
<b>Nitrógeno</b>	14.94%
<b>Fósforo</b>	14.94%
<b>Potasio</b>	14.94%
<b>Relación C/N</b>	5.38%
<b>Humedad</b>	5.38%
<b>pH</b>	5.38%
<b>CE</b>	5.38%
<b>RC</b>	0.00665

Fuente: Elaboración propia (2017)

Finalmente se pudo obtener los pesos relativos en relación al análisis de comparación de pares y vector de prioridad, así como una razón de consistencia menor a 0.1 lo que sustenta la consistencia de las decisiones y comparaciones realizadas.

Respecto a los pesos relativos se obtuvo que el criterio materia orgánica presentó el mayor valor con 33.69% de prioridad, seguido de los parámetros nitrógeno, fósforo y potasio con valores de 14.94%

cada uno; para finalmente ubicarse los criterios relación C/N, humedad, pH y CE con un valor 5.38% respectivamente.

### 6.3.5 Determinación del vector de prioridad global

Para la determinación de la mejor alternativa (pila de compostaje implementada), en relación a la calidad del compost obtenido se realizó el cálculo del vector de prioridad global, que sintetizó todos los datos obtenidos previamente para elaborar un ranking de las alternativas validadas producto de la suma ponderada de cada vector de prioridad de alternativas por criterio y del vector de prioridad de los criterios de evaluación (pesos relativos), tal como se muestra a continuación respecto a la alternativa Pila 0:

$$(0.0569 \times 0.3369) + (0.2633 \times 0.1494) + (0.1611 \times 0.1494) + \\ (0.1411 \times 0.1494) + (0.1409 \times 0.0538) + (0.1611 \times 0.0538) + \\ (0.1951 \times 0.0538) + (0.2272 \times 0.0538) = 0.1426$$

Seguidamente se procedió a realizar el mismo cálculo para cada alternativa evaluada, tal como se muestra en la Tabla 6.15.

**TABLA 6.14**  
VECTOR DE PRIORIDAD GLOBAL PARA LAS ALTERNATIVAS EVALUADAS

Criterios	Pesos relativos	Vector de prioridades por criterio			
		Pila 0	Pila 1	Pila 2	Pila 3
Materia orgánica	33.69%	5.69%	12.19%	26.33%	55.79%
Nitrógeno	14.94%	26.33%	5.69%	12.19%	55.79%
Fósforo	14.94%	16.11%	9.60%	46.58%	27.71%
Potasio	14.94%	14.11%	14.11%	45.47%	26.30%
Relación C/N	5.38%	14.09%	7.09%	52.00%	26.82%
Humedad	5.38%	16.11%	27.71%	9.60%	46.58%
pH	5.38%	19.51%	19.51%	11.84%	49.15%
CE	5.38%	22.72%	42.31%	22.72%	12.25%
<b>Vector de prioridad global</b>		<b>14.26%</b>	<b>13.69%</b>	<b>29.61%</b>	<b>42.44%</b>

Fuente: Elaboración propia (2017)

En función a la metodología AHP adoptada se puede observar que la alternativa óptima corresponde a la Pila 3 con un valor de 42.44% de prioridad global muy por encima de las demás alternativas evaluadas; seguida de la Pila 2 con una valor de 29.61%, para finalmente ubicarse la Pila 0 y Pila 1 con valores de 14.26% y 13.69% respectivamente.

Cabe precisar que dichos resultados son producto de la comparación de los resultados de laboratorio, comparación con normas internacionales y bases teóricas tal como se detalló a lo largo de la presente metodología.

#### **6.4 Contrastación de resultados con investigaciones similares**

Respecto a la realización de estudios similares a la presente investigación, se puede mencionar el estudio titulado **“Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura”** realizado por Mendoza (2012) en la ciudad de Piura, Perú.

