

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“PRODUCCIÓN DE COMPOST CON  
MICROORGANISMOS EFICACES A PARTIR DE  
ESTIÉRCOL DE OVINO Y RESIDUOS SÓLIDOS  
ORGÁNICOS DOMICILIARIOS EN EL DISTRITO DE  
INGENIO, PROVINCIA HUANCAYO, REGIÓN JUNÍN”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
ALEXANDER ZACARÍAS PAPUICO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**HUANCAYO-PERÚ**

**2016**

**“PRODUCCIÓN DE COMPOST CON MICROORGANISMOS  
EFICACES A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE OVINO Y  
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS EN EL  
DISTRITO DE INGENIO, PROVINCIA HUANCAYO, REGIÓN  
JUNÍN”**

## **DEDICATORIA**

A Dios por guiarme el camino de la vida, a mis padres: Sindulfo y Olinda, mis hermanos, hermanas y demás seres queridos por su constante motivación y apoyo invaluable depositada en mi persona para el desarrollo y la culminación de la presente investigación.

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los amigos y profesionales, quienes con su apoyo hicieron posible la culminación de mis estudios, y especialmente a la Bióloga, Galia Manyari Cervantes, Ing. Johana Falcón Estrella por el apoyo brindada en la presente investigación.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	x
INDICE DE TABLAS	xi
INDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Caracterización de la Realidad Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	3
1.2.1. Problema General	3
1.2.2. Problemas Específicos	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Justificación	4
1.5. Importancia	5
1.6. Limitaciones	5

CAPÍTULO II	6
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1. Marco Referencial	6
2.1.1. Antecedentes de la Investigación	6
2.1.2. Referencias Históricas	9
2.2. Marco Legal	10
2.2.1. Ley General del Ambiente N° 28611	10
2.2.2. Ley General de Residuos Sólidos - LEY N° 27314	11
2.3. Marco Conceptual	11
2.4. Marco Teórico	14
2.4.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	14
2.4.2. Disposición y manejo	16
2.4.3. Clasificación de los residuos	17
2.4.4. Alternativas de Tratamiento de los Residuos Orgánicos	19
2.4.5. Los Residuos como Fuente de Alimento Animal	19
2.4.6. Los Residuos Orgánicos como Materia Prima para la Producción de Abonos Orgánicos	19
2.4.7. Abonos Orgánicos y Compostaje	21
2.4.8. Tipo y Acción de los Abonos Orgánicos	21
2.4.9. Parámetros Determinantes en el Compostaje	22
2.4.10. Otros parámetros de control y afectación del proceso	23
2.4.11. Sistemas Cerrados	26
2.4.12. Composta	29
2.4.13. Beneficios del Uso de la Composta	31

2.4.14.	El Proceso de Compostaje	32
2.4.15.	La Elaboración de la Composta	33
2.4.16.	Fases del proceso de compostaje	33
2.4.17.	Técnicas de compostaje	36
2.4.18.	Otros sistemas de compostaje	37
2.4.19.	Compostaje Aeróbico: Descripción General del Proceso	38
2.4.20.	Microorganismos del Proceso de Compostaje	42
2.4.21.	Variación Microbiana Durante el Proceso del Compostaje	43
2.4.22.	Variables físicas y químicas durante el proceso del compostaje	44
2.4.23.	Variables Relacionadas a la Naturaleza del Sustrato	47
2.4.24.	Calidad del Compostaje	48
2.4.25.	Indicadores de la Evolución del Compostaje	50
2.4.26.	Indicadores Físicos de los compost	51
2.4.27.	Indicadores Químicos de los Compost	53
2.4.28.	Indicadores Biológicos del compost	56
2.4.29.	Parámetros para los Productos Orgánicos usados como Abonos o Fertilizantes y Enmiendas de Suelo, según la Norma Técnica Colombiana 5167 (NTC 5167)	57
2.4.30.	Efecto de la Aplicación del Compost sobre las Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas del Suelo	59
2.4.31.	Beneficios del Abonamiento con EM-Compost	65
2.4.32.	Importancia de los Microorganismos Eficaces	66
2.4.33.	Principales Microorganismos en EM y su Acción	67
2.4.34.	Aplicaciones del EM (Microorganismos Eficaces)	69

CAPÍTULO III	71
3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	71
3.1. Metodología	71
3.1.1. Método	71
3.1.2. Tipo de la Investigación	81
3.1.3. Nivel de la Investigación	81
3.2. Diseño de la Investigación.	81
3.3. Hipótesis de la Investigación	82
3.3.1. Hipótesis General	82
3.3.2. Hipótesis Específicas	82
3.4. Variables	82
3.4.1. Variable Independiente	82
3.4.2. Variable Dependiente	82
3.5. Cobertura del Estudio	82
3.5.1. Universo	82
3.5.2. Población	83
3.5.3. Muestra	83
3.5.4. Muestreo	83
3.6. Técnicas e Instrumentos	83
3.6.1. Técnicas de la Investigación.	83
3.6.2. Instrumentos de la Investigación.	83
3.7. Procesamiento estadístico de la información.	83
3.7.1. Estadísticos.	83



3.7.2. Representación.	84
3.7.3. Técnica de comprobación de la hipótesis.	84
CAPITULO IV	85
4. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	85
4.1. Resultados	85
4.2. Discusión de resultado	92
4.3. Contrastación de la hipótesis	107
RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	114

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

MINAM	: Ministerio del Medio Ambiente.
DIGESA	: Dirección General de Salud.
RSM	: Residuos sólidos municipales.
M.E.	: Microorganismos eficaces.
T	: Temperatura
H	: Humedad
%	: porcentaje
RSU	: Residuos sólidos urbanos
MP	: materia prima
°C	: grados centígrados
C/N	: relación carbono y nitrógeno.
CO <sub>2</sub>	: dióxido de carbono
T	: tiempo
C.A.	: Compostaje aeróbico
INTEC	: Instituto Nacional Técnico
CE	: Conductividad Eléctrica
ES	: Elementos solubles
C.I.C.	: Capacidad de intercambio catiónico.
MINAGRI	: Ministerio de Agricultura y Riego.
Km	: Kilómetros
m	: metros
cm	: centímetros
h	: horas
DIRESA	: Dirección Regional de Salud.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de los Abonos Orgánicos. ....	22
Tabla 2.2. Relación de microorganismos, temperatura y tiempo de exposición necesarios para la destrucción de algunos patógenos y parásitos comunes durante el compostaje. ....	23
Tabla 2.3. Contenido de N, P y K en estiércol de distintos animales. ....	26
Tabla 2.4. Parámetros a caracterizar para producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores. ....	58
Tabla 2.5. Límites máximos en mg/Kg (ppm) de los metales pesados. ....	58
Tabla 2.6. Límites máximos permitidos para macro contaminantes presentes en productos sólidos. ....	58
Tabla 2.7. Principales diferencias entre la producción de compost con EM y el compost tradicional (Sin EM) ....	70
Tabla 4.1 Medición de la temperatura °C de compostaje. ....	85
Tabla 4.2 Medición de la humedad % de compostaje. ....	87
Tabla 4.3 Medición del pH del compostaje. ....	88
Tabla 4.4 Parámetros de Compostaje con M_1 y R_1. ....	90
Tabla 4.5 Parámetros de Compostaje con M_1 y R_2. ....	90
Tabla 4.6 Parámetros de Compostaje con M_1 y R_3. ....	91
Tabla 4.7 Parámetros de Compostaje con M_2 y R_1. ....	91
Tabla 4.8 Parámetros de Compostaje con M_2 y R_2. ....	92
Tabla 4.9 Parámetros de Compostaje con M_2 y R_3. ....	92
Tabla 4.10 Valores del pH por tratamiento. ....	94
Tabla 4.11 Valores de la Conductividad por tratamiento. ....	95
Tabla 4.12 Valores de materia orgánica por tratamiento. ....	96
Tabla 4.13 Valores de nitrógeno por tratamiento. ....	97
Tabla 4.14 Valores de fósforo por tratamiento. ....	98
Tabla 4.15 Valores de potasio por tratamiento. ....	99
Tabla 4.16 Valores de Calcio por tratamiento. ....	100

Tabla 4.17 Valores de magnesio por tratamiento.....	101
Tabla 4.18 Valores de sodio por tratamiento.....	102
Tabla 4.19 Valores de Humedad por tratamiento.....	103
Tabla 4.20 Valores de la relación de C/N por tratamiento.....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Flujo grama diferenciado del manejo integrado de residuos.....	
sólidos urbanos .....	16
Figura 2.2 Política de reducción, reusó y reciclado (Cordova).....	17
Figura 2.3 Etapas del Compostaje.....	28
Figura 2.4 Fases del proceso de compostaje.....	42
Figura 3.1 descargo de los residuos vegetales y estiércol de ovino. ....	73
Figura 3.2. Tratamiento del compost según diseño experimental .....	78
Figura 3.3. Riego de las composteras, con una regadera manual .....	79
Figura 3.4. Vista Panorámica de las pilas implementadas. ....	80
Figura 4.1. Medición de la temperatura en °C del compostaje.....	86
Figura 4.2. Medición de la humedad % del compostaje.....	87
Figura 4.3. Medición del pH del compostaje .....	89
Figura 4.4. Variación del pH en los Tratamientos .....	94
Figura 4.5. Variación de la conductividad eléctrica en los Tratamientos.....	95
Figura 4.6. Variación de la materia orgánica en los Tratamientos .....	97
Figura 4.7. Variación del nitrógeno en los Tratamientos .....	98
Figura 4.8. Variación del fosforo en los Tratamientos .....	99
Figura 4.9. Variación del potasio en los Tratamientos .....	100
Figura 4.10. Variación del Calcio en los Tratamientos .....	101
Figura 4.11. Variación del Magnesio en los Tratamientos .....	102
Figura 4.12. Variación del sodio en los Tratamientos .....	103
Figura 4.13. Variación de la humedad en los Tratamientos .....	104
Figura 4.14. Variación del sodio en los Tratamientos .....	106
Figura 4.15. Interval Plot of pH vs Tratamiento .....	108
Figura 4.16. Interval Plot of Humedad (%) vs Tratamiento .....	110