Dicha investigación estuvo enfocada a evaluar la viabilidad de la utilización de residuos de poda de jardines, ramillas de algarrobo, hojarasca de algarrobo y estiércol de ganado vacuno para la realización de compost, así como la determinación de la dosis óptima de EMA. La investigación se llevó a cabo mediante la implementación de 4 pilas de compostaje de 200 kg c/u; así como la adición de los siguientes tratamientos: pila 1 sin adición de EMA (blanco o testigo), pila 2 con adición de 0,5 L de EMA, pila 3 con adición 1 L de EMA y pila 4 con adición de 1,5 L de EMA, siendo la dosificación de EMA durante las 6 primeras semanas y teniendo una duración total de compostaje de 8 semanas.

Asimismo los parámetros analizados en dicha investigación fueron los siguientes: temperatura, pH, humedad, materia orgánica, carbono

orgánico, NPK y relación C/N, población total de bacterias, hongos y microorganismos termotolerantes. De este análisis se pudo concluir que la pila 3 es la que presentó mejores características respecto a las demás pilas evaluadas; estando dichas conclusiones en función a parámetros prioritarios (determinados por el investigador) como porcentaje de ramillas degradadas (36,7 %), pH (7,39), concentración de microorganismos termotolerantes ( $2,2 \text{ E}+04 \text{ NMP/100 g}$ ) y una relación de carbono-nitrógeno de 24,9.

De esta manera se puede observar que existe similitud respecto a los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que la Pila 3 con una adición de EMA en exceso del 25% de lo recomendado por el productor presentó los mejores resultados (tal como se muestra en el apartado anterior) por lo que se denota que un exceso de EMA en el proceso de compostaje presenta mejores resultados en calidad de compost obtenido, respecto a aquellos tratamientos donde se usa menor o ninguna adición de EMA; cabe resaltar que si bien existen diferencias metodológicas entre ambas investigaciones como: tipo y cantidad de sustratos utilizados, tiempo de degradación y volumen dosificado; existe una relación en los resultados tal y como se mencionó anteriormente.

## **CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES**

- a) Los datos obtenidos como resultado del monitoreo continuo de las 4 pilas de compostaje implementadas, cumplen lo estipulado en bases teóricas para todos los parámetros in situ (temperatura, CE y pH) lo que evidencia un adecuado proceso de compostaje en función a las variaciones presentadas en dichos parámetros.
- b) En relación a la determinación de la dosis óptima a partir del método AHP, la Pila 3 a la cual se le adicionó un exceso de 25 % de EMA en relación a lo sugerido por el productor presentó la mejor calidad de compost y por ende la dosis óptima en relación a los tratamientos llevados a cabo, ya que muestra el mayor puntaje de prioridad global (42.44%) muy por encima de las demás alternativas evaluadas, ya que presentó valores de prioridad de 12.83%, 28.19% y 28.75% por encima de la Pila 2, Pila 0 y Pila 1 respectivamente, asimismo en relación a la comparación con normativas internacionales, la Pila 3 presentó los mejores valores o en su defecto el segundo mejor valor en los parámetros pH, MO, relación C/N, humedad, nitrógeno, fósforo y potasio; solo evidenciando una deficiencia en el parámetro CE.
- c) Adicionalmente la Pila 2 a la cual se le adicionó la cantidad de EMA sugerida por el productor presentó el segundo mejor puntaje de prioridad global con un valor de 29.61% en relación al método AHP; asimismo en relación con normas internacionales presentó los mejores valores o en su defecto el segundo mejor valor en los parámetros MO, relación C/N, fósforo y potasio; sin embargo mostró deficiencias en los parámetros pH, CE, humedad y nitrógeno, ya que presenta valores con altas desviaciones en comparación con las demás pilas.

- d) Seguidamente las Pilas 0 y 1 presentaron los menores valores de prioridad global con valores de 14.26% y 13.69% respectivamente, asimismo en relación a los estándares internacionales utilizados, presentaron valores adecuados solo para los parámetros pH, CE y nitrógeno para la Pila 0; así como CE y humedad para el caso de la Pila 1; siendo la Pila 0 el blanco de investigación (sin adición de EMA) y la Pila 1 donde se adiciono 25% menos de EMA en relación a los sugerido por el productor.
- e) Finalmente en comparación con la norma de referencia mexicana, se concluye que todas las pilas implementadas presentaron deficiencia en los parámetros fósforo y potasio; ya que se encontraron fuera del rango permitido por dicha norma para los Tipos A, B y C.

## **CAPÍTULO 8 RECOMENDACIONES**

- a) Realizar un pre tratamiento a los materiales provenientes de los arreglos florales fúnebres, mediante la clasificación y reducción de su tamaño (segregación y trituración), con la finalidad de acelerar el proceso de compostaje, ya que la alta presencia de residuos de plásticos y gran tamaño de los materiales, retrasó el proceso y fomentó la formación de cúmulos dentro de la pila.
- b) Implementar un sistema de impermeabilización adicional a las zanjas construidas para las pilas de compostaje con la finalidad de reducir al mínimo las pérdidas de nutrientes por filtración de lixiviados al terreno.
- c) En la relación a la deficiencia de los parámetros fósforo y potasio, se sugiere adicionar productos que enriquezcan dichos parámetros como roca fosfórica o cáscara de plátano (debido a la presencia de árboles de plátano cercanos al área del proyecto) respectivamente.
- d) Realizar un proceso de escalamiento de la formula óptima de compost obtenido en la presente investigación con la finalidad de incrementar la cantidad de residuos tratados dentro del cementerio.
- e) Realizar pruebas en cultivo de plantas ornamentales ya que existe una agrupación de productores que ocupan parte de las instalaciones del cementerio lo que podría devenir en acuerdos de apoyo mutuo, con beneficios económicos y sociales.
- f) Evaluar dosis mayores de EMA a la óptima determinada (25% más de lo sugerido por el productor de EM), con la finalidad de evidenciar mejoras significativas en la calidad del compost final obtenido.

## CAPÍTULO 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, M. y Cabrera, C. (2006). Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 76 - 84.
- Álvarez de la Puente, J. M. (2007). *Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica*. Andalucía: Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. Recuperado el 5 de Febrero de 2017, de <http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/>
- Ansorena J., Batalla E. y Merino D. (2014). *Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos*. Recuperado el 9 de Abril de 2017, de Biblioteca de Horticultura: <http://publicaciones.poscosecha.com>
- APROLAB Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú. (2007). *Manual para la Producción de Compost con Microorganismos Eficaces*.
- BIOEM SAC. (2014). *BIOEM*. Recuperado el 6 de Febrero de 2017, de <http://www.bioem.com.pe/>
- Bongcam V.(2003). *Guía para Compostaje y Manejo de Suelos*. Bogotá: ISBN.
- Claver Gil J. y Sebastián Perez M.A. (2016). *El Proceso Analítico Jerárquico. Aplicación al estudio del patrimonio industrial inmueble*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Cordova Padilla, M. (2011). *Fomulación y Evaluación de Proyectos* (2da ed.). Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Dalzell, H. (1991). *Manejo del suelo, producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales* (Vol. 56). (FAO, Ed.) Roma, Italia.
- Decreto Supremo 044-2006-AG Reglamento Técnico para los Productos Orgánicos (Diario Oficial El Peruano 14 de Julio de 2006).
- Docampo, I. A. (2013). Compostaje y Compost. *Revista INIA*, 63-67.
- ECOREGA Ecogestión de los residuos orgánicos ganaderos. (2017). *Manual de Compostaje*. Recuperado el 7 de Agosto de 2017, de <http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuse>

action=home.showFile&rep=file&fil=ECOREGA\_Manual\_Compostaje.pdf

EEAITAJ Estación Experimental Agropecuaria para la Introducción de Tecnologías Apropriadas de Japón. (2013). *Tecnología de Microorganismos Eficaces para la Producción Agropecuaria y Medio Ambiente*. Recuperado el 14 de Junio de 2017, de <http://www.emuruguay.org/index.html>