## RESUMEN

Este trabajo pretende el aprovechamiento de los desechos generados, apoyados en la normatividad existente, ya que sabemos que la importancia del aprovechamiento de los residuos orgánicos empieza a adquirir una mayor dimensión por el acelerado crecimiento urbanístico y la necesidad de reutilizar materias primas desechadas, por ende la producción de composta ha sido un proceso gradual iniciado en la década de los años setenta, no obstante su uso y comercialización en las zonas agrícolas de la región ha sido ineficiente y precariamente aprovechada. El distrito de Ingenio es una zona en donde la producción agrícola es la principal actividad económica, como consecuencia se tienen grandes cantidades de desechos orgánicos los cuales, carecen de un tratamiento eficiente para su disposición final y reutilización. El proceso productivo en la elaboración de la composta implica hacer un empleo de reciclamiento de desechos orgánicos, lo que abre el campo de investigación aplicada para la reutilización de los residuos orgánicos en la producción de compost haciendo el uso de estiércol de ovino y microorganismos eficaces con el fin de contribuir a la conservación del medio ambiente y a la configuración de actividades económicas sustentables.

En la presente investigación los microorganismos eficaces son elementales en la producción de compost como se pudo demostrar en los tratamientos que se inocularon 1 Litro, obteniéndose los parámetros dentro del rango para un compostaje de buena calidad, solo si son combinados con estiércol de ovino, caso contrario existe deficiencia en los parámetros de pH, C.E, MO, K<sub>2</sub>O y CaO que se encuentran fuera de los rangos según referencia. Las dosificaciones fueron 3 dosis, en relación al estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos de 50/50, 75/25 y 100/0 respectivamente, las dos primeras dosificaciones se obtuvieron los mejores resultados de los parámetros de la calidad del compost en comparación de la tercera dosificación que la mitad de los parámetros estudiados se encuentran fuera de los rangos, la dosificación más eficiente fue de 50/50 con 1 litro de microorganismos eficaces debido a que todos los parámetros medidos están dentro de los rangos de

una buena calidad de compost. Cuya composición óptima de compostaje a partir de los Microorganismos Eficaces, estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos fue de 8,5 de pH; 9,6 dS/m de C.E, 32,43 % de MO; 1,55 % de N; 2,4 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 1,18 % de K<sub>2</sub>O; 25,85 % de CaO; 0,88 % de MgO; 40,9% de humedad, 1,2 % de Na y 20,21 de C/N.

## ABSTRACT

This work aims the use of waste generated, supported by existing regulations, since we know that the importance of the use of organic waste begins to acquire a greater dimension by rapid urban growth and the need to reuse discarded materials, thus compost production has been a gradual process that began in the early seventies, despite its use and trade in agricultural areas of the region has been inefficient and poorly exploited. Ingenio district is an area where agricultural production is the main economic activity, as a consequence have large amounts of organic waste which lack an efficient treatment for disposal and reuse. The production process in the production of compost involves employment of recycling of organic waste, which opens the field of applied research to reuse organic waste in the production of compost making use of sheep manure and effective microorganisms in order to contribute to environmental conservation and sustainable economic activities setting.

In this research the effective microorganisms are elementary in the production of compost as could be demonstrated in the treatments inoculated 1 Kg obtaining parameters within the range for a compost of good quality only if they are combined with sheep manure otherwise there is deficiency in the parameters of pH, C.E., MO, K<sub>2</sub>O and CaO that are outside the ranges by reference. The dosages were 3 in relation to sheep manure and organic solid waste 50/50, 75/25 and 100/0 respectively, the first two dosages best results parameters compost quality were obtained compared to the third dosage half of the parameters studied are outside the ranges, the most efficient dosage was effective microorganisms 1Kg 50/50 because all measured parameters are within the range of good quality compost.

Composting whose optimal composition from the Effective Microorganisms, sheep manure and organic solid waste was 8,5 pH; 9,6 dS / m C.E, 32,43% of MO; 1,55% N; 2,4% of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 1.18% of K<sub>2</sub>O, 25,85% of CaO; 0,88% of MgO; 40,9% moisture, 1,2% Na and 20,21de C / N.



## INTRODUCCIÓN

A pesar de que los abonos orgánicos se han utilizado desde la antigüedad han sido reemplazados por fertilizantes sintéticos, pero con el auge de la agricultura biológica han vuelto a recobrar importancia. Sin embargo, en nuestro país han sido pocos los trabajos realizados que se han dado a conocer con referencia a este tema.

Teniendo en cuenta la crisis socioeconómica del país, especialmente por la que atraviesan los campesinos y los pequeños agricultores, ha surgido la idea de elaborar un abono orgánico con el fin de mejorar la calidad de vida de los mismos y de los consumidores; los primeros se verían beneficiados debido a que el abono a elaborar puede ser asequible gracias a su bajo costo, puesto que la materia prima a utilizar puede ser adquirida fácilmente. De un modo similar, los consumidores se ven favorecidos porque los productos a obtener serán libres de contaminantes, tendrán un menor precio y estarán constituidos por una cantidad considerable de nutrientes comparables con los fertilizantes químicos que tienen un alto contenido de estos.

La fabricación de un abono orgánico a base de estiércol, ha surgido de la necesidad de reemplazar los fertilizantes químicos, dado a que el uso desmedido de estos químicos en los últimos años en la agricultura han traído consigo la esterilización del suelo debido a la degradación exhaustiva y deficiencia de nutrientes tales como el nitrógeno, fósforo, potasio y calcio.

Una solución a esta problemática se da compostando el estiércol con otros desechos de material orgánico para obtener un abono de buena calidad rico en materia orgánica, de tal manera que por medio de la descomposición de ésta en el suelo se liberen poco a poco nutrientes que sean asimilables por las plantas; así mismo, las sustancias orgánicas encontradas en el abono mejorarán la estructura del suelo permitiendo su recuperación para cultivos posteriores.

Por tal motivo, el propósito de este trabajo de investigación es básicamente calcular la producción de compost con Microorganismos Eficaces (M.E.) a partir de estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos domiciliarios generados en el Distrito de Ingenio Huancayo.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Caracterización de la Realidad Problemática**

En la actualidad se estima que la producción total de residuos sólidos urbanos supera las 22 mil 475 toneladas diarias en el país, y sólo el 17 % de los residuos sólidos de la generación diaria es dispuesta en rellenos sanitarios. En consecuencia es previsible determinar que el 83 % de los residuos sólidos es destinado a lugares inadecuados, causando daño al ambiente y la salud humana, (Ministerio de Agricultura, 2015).

En la provincia de Huancayo se producen aproximadamente 349,37 Ton/día de residuos sólidos Municipales (RSM) y se considera que cerca del 60 % de Residuos Sólidos Municipales son materia fácilmente biodegradable (Ministerio de Agricultura, 2015). Siendo este el principal problema de la provincia de Huancayo, se declaró en emergencia sanitaria la ciudad de Huancayo por la carencia de infraestructuras sanitarias adecuadas para disposición final de los residuos sólidos (Ministerio de Agricultura, 2015), Según precisaron, en las zonas críticas además de arterias principales son las inmediaciones de los mercados Modelo y Ráez Patiño y estadio Huancayo, donde los cúmulos de basura son peligrosos focos infecciosos.

Se cuenta con el “Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Ingenio” realizado el 2014. La GPC estimada es de 0,375 Kg/hab./día, calculando que se genera 1,04 Ton. /día de residuos sólidos domiciliarios y 0,33 Ton. /día de residuos sólidos municipales no domiciliarios, haciendo un total de 1,37 Ton. /día de residuos sólidos municipales.

<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN PROYECTADA</b>	<b>GPC (Kg. /hab./día)</b>	<b>GENERACIÓN PROMEDIO (Kg. /día)</b>	<b>GENERACIÓN PROMEDIO (Tn. /día)</b>
2014	2760	0,375	1035	1,04

En el Distrito de Ingenio la acumulación de residuos se concentra en las vísceras de truchas, en los recreos campestres y granjas piscícolas, borde de la carretera, orillas del río Rangra, Chía, Achamayo, en predios vacíos sin amurallar todos al suelo descubierto.

El inadecuado recojo de los residuos, los mismos que son arrojados a los canales de agua y cauces de los ríos han ocasionado problemas de contaminación por la colmatación. El almacenamiento inadecuado de los residuos sólidos en recreos y piscigranjas ocasionan que la materia orgánica se descomponga generando olores desagradables en el ambiente, así como la presencia de los puntos críticos a cielo abierto, con emanación de gases contaminantes al ambiente por la descomposición de la materia orgánica.