EM Research Organization Inc., EMRO Costa Rica, FUNDASES, APNAN. (s.f.). *InfoAgro Costa Rica - Sistema de Información del Sistemas Agrario Costarricense*. Recuperado el 26 de Enero de 2017, de <http://www.infoagro.go.cr>

EMPROTEC EM Producción y Tecnología SA. (2013). *InfoAgro Costa Rica - Sistema de Información del Sistemas Agrario Costarricense*. (R. Tencio, Ed.) Recuperado el 26 de Enero de 2017, de <http://www.infoagro.go.cr>

García Céspedes D., Lima Carzola L., Ruiz Gutierrez L. y Calderón Peñalver P. (2014). *Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas*. Recuperado el 16 de Abril de 2017, de Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas Universidad Internacional de Ecuador: <http://ama.redciencia.cu>

Guerrero, J. y Monsalve, J. A. (2007). Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado. (U. T. Pereyra, Ed.) *Scientia et Technica*, XIII(34), 595-600.

Guerrero, J. y Monsalve, J. A. . (2006). Compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda. (U. T. Pereyra, Ed.) *Scientia Et Technica*, XII(32), 469-473.

Gutierrez L., V., y Realp C., E. (2012). *Guía para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos mediante Compostaje y Lombricultura*.

Dalzell, H.W., Biddlestone, A.J., Gray, K.R.y Thurairajan, K.. (1991). *Manejo del Suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura FAO.

INIA Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay. (2013). *Compostaje y Compost*. (I. A. Docampo, Ed.) Recuperado el 4 de Febrero de 2017, de [www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1839/1/128221231213112259.pdf](http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1839/1/128221231213112259.pdf)

- Jaramillo, G. y Zapata, L.M. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia*. Tesis de posgrado, Universidad de Antioquía, Antioquía, Colombia.
- Juárez, M. A. (2012). Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura. Piura, Perú.
- Kimura, R. y Guerrero, J. . (2009). Evaluación de los efectos del activador biológico Enzymplus en la elaboración de compost utilizando estiércol vacuno y ovino. *CIENTIFICA*, 6(3), 233-243.
- Ley N°29196 Ley de Promoción de la Producción Orgánica y Ecológica (Diario Oficial El Peruano 29 de Enero de 2008).
- Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (2017). Facultad de Agronomía Universidad Nacional Agraria la Molina. Análisis de Materia Orgánica Total.
- Margaría E. (2003). *Manual de Lombricultura*. Recuperado el 15 de Abril de 2017, de <http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/23521.html>
- Masaguer Rodriguez A. y Benito Capa M. (2007). Evaluación de la Calidad del Compost. En M. H. Editores Científicos: Moreno Casco J. (Ed.), *Compostaje*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Mendoza, M. (2012). *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura*. Tesis de pregrado, Universidad de Piura, Piura, Piura.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2012). *Guía para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos, mediante Compostaje y Lombricultura*. Bolivia. Recuperado el 3 de Febrero de 2017, de <http://www.mmaya.gob.bo/>
- Misra, R.V., Roy, R.N. e Hiraoka, H. (2003). *FAO CORPORATE DOCUMENT REPOSITORY*. (S. a. Group, Ed.) Recuperado el 11 de Febrero de 2017, de <http://www.fao.org/>
- NADF-020-AMBT-2011, Norma Ambiental para el Distrito Federal que establece los requerimientos mínimos para la preparación de composta (Gaceta Oficial del Distrito Federal, Mexico 30 de Noviembre de 2012).
- Navia Cuetia C., Zemantate Cordova Y., Morales Velasco S., Alonso Prado F. y Albán López N. (2013). *Evaluación de diferentes*