Una de las alternativas que se presenta actualmente es la aplicación de Microorganismos Eficaces (E.M), que bien utilizados puede reducir no solo la contaminación del microambiente (control de malos olores, moscas), sino también mejorar la calidad de compost, acelerar la estabilización del proceso y disminuir el impacto ambiental causado por este tipo de explotaciones, pues los (E.M) es un inoculado constituido por la mezcla de varios microorganismos benéficos (levaduras, actinomicetos, bacterias ácido lácticas y fotosintéticas), que son mutuamente compatibles entre sí y coexisten en un cultivo líquido.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cuál es la calidad del compost elaborado con Microorganismos Eficaces (M.E.) a partir de la relación de estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el Distrito de Ingenio Huancayo?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cómo influye los microorganismos eficaces en la producción de compost a partir de la relación de estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos en el Distrito de Ingenio?
- ¿Cuál es la relación de la dosis, de estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos en el proceso de compostaje?
- ¿Cuál es la composición óptima de compostaje a partir de los Microorganismos Eficaces, estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos en el Distrito de Ingenio?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar la calidad del compost elaborado con Microorganismos Eficaces (M.E.) a partir de la relación de estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el Distrito de Ingenio Huancayo

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el efecto de los microorganismos eficaces en la producción de compost a partir de la relación de estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos en el Distrito de Ingenio.
- Hallar la relación de la dosis, de estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos en el proceso de compostaje.
- Determinar la composición óptima de compostaje a partir de los Microorganismos Eficaces, estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos en el Distrito de Ingenio.

#### **1.4. Justificación**

El empleo creciente de fertilizantes químicos en los cultivos hace que se detenga la actividad microbiana perjudicándose el nicho ecológico, los fertilizantes son utilizados principalmente para obtener mayores producciones y secundariamente para aumentar la calidad de cultivo. Este uso indiscriminado de estos fertilizantes sintéticos es factor principal de la contaminación del suelo, perjudicial para el micro fauna existente en el suelo.

El compostaje es una de las formas de tratamiento de residuos orgánicos, que tiene por finalidad convertir estos residuos en un producto beneficioso, aplicable a la tierra como abono orgánico sólido en el contenido nutricional de la especie cultivada. Se utiliza frecuentemente como mejorador del suelo en la agricultura, jardinería, huerto y obra pública. Al formarse el compost aeróbicamente, no se forma metano, ya que esto disuade a la formación de gases que contribuye a aumentar la temperatura de la tierra por el efecto invernadero; también se contribuye a reciclar al suelo la energía del sol convertida en materia orgánica. Ambos problemas podrían ser enfrentados por una tecnología que ha tenido un uso restringido a la agricultura orgánica, en los últimos años. El "compostaje" es definido como el proceso técnico utilizado para la obtención de compost, en el cual existe un control permanente de la descomposición microbiológica de los residuos orgánicos. La posibilidad de que el compost generado tenga propiedades de "abono orgánico", es decir, de mejorador en el contenido nutricional de la especie cultivada, aumenta su potencial y abre nuevas perspectivas de uso. Junto a sus propiedades agronómicas, el compost ayuda a mitigar grandes impactos ambientales de repercusión global, como el calentamiento global y es la opción más respetuosa con el medio si se compara con el vertido directo, la estabilización para vertido por tratamientos mecánico-biológicos o la incineración.

### **1.5. Importancia**

Actualmente estamos viendo la crisis más grande de todos los tiempos debido a la contaminación tanto al aire, agua y suelo. El tratamiento de los residuos sólidos orgánicos es una obligación inaplazable para todos los países latinoamericanos. Sin embargo, dadas las limitaciones económicas de la región es necesario buscar alternativas tecnológicas que garanticen su efectividad, sencillez, bajo costo que permita desarrollar una verdadera política de control de contaminación ambiental.

El presente trabajo de investigación tiene el propósito de aprovechar y revalorizar económicamente los residuos orgánicos urbanos generados por la población de Ingenio y convertirlos en insumos útiles para la recuperación de suelos agrícolas, a través de la adición de EM-COMPOST que aceleran el proceso de compostaje. Al realizar este tratamiento de la materia orgánica (compostaje) se contribuye en la disminución de los desechos domiciliarios orgánicos, se reduce la contaminación y se fomenta la producción.

### **1.6. Limitaciones**

No se cuenta con fuentes de información suficiente sobre los Microorganismos Eficaces de Compost, para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos, información de las plantas de tratamientos pilotos que se encuentra dentro de la provincia de Huancayo, para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos con Microorganismos Eficaces. En cuanto a las limitaciones metodológicas que se presentaran durante el desarrollo de la investigación, es el análisis de las muestras al realizar el proceso de degradación el cual varía con respecto al tiempo y el control de algunos indicadores. Se conoce muy poco sobre el uso de Microorganismos Eficaces en la región Junín.

Además no se cuenta con un laboratorio acreditado para realizar análisis de compost en la región Junín.

## **CAPÍTULO II**

### **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1. Marco Referencial**

##### **2.1.1. Antecedentes de la Investigación**

Según el trabajo de investigación el APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN COLOMBIA realizado por Liliana María Zapata Márquez donde expresa que los residuos sólidos orgánicos urbanos constituyen cerca del 70% del volumen total de desechos generados, por tal motivo es primordial buscar una salida integral que contribuya al manejo adecuado, potenciando los productos finales de éstos procesos y minimizando un gran número de impactos ambientales que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales. Este trabajo define cada uno de los tipos de aprovechamiento apoyados en la normatividad existente, Igualmente compila algunas experiencias a nivel mundial, regional y local, los impactos positivos y negativos y los costos para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos.

La importancia del aprovechamiento de los residuos orgánicos empieza a adquirir una mayor dimensión por el acelerado crecimiento urbanístico y la necesidad de reutilizar materias primas desechadas, lo que motivó a hacer una investigación documental cuyo tema central es el aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos en Colombia. En éste trabajo se agrupa la información más relevante a cerca del tema en los últimos 10 años, iniciando con la definición y clasificación de los residuos, pasando por la generación y tipos de aprovechamiento y finalizando con los costos operativos y ambientales.

El proceso de compostaje es la descomposición y estabilización de diversos residuos orgánicos, por la acción de diversas y sucesivas poblaciones de microorganismos benéficos que se desarrollan bajo condiciones controladas de aire, temperatura y humedad. Este bioproceso aeróbico permite obtener un producto final suficientemente estable para el almacenamiento e incorporación al suelo, sin efectos ambientales adversos (Alvarado, 2004). El producto orgánico resultante de la descomposición de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, bajo condiciones controladas, buena aireación, humedad, y que necesita por una fase de calor, se denomina compost (Moreno, 2008). El estudio se realizó en los meses de septiembre a diciembre del año 2006, en el Vivero Municipal de Quillacollo, tratándose a nivel experimental los residuos orgánicos procedentes del mercado y cementerio. Los tratamientos implementados fueron T1=activador TC (té de compost y fermento de estiércol), T2=activador BC (harina de hueso, torta de soya, salvado de arroz, melaza y biol), T3=activador LC (levadura y melaza), T4=activador EM (microorganismos efectivos), T5=Testigo 1 (estiércol de vaca), T6=Testigo 2 y T7=Testigo 3 (pila a la intemperie). Se evaluó durante 2,5 meses el proceso de compostaje y, al final de este período,



la calidad de los compost a través de parámetros químicos (%MO, %Nt, %Pt, %K y C/N). También se realizó un bioensayo con plantas de cebada, para evaluar la calidad integral de los compost, AZURDUY Y ORTUÑO (2006).

El proceso de compostaje es la descomposición y estabilización de diverso residuos orgánicos, por la acción de diversas y sucesivas poblaciones de microorganismos benéficos que se desarrollan bajo condiciones controladas de aire, temperatura y humedad. Este bioproceso aeróbico permite obtener un producto final suficientemente estable para el almacenamiento e incorporación al suelo, sin efectos ambientales adversos (Alvarado, 2004). Cuanto más pequeño sea el tamaño de la partícula del material orgánico, mayor será el área superficial disponible para el ataque de los microorganismos; sin embargo, partículas muy pequeñas se empaquetan entre sí disminuyendo los espacios para el movimiento del aire entre ellas (oxígeno y dióxido de carbono). Si el tamaño de partícula es muy grande, el área superficial se reduce haciendo que la reacción proceda lentamente o que incluso se detenga (Añaños et al., 2004).

En un proceso de biodegradación aerobia, como el compostaje, la aireación debe permitir el desarrollo de los microorganismos termofílicos y así garantizar una rápida descomposición, eliminación de hedor y estabilización de fracciones orgánicas remanentes (Salas et al., 1998). Los procesos anaeróbicos se consideran generalmente más lentos y menos eficientes que los aeróbicos (Rivero, 1999). En este estudio se evaluó el proceso de compostaje de gallinaza de aves de jaula y el Efecto de los Microorganismos Eficaces (EM) sobre la composición física y química del compost.

La metodología empleada considera un proceso aeróbico mediante la remoción del material mecánicamente, se tomaron las muestras semanales para la medición de la humedad y pH, al final del proceso se realizara análisis químico para determinar la calidad de producto.(Jose F. Uribe, Monica Estrada, Santiago Cordova, 2000).

### **2.1.2. Referencias Históricas**

A lo largo de la historia, el hombre ha sido acompañado del problema de los residuos sólidos, para afrontarlo se recurre a las técnicas de minimización de residuos, las cuales constan de tres fases: pre recogida, recogida y tratamiento. En cuanto a las técnicas que se utilizan tenemos: segregación en la fuente, reciclaje, incineración, compostaje y centros recolectores; todas estas son alternativas al relleno sanitario; sin embargo, es necesario la aplicación de políticas e instrumentos económicos para el desarrollo sostenible. (Berent & Vedoya, 2006)

(Ricaurte, 2005), quien estuvo en la India entre los años 1905 y 1934, practicó por primera vez el «método Indore», desarrolló la técnica de compostar, para el mejoramiento de los terrenos de cultivos e incrementar la producción en la región; concluyó que los residuos animales y plantas sanas que caen en el suelo mejoran la fertilidad de éste debido al abundante humus. Aprendió de los agricultores chinos la importancia de usar todos los residuos orgánicos para fortalecer las tierras.

(Birnbaum & Fogiel, 2004), en su tesis: Evaluación de la contaminación ambiental para la disposición final de los residuos sólidos: el relleno sanitario y la producción de compost, trata sobre los problemas de contaminación generados por un inadecuado manejo de los residuos sólidos y propone como alternativa el aprovechamiento

de los mismos en la producción de compost, abono obtenido mediante la fermentación aerobia de la materia orgánica.

(Cófrece León, 2007), un abono orgánico o compost es el producto de la transformación de residuos orgánicos en humus por restos orgánicos (bacterias, hongos, protozoarios, lombrices, etc.), la presencia de humus en el suelo cumple las siguientes funciones: provee elementos nutritivos, mejora la estructura la porosidad y retención de agua y aire en el suelo y aumenta la resistencia de las plantas a enfermedades.

(Graue, 2006), en su libro Cómo hacer un buen compost, ha realizado una recopilación de los diferentes sistemas para elaborar el compost. Además, describe los sistemas sencillos para elaborar pequeñas huertas, llegando hasta los balcones y terrazas del entorno urbano.

## **2.2. Marco Legal**

### **2.2.1. Ley General del Ambiente N° 28611**

- Artículo N° 1:

“Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes”.

- Artículo N° 67:

“Las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local priorizan medidas de saneamiento básico que incluyan... la disposición de excretas y de los residuos sólidos en las zonas urbanas y rurales, promoviendo la universalidad, calidad y continuidad de los servicios de saneamiento...”

### 2.2.2. Ley General de Residuos Sólidos - LEY N° 27314

#### - Artículo 4.- Lineamientos de política

Adoptar medidas de minimización de residuos sólidos, a través de la máxima reducción de sus volúmenes de generación y características de peligrosidad

Desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado.

Fomentar el reaprovechamiento de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y adecuada disposición final.

### 2.3. Marco Conceptual

**Abono orgánico:** Sustancia de origen natural procedente de los seres vivos, que aporta al suelo y las plantas nutrientes para su buen desarrollo.

**Acopio:** La acción tendiente a reunir residuos sólidos en un lugar determinado y apropiado para su recolección, tratamiento o disposición final.

**Agente biológico-infeccioso:** Cualquier microorganismo capaz de producir enfermedades cuando está presente en concentraciones suficientes (inóculo), en un ambiente propicio (supervivencia), en un hospedero susceptible y en presencia de una vía de entrada.

**Almacenamiento o almacenaje:** El depósito temporal de los residuos sólidos en contenedores previos a su recolección, tratamiento o disposición final.

**Basura:** Dos o más desperdicios que revueltos entre sí provocan contaminación, enfermedad, pérdida de recursos naturales.

**Basurero:** Sitio o terreno donde se disponen residuos sólidos, sin que se adopten medidas de protección del medio ambiente.

**Biogás:** El conjunto de gases generados por la descomposición microbiológica de la materia orgánica.

**Centro de acopio:** Lugar destinado a la recuperación y el almacenaje de materiales reciclables.

**Compost o abono orgánico:** Es el producto resultante del proceso de compostaje.

**Compostaje:** Es un proceso de reciclaje completo de la materia orgánica mediante el cual ésta es sometida a fermentación en estado sólido, controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura.

**Contaminación ambiental:** Introducir al medio cualquier factor que anule o disminuya la función biótica.

**Degradable:** Estructura o compuesto que puede ser descompuesto bajo ciertas condiciones ambientales (biodegradable involucra la acción de microorganismos, fotodegradable implica la acción de la luz).

**Desarrollo Sostenible:** Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad y manejo racional de los recursos naturales.

**Disposición Final:** La acción de depositar o confinar permanentemente residuos sólidos en sitios o instalaciones cuyas características prevean afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

**Emisión:** Sustancia en cualquier estado físico liberada de forma directa o indirecta al aire, agua, suelo o subsuelo.

**Material Recuperable:** Todo aquel material que puede utilizarse como materia prima y devolverse al flujo de materiales y cuyo procesamiento puede ser económicamente viable.

**Metano:** CH<sub>4</sub>. Componente, entre otros, del gas natural y del biogás. El gas natural es una de las fuentes fósiles de energía. El metano se forma en procesos de degradación anaeróbica, (en pantanos, en los rumiantes y en procesos

**Proceso de Degradación:** Proceso por el cual la materia orgánica contenida en la basura sufre reacciones químicas de descomposición (fermentación y oxidación) en las que intervienen microorganismos dando como resultado la reducción de la materia orgánica y produciendo malos olores.

**Proceso Productivo:** Conjunto de actividades relacionadas con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios.

**Reciclaje:** Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente. Según la complejidad del proceso que sufre el material o producto durante su reciclaje, se establecen dos tipos: directo, primario o simple; e indirecto, secundario o complejo.

**Recolección Selectiva:** Recogida de residuos separados y presentados aisladamente por su productor.

**Recolección:** La acción de recibir los residuos sólidos de sus generadores y trasladarlos a las instalaciones para su transferencia, tratamiento o disposición final.

**Reducción:** Las actividades de diseño, fabricación, compra o uso de materiales para reducir la cantidad de residuos sólidos que se generan.

**Residuos Sólidos Urbanos (RSU):** Son aquellos que se generan en los espacios urbanizados, como consecuencia de las actividades de consumo y gestión de actividades domésticas (viviendas), servicios (hostelería, hospitales, oficinas, mercados, etc.) y tráfico viario (papeleras y residuos viarios de pequeño y gran tamaño

**Residuos Vegetales:** Residuos de origen vegetal, procedentes de jardinería, poda de parques y jardines urbanos, limpieza de bosques, etc.

**Reúso:** Proceso que consiste en volver a usar los productos antes de ser descartados.

**Riesgo:** Probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo, en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares.

**Separación:** Segregación de las sustancias, materiales y residuos peligrosos de iguales características cuando presentan un riesgo.

**Tasa de reciclaje:** Relación porcentual entre el peso de los residuos sólidos recolectados para el reciclaje y el peso total de los residuos sólidos recolectados para su evacuación en vertederos e incineradoras.

**Tratamiento:** Conjunto de operaciones por las que se alteran las propiedades físicas o químicas de los residuos.

**Tratamiento biológico:** El tratamiento que se enfoca básicamente a los residuos orgánicos, como los alimentos o los residuos del jardín. Véase compostaje o lombricultura.

**Valorización:** Acción de aumentar el valor de un residuo. Los residuos se han de valorizar sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos o métodos que puedan causar perjuicios al medioambiente.

**Vector:** Cualquier insecto, artrópodo u otro animal capaz de transmitir enfermedades.

**Vertido:** Deposición de los residuos en un espacio y condiciones determinadas. Según la rigurosidad de las condiciones y el espacio de vertido, en relación con la contaminación producida, se establecen los tres tipos siguientes: v. controlado, v. incontrolado, v. semicontrolado.

## **2.4. Marco Teórico**

### **2.4.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)**

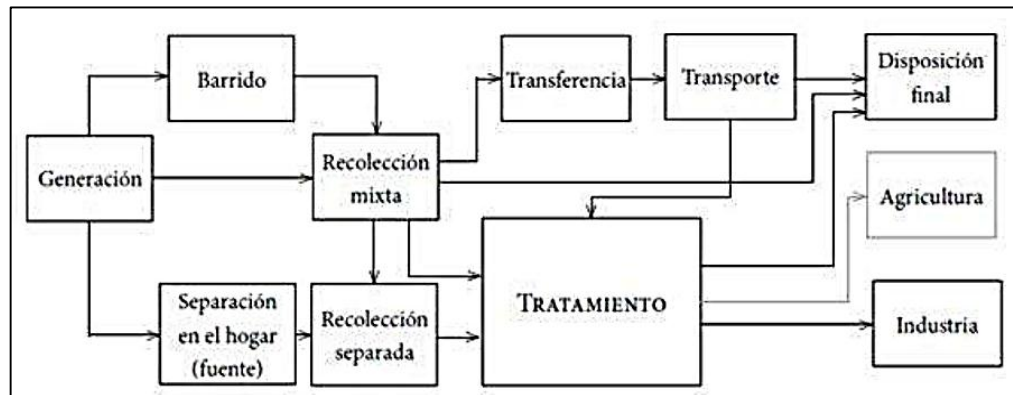
Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) al acumularse y no reincorporarse a la naturaleza en un corto o mediano plazo, generan contaminación. Ésta afecta al suelo, aire, ríos, lagos, mares, plantas, animales y a las personas.