- formulaciones de compost a partir de residuos de cosecha de tomate.* Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad del Cauca, Colombia.
- NCh2880 Norma Oficial Chilena Compost Clasificación y Requisitos (Diario Oficial de la República de Chile 22 de Febrero de 2005).
- NMX-FF-109-SFCI-2008. Norma Mexicana, Humus de Lombriz (Lombricomposta) Especificaciones y Métodos de Prueba (Diario Oficial de la Federación, Mexico 10 de Junio de 2008).
- OEFA Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental Perú. Subdirección de Supervisión a Entidades de la Dirección de Supervisión. (2014). *Informe 2013-2014 Índice de Cumplimiento de los Municipios Provinciales a nivel nacional.* OEFA. Lima: Billy Victor Odiaga Franco.
- OEFA Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental Perú. Subdirección de Supervisión a Entidades de la Dirección de Supervisión. (2016). *Informe 2014-2015 Índice de Cumplimiento de los Municipios Provinciales a Nivel Nacional.* OEFA. Lima: IAKOB Comunicadores & Editores SAC.
- Portal Oficial de la Tecnología EM en Latinoamérica.* (2017). Recuperado el 1 de Febrero de 2017, de <http://www.em-la.com>
- Puente, J. M. (2007). *Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica.* Andalucía: Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Red Española de Compostaje. (2015). De Residuo a Recurso El Camino hacia la Sostenibilidad. *Ingeniería y Aspectos de la estabilización aeróbica.* (Vol. 2). Editores Científicos: Moreno J., Moral R., García J.L., Pascual J.A. y Bernal M.P. Madrid, España.
- Reika Kimura y J. Guerrero B. (2009). Evaluación de los efectos del activador biológico Enzymplus en la elaboración de compost utilizando estiércol vacuno y ovino. *CIENTIFICA, Volumen 6 N° 3,* 232-243.
- Restrepo R., J. (2001). *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares.* San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Román P., Martínez M. y Pantoja A. (2013). *Manual del Compostaje del Agricultor.* Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), Oficina Regional para América Latina y El Caribe. Santiago de Chile, Chile.

- Romero, A. S. (2008). ELABORACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y COMPARACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS A BASE DE EQUINAZA Y BOVINAZA. Santander, Colombia.
- SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Subsecretaría de Desarrollo Rural, Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. (2014). *SAGARPA - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. (L. Torres, Ed.) Recuperado el 3 de Febrero de 2017, de Fichas Técnicas sobre Actividades Agrícolas, Pecuarias y de Traspatio:  
<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Paginas/FichasTecnicasAgricolas.aspx>
- Sanchez M., Milanesi G. y Rivitti M.B. (2010). *Evaluación de Alternativas de Inversión utilizando el Proceso Jerárquico Analítico*. Recuperado el 05 de Junio de 2017, de [http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielò.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-20552010002200003&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielò.php?script=sci_arttext&pid=S1853-20552010002200003&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Sanchez, A. (2008). *Elaboración, caracterización y comparación de abonos orgánicos a base de equinaza y bovinaza*. Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Santander, Bucaramanga.
- Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo del Cabildo Insular de Tenerife, R. P. (2010). *Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional en pilas o montones*. (R. Palmero, Ed.) Recuperado el 4 de Febrero de 2017, de <http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2013/10/elaboracion-de-compost-con-restos-vegetales-1.pdf>
- Soliva M. y Lopez M. (2004). *Calidad del Compost: Influencias del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso*. Recuperado el 15 de Abril de 2017, de Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, UPC: <http://mie.esab.upc.es/>
- Torres, P. L. (2014). *SAGARPA - Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Recuperado el 10 Febrero de 2017, de Fichas Técnicas sobre Actividades Agrícolas, Pecuarias y de Traspatio: <http://www.sagarpa.gob.mx>
- Tortarolo, M.F., Pereda, M., Palma, M. & Arrigo, N. M. (2008). Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires*, 42-50.