Los problemas de salud pública causados por la acumulación de los RSU a cielo abierto son numerosos, sin mencionar las graves afectaciones al mismo ambiente. Los procesos de ordenamiento ecológico consistentemente identifican a los RSU como problemas ambientales a resolver, ya que no solo afectan a los asentamientos humanos en donde se generan, sino también a los ambientes rurales (tanto naturales como productivos) que los rodean (Rodríguez & Córdova, 2006)

La gestión de los residuos se realiza en tres dimensiones. La primera se refiere al manejo directo de los RSU e incluye generación, tratamiento en su origen, barrido, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final, estas acciones se pueden apreciar en la figura 1, en donde se muestra las diferentes etapas por las que los RSU deben de pasar a fin de reincorporarse ya sea en actividades económicas como la industria o la agricultura, o para su disposición adecuada y segura en relleno sanitario o incinerador. Esta dimensión es la más visible ya que, existen personas y equipo específicos para realizar las tareas asociadas. La segunda dimensión considera a todas las personas, instituciones y organizaciones que, sin ser las encargadas del manejo directo de los RSU, mantienen alguna relación con éstos. Por ejemplo, el proceso legislativo en torno a la creación de una ley estatal sobre residuos. La tercera dimensión de la gestión es el ambiente entorno a los RSU, que incluye a la sociedad (personas, instituciones y organizaciones) así como al ambiente natural (agua, aire, suelo y otros seres vivos).



Figura 2.1 Flujo grama diferenciado del manejo integrado de residuos sólidos urbanos

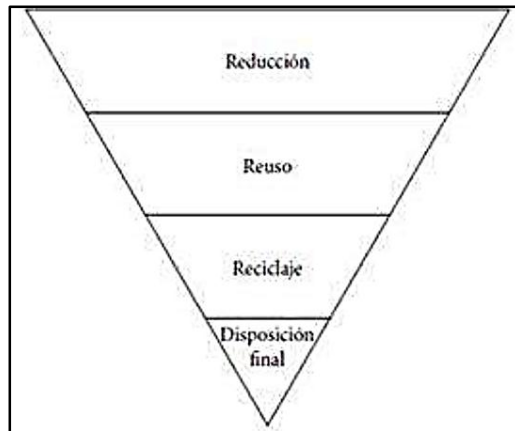


(Rodríguez & Córdova, 2006)

#### 2.4.2. Disposición y manejo

En el manejo tradicional de RSU generados, son recolectados e inmediatamente depositados en los rellenos sanitarios. En otros casos cuando el sistema resulta insuficiente, los RSU no se depositan en un lugar específico y, en cambio, se dispersan y se acumulan contaminando el ambiente. Esta forma de manejo ha causado severos impactos al ambiente social y natural, por lo que se han debido establecer regulaciones en torno al manejo de RSU. El principal elemento que se ha regulado en México, son los sitios de disposición final. Actualmente existen para ellos Normas Oficiales Mexicanas en las que se establece en detalle las características que deben cumplir estos sitios. Se establece que dado el crecimiento demográfico, la modificación de las actividades productivas y el incremento en la demanda de los servicios, han rebasado la capacidad del ambiente para asimilar la cantidad de residuos que genera la sociedad. Por esta razón es necesario contar con sistemas de manejo integral de residuos adecuados con la realidad de cada localidad ((NOM-083-SEMARNAT), 2003)

Figura 2.2 Política de reducción, reusó y reciclado (Córdova)



((NOM-083-SEMARNAT), 2003)

En la búsqueda de alternativas a la disposición final de RSU se ha planteado la política de las Tres-R (3R) que se muestra en la figura 2. Como primer paso se presenta la Reducción en la generación que, a través de un cambio en los patrones de fabricación y de consumo de los satisfactores humanos, disminuye la cantidad de los residuos generados. La segunda etapa es el Reúso que consiste en volver a usar un residuo para el mismo uso original o para otro uso. La siguiente etapa es el Reciclaje que se define como la transformación de un residuo en un nuevo satisfactor.

#### **2.4.3. Clasificación de los residuos**

La clasificación de los residuos admite varios enfoques y la consideración de distintos parámetros. Anteriormente se definieron tres tipos de conceptos haciendo referencia a la clasificación que establece la Ley de Residuos Sólidos. Sin embargo, el criterio aplicable para la clasificación estará sujeto a los objetivos planteados para cada situación en particular. Para realizar una clasificación adecuada es necesario considerar entre otros parámetros: origen o actividad, el grado de toxicidad y peligrosidad. Asimismo, tamaño,

naturaleza química de los materiales emisores y parámetros físico – químicos en general.

Toda clasificación tiende a simplificar la realidad, y no abarca todos los casos posibles que se generan por la heterogeneidad en la composición de la naturaleza química e interrelaciones directas e indirectas de las actividades generadoras. Realizada esta aclaración, aplicaremos como criterio de clasificación según, la naturaleza química de los materiales emisores y aquellas actividades que generan residuos con neto predominio de materiales orgánicos.

La clasificación por la naturaleza química permite establecer dos categorías de residuos: residuos inorgánicos o abiógenos y residuos orgánicos o biógenos (Tavera & Salinas, 2007). A continuación de presentan ambas clasificaciones:

#### **2.4.3.1. Residuos inorgánicos:**

Incluye todos aquellos residuos de origen mineral y sustancias o compuestos sintetizados por el hombre. Dentro de esta categoría se incluyen habitualmente metales, plásticos, vidrios, etc. Desechos provenientes de agro tóxicos, agroquímicos, fitosanitarios y agro veterinarios, son en su mayoría de origen sintético y con un gran efecto residual. Si bien estos residuos requieren un análisis particular y no son objeto de este trabajo, debe considerarse que éstos representan importantes insumos en los sectores productivos y su efecto residual puede modificar sustancialmente las características y propiedades de los residuos orgánicos. (Biernbaum & Fogiel, 2004)

#### **2.4.3.2. Residuos orgánicos:**

El contenido de humedad es otro parámetro a considerar en los residuos orgánicos. La humedad varía de un pequeño porcentaje, como en el caso de residuos de cosechas, hasta un 90% en el caso de lodos, aguas negras y otros desechos líquidos. El contenido en humedad, puede llegar a condicionar, las alternativas de tratamiento.

#### **2.4.4. Alternativas de Tratamiento de los Residuos Orgánicos**

El tratamiento de los residuos orgánicos busca que se dé una recuperación, a fin de que la reutilización del mismo sea factible. El reúso que se le puede dar a los desechos orgánicos, será aplicable a insumos útiles para los sectores productivos, En la medida que las alternativas surjan como consecuencia de un diagnóstico previo de la problemática ambiental existente de cada sector.

Las alternativas que se manejan con mayor frecuencia para la reutilización de los residuos orgánicos se pueden identificar en tres fuentes potenciales que tienen como base los desechos orgánicos, estas son:

- Fuente de alimento animal
- Fuente energética
- Fuente abonos

#### **2.4.5. Los Residuos como Fuente de Alimento Animal**

La utilización de los residuos orgánicos de la actividad agropecuaria como fuente de alimento animal, así como la aplicación directa en el suelo de los mismos como abonos, son quizás las alternativas de reutilización de mayor data histórica. La actividad agroindustrial genera una gran cantidad y diversidad de residuos susceptibles de ser transformados en forrajes y piensos para animales. Algunos residuos de la industria de frutas y legumbres, cereales, láctea y azucarera pueden ser utilizados en forma directa como alimento animal.

Otros, como es el caso de la melaza<sup>1</sup> se emplea para la preparación de ensilados (Berent & Vedoya, 2006)

#### **2.4.6. Los Residuos Orgánicos como Materia Prima para la Producción de Abonos Orgánicos**

Parece oportuno discutir algunas definiciones referentes a lo que se entiende por abonos, bioabonos o biofertilizantes. Entendemos genéricamente por abonos todas aquellas sustancias o compuestos

de origen abiógeno o biógeno que presentan alguna propiedad positiva para los suelos y cultivos. Por abonos minerales se entienden sustancias o compuestos químicos que pueden pertenecer al campo de la química inorgánica u orgánica. Son inorgánicos todos los abonos potásicos y fosfatados; entre los nitrogenados, algunos, como la urea y el amoníaco, pertenecen a la química orgánica.

Por contraposición, los abonos orgánicos o bioabonos, son aquellas sustancias o compuestos de origen biógeno vegetal o animal que pertenecen al campo de la química orgánica, y que son en general incorporados directamente al suelo sin tratamientos previos. La aplicación de estiércoles y purines es una práctica tradicional de abonado orgánico. En esta categoría se puede incluir los abonos verdes. Si bien potencialmente, la incorporación al suelo de residuos orgánicos puede llegar a tener algún efecto beneficioso sobre la estructura y fertilidad de los suelos, no en todos los casos esto se cumple e inclusive el efecto puede ser perjudicial. Cuando incorporamos residuos orgánicos frescos o en procesos incipientes de biodegradación al suelo, el orden natural, conlleva a que se cumplan los procesos de mineralización. Es frecuente, que para que esta serie de procesos se cumplan, se produzca un alto consumo de oxígeno e inclusive si los materiales aportados no tienen una buena relación carbono/nitrógeno se agoten inicialmente la reservas de nitrógeno del suelo. En algunos casos, se terminan favoreciendo los procesos anaerobios, con la consiguiente acidificación, movilización y pérdidas de nutrientes.

En resumen, los procesos de estas prácticas son incontrolables por lo que los resultados finales quedan en muchos casos librados al azar. Parece entonces razonable, que para aprovechar el potencial que los desechos orgánicos tienen como abonos, estos deben pasar por un proceso previo antes de su integración al suelo, de forma tal que, el

material que definitivamente se aporte, haya transcurrido por los procesos más enérgicos de la mineralización, se presente desde el punto de vista de la biodegradación de la forma más estable posible, y con los macro y micro nutrientes en las formas más asimilables posibles para los productores primarios (Sztern & Pravia, 2001).

#### **2.4.7. Abonos Orgánicos y Compostaje**

Aunque los abonos orgánicos no tienen resultados tan rápidos como los fertilizantes químicos en la agricultura, a largo plazo acrecientan la fertilidad de los suelos. Con la utilización de los abonos orgánicos se puede elevar el contenido de materia orgánica del suelo y mejorar su estructura, ya sea aumentando la compactación de los suelos arenosos o por el contrario disminuyendo la compactibilidad de los arcillosos. De esta forma, se acrecienta la capacidad de absorción de agua en las tierras, reteniéndose el agua útil para las plantas y facilitando la salida del agua en exceso, permitiendo así un mejor desarrollo de los sembradíos. (Nirenberg, 2005)

#### **2.4.8. Tipo y Acción de los Abonos Orgánicos**

En una descripción sobre abonos se consideraron cuatro tipos (estiércol, compost, purina y abono semilíquido), en el caso de estiércol se considera como un material más o menos desecho que puede obtenerse utilizando como cama algunos residuos vegetales distintos a la paja: aserrín, helechos, hojas, etc. El compost se considera como una mezcla de excrementos o estiércol con tierra y diversos residuos animales o vegetales tratados y mezclados.

En el caso del purín que es la orina más o menos fermentada y el abono semilíquido es considerado como la mezcla de orina y de excrementos con cantidades escasas de residuos vegetales de otra clase en distintos grados de fermentación.

En la actualidad, los abonos orgánicos se clasifican en:

Tabla 2.1. Clasificación de los Abonos Orgánicos.

Tipo de abono	Residuos	vegetal	Excretas de Animals
Materia prima	Cosecha, alcantarilla, post-extracción de aceite comestible y procesamiento de productos animales	excretas de animal en pastos, compost común y de setas, Abono verde	Bovino, porcino, Gallina y otros

(Graue, 2006)

El compostaje es un proceso de descomposición biológica de residuos orgánicos (estiércol, hojas) que son transformados en compuestos ricos en materia orgánica y minerales conocidos como compost o abonos orgánicos, cuando estos últimos son de buena calidad se caracterizan por tener una contextura de pasta color café oscuro, con un agradable olor a tierra mojada.

#### **2.4.9. Parámetros Determinantes en el Compostaje**

##### **2.4.9.1. La temperatura:**

El proceso de compostaje inicia con la etapa mesofílica con temperaturas que se encuentra en el rango de 25°C - 40°C; cuando la temperatura alcanza valores entre 45°C - 70°C la fase del proceso es termofílica. De estas dos fases la más determinante es la segunda, en la cual se destruyen organismos patógenos, huevos y larvas de insectos. Es necesario evitar valores superiores a 70°C porque se iniciaría un proceso de ignición en el que se empobrece la materia orgánica.

##### **2.4.9.2. La humedad:**

Al comenzar el proceso se necesita una humedad relativamente alta entre el 30 a 70%, ya que las poblaciones microbianas desarrolladas en los suelos requieren de agua para la formación de su biomasa.

Sin embargo, a medida que evoluciona la descomposición la humedad debe ser más baja.

#### 2.4.9.3. La aireación:

Para que el proceso se desarrolle en forma aeróbicas, los microorganismos deben disponer de oxígeno suficiente, esto puede lograrse con volteos.

#### 2.4.9.4. Los patógenos:

Son causantes de enfermedades y pueden pertenecer a cualquiera de las clases de microorganismos. (Bacterias, hongos, virus, rickettsias y protozoos). El diseño de un proceso de compostaje debe tener en cuenta la destrucción de patógenos, ya que la presencia de ellos afecta los cambios normales de temperatura.

Estos organismos prefieren temperaturas por debajo de los 42 °C; Cuando el proceso de compostaje funciona correctamente se pone de manifiesto que la mayoría de los organismos patógenos mueren cuando se exponen todas las partes de la pila a temperaturas de 55 °C.

Tabla 2.2. Relación de microorganismos, temperatura y tiempo de exposición necesarios para la destrucción de algunos patógenos y parásitos comunes durante el compostaje.

Micro-organismos	<i>Salmonera S</i>	<i>Shigella s</i>	<i>Escherichi a coli</i>	<i>Áscaris lumbricoides</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Leptospira philadelphia</i>	<i>Micro Bacterium tuberculosi</i>	<i>Streptococ pyogenes</i>
Observacio de superviv	Muerte dentro de una hora a 55 °C y dentro de 15 a 20 minutos a 60 °C	Muerte dentro de una hora a 55 °C	La mayoría muere dentro de 1 hora a 55°C	Mueren en men De 1 hora a T por encima de 50 °C	Destruido s a 49°C	2 días	14 días	Muere dentr minutos a 5

Fuente: adaptada de Luque, 1997 y Thobanoglous et al., 1994

#### 2.4.10. Otros parámetros de control y afectación del proceso

Los factores que afectan dicho proceso están íntimamente relacionados con parámetros como la naturaleza de los desechos



orgánicos y/o con sus condiciones de desarrollo de la población microbiana. Este último parámetro afecta al proceso porque durante la transformación de la materia orgánica los microorganismos requieren condiciones ambientales óptimas en cada una de sus fases. (Terra, 2003)

#### **2.4.10.1. Relación C / N**

La relación C/N es el factor ambiental más importante en un proceso de compostaje y debe controlarse para asegurar una fermentación correcta siendo este uno de los parámetros que mejor indica la maduración del compost. El proceso de compostaje depende de la acción de los microorganismos que requieren de una fuente de carbono que les proporcione energía y material para nuevas células junto a un suministro de nitrógeno para proteínas celulares.

Se considera que, si hay suficiente nitrógeno disponible en la materia orgánica original, la mayoría de los otros nutrientes estarán también disponibles en cantidades adecuadas.

La relación C/N inicial óptima está comprendida entre 25 y 30, y esta relación se hace cada vez menor con el tiempo de compostaje debido a la transformación de la materia orgánica y al desprendimiento de carbono en forma de CO<sub>2</sub>.

Si la relación C/N es muy baja se producen pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco, mientras que cuando los valores son muy elevados la disponibilidad del nitrógeno es baja, repercutiendo en un descenso de la actividad orgánica lo cual alargaría considerablemente el proceso de compostación. (legislatura., 2003)

#### **2.4.10.2. Microbiología del compostaje**

El proceso de compostaje está gobernado por la acción de microorganismos aerobios facultativos y obligados, mesófilos y termófilos, según la temperatura dominante. Hasta ahora, han sido estudiadas más de 70 especies de microorganismos destacándose los

grupos de, actinomicetos termófilos, bacterias mesófilas y termófilas, y hongos mesófilos y termófilos, degradando compuestos como hemicelulosa, celulosa, proteínas y carbohidratos las bacterias descomponen fundamentalmente los carbohidratos y las proteínas (10 % de la descomposición) mientras que los hongos y los actinomicetos (del 15 % - 30% de la descomposición) actúan preferencialmente sobre celulosas y hemicelulosas (Sztern & Pravia, 2001).

El número de microorganismos no debe ser un factor limitante para el proceso, ya que los organismos autóctonos se multiplican a gran velocidad. La naturaleza y número de microorganismos presentes en cada etapa dependen del material inicial, de las condiciones en las que se mantenga la masa a compostar y del sistema utilizado.

La pila de compost definitivamente es una interacción entre microorganismos y macroorganismos que efectúan su trabajo sobre los residuos compostables. Las bacterias y los hongos comienzan el proceso de descomposición de la materia orgánica, y a medida que avanza el proceso se unen los actinomicetos, y luego mirápodos, insectos y gusanos de tierra. Se han identificado otra serie de organismos de relativa importancia en el proceso, en especial en la etapa mesofílica, como protozoarios, nematodos, hormigas, lombrices y ácaros.

El compost contiene hasta al final de proceso de descomposición una enorme población de microorganismos y algunos macroorganismos.

Los macroorganismos son pequeños animales que habitan en proceso de compostaje, mediante el ataque físico sobre los desperdicios orgánicos, rompiéndolos en pequeños pedazos los cuales son rápidamente degradados por los microorganismos (Graue, 2006).

### 2.4.10.3. Estiércol

El estiércol está constituido por excrementos sólidos y líquidos de los animales, es rico en nutrientes y materia orgánica. La cantidad de nutrientes presentes en estiércoles dependen de la edad, la alimentación y la clase animales, en la Tabla 3 se muestran los contenidos de algunos nutrientes encontrados en distintos animales. La cantidad de potasio y fósforo presentes en el estiércol son asimilados eficazmente por las plantas; mientras el nitrógeno no se incorpora efectivamente, puesto que solo una fracción es soluble.

Tabla 2.3. Contenido de N, P y K en estiércol de distintos animales.