Trinidad S., A. (2014). SAGARPA - *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Recuperado el 10 Febrero de 2017, de Fichas Técnicas sobre Actividades Agrícolas, Pecuarias y de Traspatio: <http://www.sagarpa.gob.mx>

Vicente J., Carrasco J.E. y Negro M.J. (1996). *El compostaje como tecnología para el tratamiento de residuos: compostaje de bagazo de sorgo dulce con diferentes fuentes nitrogenadas*. Instituto de Energías Renovables. Madrid: CIEMAT.

## **ANEXOS**

**Anexo 1. Matriz de consistencia**

**Anexo 2. Registro fotográfico**

**Anexo 3. Resultados de laboratorio UNALM**

## ANEXO N° 1 - MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGÍA	VARIABLES	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿La aplicación de microorganismos eficaces en el proceso de compostaje influenciará en la calidad de compost obtenido a partir de estiércol equino, restos vegetales de poda y arreglos florales del cementerio Santa Rosa de Lima?	<p><b>Objetivo General:</b> -Evaluar dosis de aplicación de microorganismos eficaces en el proceso de compostaje de estiércol equino, restos vegetales de poda y arreglos florales en el Cementerio Santa Rosa de Lima.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b> -Implementación y monitoreo de un sistema de pilas de compostaje compuesto de microorganismos eficaces, estiércol equino y restos vegetales de poda y arreglo floral. -Determinar la dosis óptima de microorganismos eficaces que permita obtener mejores rendimientos. -Analizar las características fisicoquímicas del compost obtenido.</p>	"Una dosis óptima de microorganismos eficaces aplicada determinará la calidad del compost producido a partir de estiércol equino, restos vegetales de poda y arreglos florales del cementerio Santa Rosa de Lima."	<p><b>Tipo:</b> En función al propósito de la investigación, naturaleza de la problemática y de los objetivos formulados, el presente estudio cumple las condiciones suficientes para ser calificado como una Investigación Analítico Experimental.</p> <p><b>Método:</b> Durante el proceso de investigación para demostrar y comprobar la hipótesis se aplicaran métodos cuantitativos.</p>	<p><b>Variable Dependiente:</b> Calidad de compost</p> <p><b>Variable Independiente:</b> Dosis de EM</p> <p><b>Y=F(x)</b></p> <p><b>Definición operacional:</b></p> <p><b>Y<sub>1</sub>:</b> Calidad de compost</p> <p><b>X<sub>1</sub>:</b> Dosis de EM.</p>	<p><b>Población:</b> La población corresponde al total de residuos de poda de áreas verdes y de arreglos florales generados en las instalaciones del cementerio Santa Rosa de Lima.</p> <p><b>Muestra:</b> La presente investigación abordará el tratamiento de una cantidad representativa (aproximadamente 10% del total de residuos de poda de áreas verdes y de arreglos florales generados en las instalaciones del cementerio Santa Rosa de Lima generada mensualmente).</p>

## ANEXO N°2 - REGISTRO FOTOGRAFICO



**Fotografía 1:** Determinación de la densidad de los materiales utilizados, mediante el uso del recipiente de 12 l y balanza romana.