Estiércol	Nitrógeno (N)	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potasio (K <sub>2</sub> O)
	Kilogramos por cada tonelada de estiércol		
Caballo	6,7	2,3	7,2
Cerdo	4,5	2,0	6,0
Gallina	15,0	10,0	4,0
Oveja	8,2	2,1	8,4
Vaca	3,4	1,3	3,5

(Graue, 2006)

El valor de los estiércoles depende de los siguientes factores:

- Tipo de alimento consumido por el animal (los concentrados producen el estiércol más rico), Origen o procedencia del estiércol,
- Tiempo del estiércol (un estiércol viejo bien descompuesto contiene nutrientes más fácilmente utilizables que el estiércol recientemente hecho),
- El método de almacenamiento, el estiércol que se almacena debajo de un techo o pila en forma de cuenca colectada, pierde su valor.

### 2.4.11. Sistemas Cerrados

Son sistemas equipados que constan de partes diseñadas especialmente para reducir el tamaño de la materia prima y mezclarlas para el compostaje. A llevar a cabo. Entre estos tenemos:

#### 2.4.11.1. Reactores Verticales.

- **Continuos.** Aquí el material compostable se encuentra en masa única y se tiene control de la temperatura, aireación y características de los gases. El compostaje emplea un tiempo de dos semanas aproximadamente.
- **Discontinuos.** Reactores divididos en varios niveles de altura, donde la masa se voltea en la parte superior descendiendo al siguiente nivel según su madurez. El tiempo de fermentación es de una semana.

#### 2.4.11.2. Reactores horizontales.

- **Estáticos.** Tiempo de compostaje de 15 a 30 días. El producto requiere un compostaje posterior.
- **Dinámico.** Sistema cilíndrico rotatorio donde los residuos permanecen en el reactor de 24 a 36 horas. El material es compostado posteriormente en pilas o reactores.

La evolución del compostaje se da en cuatro etapas que siguen el orden: mesofílica, termofílica, de enfriamiento de maduración. En las fases mesofílica y termofílica se libera  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  disminuyendo el contenido de carbono en el compostable y aumentándose el porcentaje de minerales, aunque este último incremento se hace más elevado en la segunda etapa. En la primera fase los microorganismos mesófilos (bacterias y hongos) degradan azúcares, almidones y proteínas, obteniendo energía para multiplicarse y llevar a cabo su actividad descomponedora, calentando la materia compostable. En esta etapa mesofílica hay abundancia de nitrógeno  $\text{NH}_4$  que predomina sobre la forma  $\text{NO}_3$ .

En la fase termofílica la población microbiana (bacterias, Actinomicetos y hongos termofílicos) descomponen moléculas más difíciles como la celulosa, la hemicelulosa, la lignina, ceras, grasas, aceites y resinas; la actividad de los microorganismos es máxima,

elevándose la temperatura; sigue el dominio de (+-) (+)  $\text{NH}_4$  sobre la forma  $\text{NO}_3$ . Sin embargo, el nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4$ ) de la cadena proteína, aminoácidos, aminas, amonio puede perderse a la atmósfera antes de pasar a nitrógeno  $\text{NO}^-$ . En esta etapa hay formación de fitotoxinas, pero aun así es trascendente porque se eliminan organismos patógenos al hombre o a las plantas de los cultivos. (Berent & Vedoya, 2006).

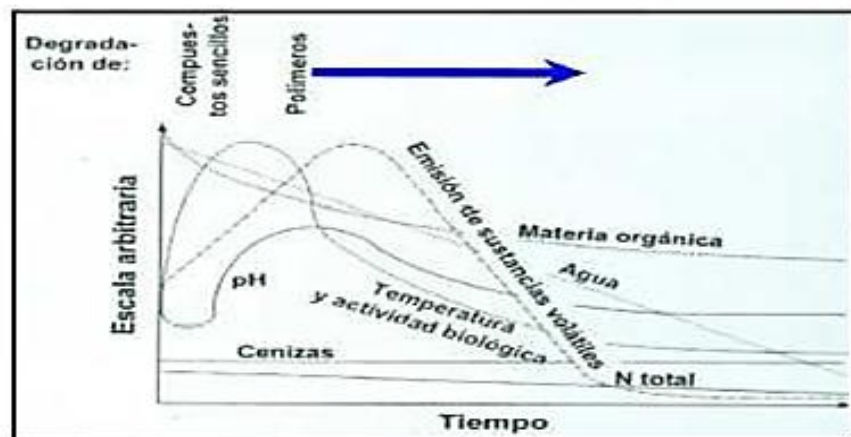
En la tercera etapa correspondiente al enfriamiento, se reduce la población microbiana y dominan las bacterias mesofílicas.

Se descomponen los materiales más resistentes y las fitotoxinas (como ácidos orgánicos ejemplo el acético). Prima la formación de nitratos sobre la forma amoniacal. Los nitratos y la abundancia de potasio en solución aumentan la salinidad. En esta fase el pH es cercano a 7.0.

La etapa final del proceso de compostaje es la de maduración, aumenta la porción mineral y nitratos, disminuye el contenido el porcentaje de carbono, se libera  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_4$ . Se aumenta la población de Actinomicetos, responsables del olor de tierra fresca.

El siguiente dibujo describe todo lo mencionado anteriormente en las etapas:

Figura 2.3 Etapas del Compostaje



(Birnbaum & Fogiel, 2004)

#### **2.4.12. Composta**

El desarrollo de técnicas para la elaboración de composta data de tiempos inmemoriales; en China se conocen técnicas desde hace más de 6000 años. Los residuos orgánicos (residuos de la cocina, paja, ramas, hojas, estiércol, etc.) son la materia prima para la producción de la composta que se puede producir a escala doméstica, agrícola, comercial y municipal. El proceso por el cual se elabora composta se ha denominado “compostaje”. Las tecnologías para el compostaje son variadas y los productos finales también varían en su composición, color, textura, etc., según los residuos y el proceso que les dio origen (Rodríguez & Córdova, 2006)

La producción y uso de la composta es una forma latente para comenzar y aprender cuestiones sobre el uso de materiales orgánicos reciclados para aumentar las propiedades fértiles del suelo.

La composta puede ser vista como un elemento fundamental que funja como la llave para lograr una agricultura ecológica. Producir composta de alta calidad como alternativa al manejo de los residuos sólidos, puede convertirse en un proceso sencillo, sin embargo, se requiere de un alto grado de compromiso y preparación. Compostar residuos de plantas, estiércol animal o restos de cosechas, puede ser una fuente estable de nutrimentos, libre de malezas y elementos patógenos. Aparte de ser utilizada en los suelos la composta se puede utilizar como un componente para macetas o contenedores de plantas; generándose de esta forma una nueva posibilidad para el destino final de la composta (Biernbaum & Fogiel, 2004).

##### **2.4.12.1. Concepto de Composta**

El compost o composta (a veces también se le llama abono orgánico) es el humus obtenido de manera natural por descomposición bioquímica al favorecer la fermentación aeróbica (con oxígeno) de residuos orgánicos como restos vegetales, animales, excrementos y

purines, por medio de la reproducción masiva de bacterias aeróbicas termófilas que están presentes en forma natural en cualquier lugar. Una segunda etapa de la fermentación, continúa con otras especies de bacterias, hongos y actinomicetos. Normalmente, se trata de evitar en lo posible la putrefacción de los residuos orgánicos que puede darse por exceso de agua, la cual impide la aireación-oxigenación y crea condiciones biológicas anaeróbicas y malolientes, aunque ciertos procesos industriales de compostaje usan la putrefacción por bacterias anaerobias (Graue, 2006)

La composta se usa en agricultura y jardinería como enmienda para el suelo, aunque también se usa en paisajismo<sup>2</sup>, control de la erosión, recubrimientos y recuperación de suelos. Al ser el compostaje un proceso de transformación de la parte orgánica de los RSU en un producto útil (la composta) y debido a que, de acuerdo a información estadística del INEGI en materia de generación de basura, la porción orgánica de los RSU en México es de aproximadamente el 50%, ésta transformación puede disminuir significativamente la cantidad de RSU que son generados y en parte son liberados al ambiente, o son confinados permanentemente en un tiradero municipal o algún relleno sanitario.

De esta manera, la producción de composta es una herramienta útil para cumplir dos objetivos principales: el primer objetivo se encuentra relacionado con la disposición final, ya que al ser menor el número de residuos expuestos al ambiente la cantidad de metano producida es menor. Recordemos que el metano es considerado un gas de efecto invernadero que propicia el calentamiento global, por lo que la disminución de emisiones de éste gas es indudablemente de gran ayuda para el ambiente. El segundo objetivo se refiere al mejoramiento del suelo, mediante la utilización de compostas, en la rama económica

de la agricultura, y en el mantenimiento de parques y jardines (Cófrece León, 2007).