**Fotografía 2:** Limpieza de maleza en el área de trabajo (antes, durante y después de dicha actividad).

## REGISTRO FOTOGRAFICO

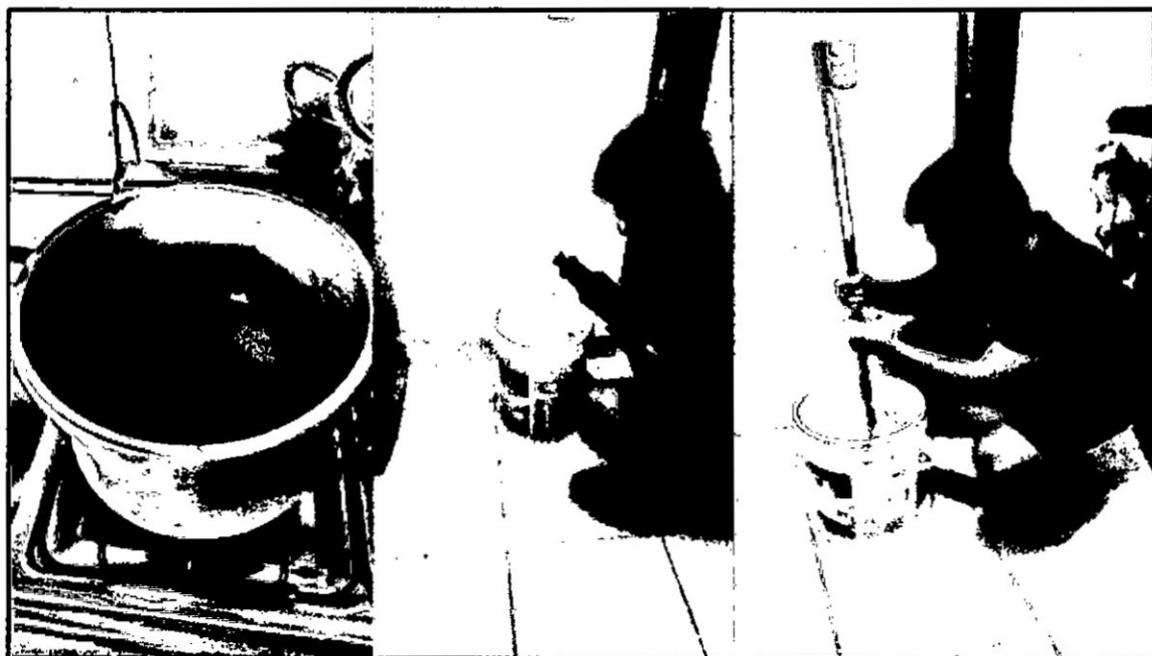


**Fotografía 3:** Instalación de las bases del sistema de recubrimiento compuesto de 6 maderas enterradas a 30 cm de profundidad.



**Fotografía 4:** Instalación del sistema de soporte de las bases (cuerda y estacas en función a la ubicación de las bases), así como el tendido y armado de la malla rachel.

**REGISTRO FOTOGRAFICO**



**Fotografía 5:** Disolución de la melaza mediante el calentamiento previo de 3 litros de agua para luego proceder a su mezcla homogénea.



**Fotografía 6:** Adición de 15 litros de agua fría para regular la temperatura de la mezcla para luego verter el contenido de EM (1 litro) agitándolo constantemente, para finalmente trasvasar el contenido en una galonera de 20 litros y dejar reposar 6 días para su correcta activación.

## REGISTRO FOTOGRAFICO



**Fotografía 7:** Se implementó 4 zanjas de 20 cm de profundidad que sirvieron como base para el armado de las pilas de compostaje.



**Fotografía 8:** Se procedió al armado de las pilas de compostaje mediante la aglomeración de los materiales dispuestos en capas con humedecimiento constante, para finalmente polvorear cal en toda la superficie.

**REGISTRO FOTOGRAFICO**



**Fotografía 9:** Dosificación de EMA durante la etapa de armado de pilas de compostaje y durante el proceso de volteo-humedecimiento respectivo, con la ayuda de una bomba de presión tipo mochila de 5 litros.



**Fotografía 10:** Realización de volteos progresivos (aireación) de las pilas de compostaje con la ayuda de un trinche y sacos.

## REGISTRO FOTOGRAFICO

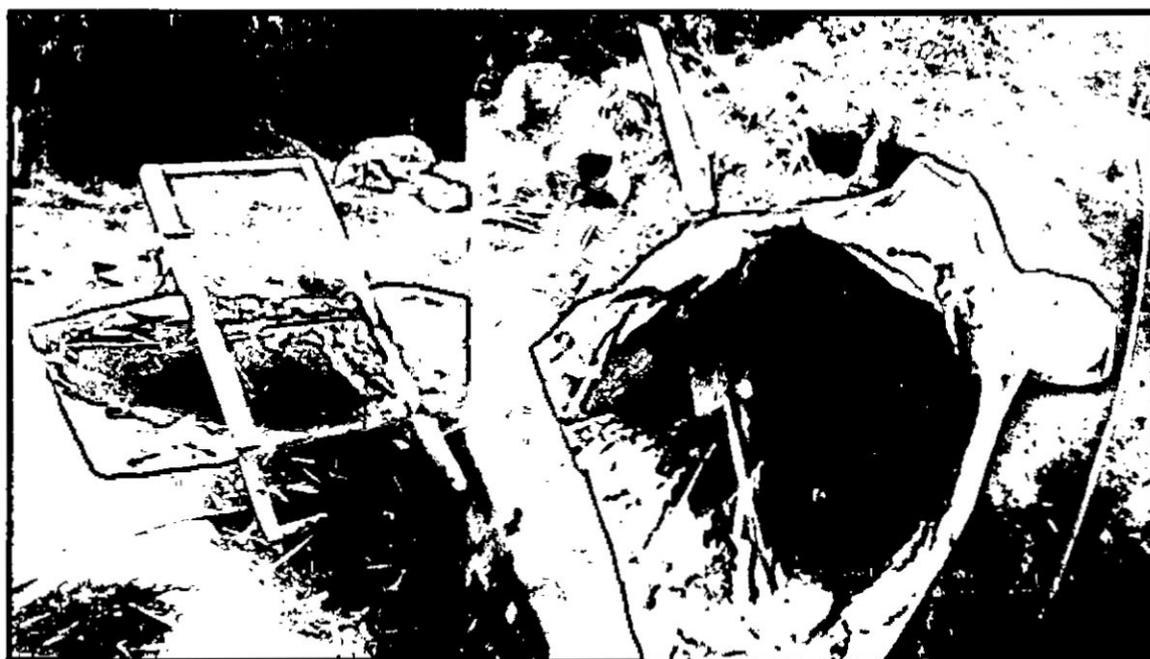


**Fotografía 11:** Realización de humedecimiento de las pilas de compostaje mediante la derivación del agua de bombeo desde una laguna cercana.



**Fotografía 12:** Armado del sistema de tamizado compuesto de un marco de madera de 1 metro de ancho por 2 metros de alto y una malla metálica de  $\frac{1}{2}$  pulgada de grilla.

## REGISTRO FOTOGRAFICO



**Fotografía 13:** Realización del tamizado del compost final obtenido mediante el paso del mismo a través de una malla metálica con el uso de trinche y lampa.



**Fotografía 14:** Generación de restos de poda como producto del mantenimiento de áreas verdes para su consecuente traslado hacia el área de almacenamiento.

**REGISTRO FOTOGRAFICO**



**Fotografía 15:** Pesaje de arreglos florales mediante el uso de balanza romana para la determinación de un peso promedio y posterior estimación de la generación mensual y anual.



**Fotografía 16:** Procedimiento de medición de temperatura que consta de: estimación de la distancia óptima de medición, introducción de la sonda de a la profundidad requerida y esperar la estabilización de la medición.

## ANEXO N° 3 - RESULTADOS DE LABORATORIO UNALM



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



### INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : ROSALYN GOZAR RAFAEL  
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ CHORRILLOS  
 MUESTRA DE : COMPOST  
 REFERENCIA : H.R. 59499  
 BOLETA : 547  
 FECHA : 20/07/17

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
482	P00	7.50	3.52	15.32	1.22	0.81	0.32
483	P01	7.51	3.01	19.2	0.64	0.78	0.32
484	P02	7.55	3.55	20.37	0.92	0.91	0.45
485	P03	7.37	4.10	24.42	1.55	0.87	0.37

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
482	P00	4.04	1.18	43.08	0.05
483	P01	3.48	1.19	42.16	0.06
484	P02	4.12	1.29	44.37	0.07
485	P03	3.88	1.12	40.31	0.06



*Sady García Bendoza*  
 Sady García Bendoza  
 Jefe de Laboratorio