#### **2.4.13. Beneficios del Uso de la Composta**

De acuerdo a (Rodríguez & Córdova, 2006) la composta es un mejorador de las características del suelo ya que:

1. Favorece la aireación y la retención de humedad. Junto con las arcillas fomenta la formación de agregados más estables. En suelos arenosos ayuda a la retención del agua.
2. Mejora la estructura del suelo. Por esta característica y porque permite la absorción del agua, es un agente preventivo de la erosión.
3. Favorece el almacenamiento de nutrimentos y su disponibilidad para los vegetales.
4. Provee un medio donde infinidad de microorganismos se desenvuelven; algunos procesan los residuos para convertirlos en humus y otros procesan el humus para aprovecharlo o generar alimento para otros. Es la “casa” del sistema vivo del suelo.
5. Favorece la absorción de los rayos solares debido a su color oscuro y, por tanto, el aumento de la temperatura del suelo en ciertas estaciones del año.
6. Reduce o elimina la necesidad de fertilizantes de síntesis química y modera la temperatura del sólido

Otros beneficios pueden ser apreciados en función de la contribución que tienen en otros aspectos como la lucha contra la contaminación (degrada sustancias tóxicas, retiene materiales pesados, limpia el aire contaminado), la restauración del paisaje (ayuda a la reforestación, restaurar hábitats naturales, recuperar espacios mineros y canteras, recuperar zonas húmedas dañadas, prevenir la erosión y las tormentas de polvo, reduce la producción de metano de los vertederos, reduce o transforma la materia orgánica y los lodos de las



depuradoras), ahorro de dinero (reduce la necesidad de agua, fertilizantes y plaguicidas, se puede comercializar como un producto, aporta riqueza a los suelos cultivables, alarga la vida de los vertederos reduciendo las aportaciones orgánicas, se puede utilizar para la restauración de suelos degradados) y control de patógenos (elimina los microorganismos y patógenos del ser humano, elimina las semillas de las malas hierbas, elimina los almacenes de patógenos y parásitos de los cultivos presentes en los restos vegetales) (Ministerio de Agricultura, 2015)

#### **2.4.14. El Proceso de Compostaje**

El compostaje es una opción que permite a las autoridades municipales la reducción de hasta un 50% en el peso de los residuos que vayan a ser depositados en el sitio de disposición final. El compostaje bien operado bajo criterios de eficiencia técnica y económica, puede representar un beneficio económico en el manejo integral de RSU (Rodríguez & Córdova, 2006). Si bien existen numerosas experiencias de compostaje a escala municipal en México, estas experiencias están marcadas por un número significativo de fracasos, y muchas de las plantas que operan actualmente lo hacen aún con dificultad debido a una serie de factores políticos, económicos, administrativos, técnicos y sociales.

En este sentido, un programa de compostaje no es sencillo ya que: requiere de una buena planeación, personal capacitado y recursos financieros suficientes para tener éxito.

Un programa de compostaje tiene un fundamento dentro de un marco normativo.

Los componentes básicos son la separación, la recolección, el tratamiento doméstico y en planta, así como la distribución y la utilización del producto. Los procesos articuladores a su vez son la

planeación, el financiamiento, la educación/capacitación, la difusión, la participación involucrada de actores y la evaluación.

#### **2.4.15. La Elaboración de la Composta**

La práctica del compostaje deriva probablemente del tradicional cúmulo de residuos en el medio rural, que se generaba en las tareas de limpieza y mantenimiento de viviendas e instalaciones. Los desechos de las actividades de granja, agropecuarias y domiciliarias se acopiaban por un tiempo a la intemperie con el objetivo de que redujeran su tamaño para luego ser esparcidos empleándolos como abonos (Rodríguez & Córdova, 2006)

En términos generales el Compostaje se puede definir como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica. En una pila de material en compostaje, si bien se dan procesos de fermentación en determinadas etapas y bajo ciertas condiciones, lo deseable es que prevalezcan los metabolismos respiratorios de tipo aerobio, tratando de minimizar los procesos fermentativos y las respiraciones anaerobias, ya que los productos finales de este tipo de metabolismo no son adecuados para su aplicación agronómica y conducen a la pérdida de nutrimentos. Lo importante no es biodegradar, sino poder conducir esta biodegradación por rutas metabólicas, que nos permitan la obtención de un producto final lo más apropiado posible y en el menor tiempo posible. El éxito de un proceso de compostaje, dependerá entonces de aplicar los conocimientos de la microbiología, manejando la pila de compost como un medio de cultivo (Ricaurte, 2005)

#### **2.4.16. Fases del proceso de compostaje**

En todo proceso de compostaje se pueden diferenciar por lo menos dos fases: la fase de descomposición y la fase de maduración (Soliva, 2001).

#### **2.4.16.1. Fase de descomposición**

La descomposición es un proceso de simplificación donde las moléculas complejas se degradan a moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas. Es un proceso exotérmico debido principalmente a la actividad biológica. La etapa de descomposición se compone de dos fases, una fase mesófila con temperaturas hasta los 45°C, y una fase termófila con temperaturas que pueden llegar a los 70°C.

Al principio del proceso, se desarrollan las familias de microorganismos mesófilos, que inician la descomposición de las moléculas más fácilmente degradables. Esta actividad de descomposición genera energía que se libera en forma de calor, y se traduce en un incremento paulatino de la temperatura. Al avanzar el proceso y variar las condiciones empiezan a aparecer los microorganismos termófilos, a la vez que van disminuyendo los mesófilos. Las sustancias fácilmente degradables como los azúcares, las grasas, el almidón y las proteínas, son rápidamente consumidas. Esta fase es muy importante, ya que, al alcanzarse temperaturas tan elevadas, se consigue uno de los objetivos principales del compostaje: eliminar los microorganismos patógenos y las semillas de malas hierbas, con lo que se asegura la higienización del producto final. La higienización tiene que conseguir tres objetivos: prevenir el crecimiento y la diseminación de patógenos, destruir los que hay presentes, y producir un producto final no recolonizable por patógenos. La fase termófila se caracteriza por un elevado consumo de oxígeno y la liberación de una gran cantidad de energía por parte de la población microbiana.

Las proteínas pasan a péptidos, aminoácidos y amoníaco y, progresivamente la mezcla se va alcalinizando. En función de las condiciones de temperatura, humedad y pH, el amoníaco estará en

equilibrio con el ión amonio. Para evitar posibles pérdidas de amoníaco, favorecidas por los volteos y las elevadas temperaturas que se alcanzan, conviene sobre todo en esta fase controlar las condiciones de proceso (Soliva, 2001).

La fase de descomposición, a escala industrial, puede durar de unas cuantas semanas a meses en función del tipo de residuo tratado y de las características del sistema aplicado. Es importante llevar a cabo esta fase en las condiciones adecuadas, ya que condiciona la fase de maduración, e influye en la calidad del producto final. Se han desarrollado muchas tecnologías para realizar la etapa de descomposición. De manera general los sistemas de compostaje se pueden dividir en:

- **dinámicos:** provistos de algún sistema de agitación del material a lo largo del proceso.
- **estáticos:** durante todo el proceso, el material permanece tal cual se dispone inicialmente, y no es agitado en ninguna ocasión.
- **intensivos:** permiten tratar un gran volumen de residuo ocupando poca superficie.
- **extensivos:** requieren de grandes extensiones de terreno.

#### **2.4.16.2. Fase de maduración**

Se compone también de dos fases, una fase de enfriamiento, con temperaturas que van desde los 40°C a temperatura ambiente, y una fase de estabilización, que se desarrolla a temperatura ambiente y que se caracteriza por una baja actividad microbiana y por la aparición de organismos superiores (Soliva, 2001).

La duración de la fase de maduración, que en escala industrial es de unas pocas semanas a unos cuantos meses, depende del tipo de material que se ha tratado, y de la destinación final del producto. Durante esta etapa se genera mucho menos calor y el pH se mantiene

ligeramente alcalino. En esta fase, los microorganismos mesófilos y algunos tipos de micro fauna colonizan el compost que está parcialmente maduro. Además, se genera una intensa competición por el alimento, la formación de antibióticos y la aparición de antagonismos, para finalmente obtener un producto más o menos estable según la duración de la fase.

Para llevar a cabo la fase de maduración en las plantas de compostaje no existen variantes como en el caso de la etapa de descomposición: la maduración suele llevarse a cabo en pilas o altiplanos. No es necesario un sistema de aireación, ni una elevada frecuencia de volteo, ya que la actividad biológica es mucho más reducida y los requerimientos de oxígeno son muy inferiores a los de la etapa de descomposición. Esto implica que las pilas de maduración pueden ser de mayores dimensiones que las de descomposición. Los requerimientos de espacio también son menores por la reducción en peso y volumen que se da en la etapa de descomposición (Junta de Residus, 1998).

#### **2.4.17. Técnicas de compostaje**

Uno de los métodos más utilizados para el compostaje es el aeróbico, esencialmente hay dos métodos para el compostaje aeróbico: Método activo o caliente en el que se controla la temperatura para permitir el desarrollo de las bacterias más activas, matar la mayoría de patógenos y gérmenes y así producir composta útil de forma rápida. Método pasivo o frío en el que no hay control de temperatura y los procesos son los naturales a temperatura ambiente.

La mayoría de plantas industriales y comerciales de compostaje utilizan procesos activos, porque garantizan productos de mejor calidad en el plazo menor. El mayor grado de control y, por tanto, la mayor calidad, suele conseguirse compostando en un recipiente

cerrado con un control y ajuste continuo de temperatura, flujo de aire y humedad, entre otros parámetros (Rodríguez & Córdova, 2006)

#### **2.4.18. Otros sistemas de compostaje**

Existen varios sistemas de compostaje, en el punto anterior se mencionaron dos en función del control de temperatura, sin embargo, existen varios sistemas con el mismo objetivo que es transformar los residuos en composta, conseguir las condiciones consideradas letales para patógenos, parásitos y elementos germinativos (semillas, esporas).

##### **2.4.18.1. Sistema en Camellones o Parvas**

Parvas, camellones o pilas es la denominación que se le da a la masa de residuos en compostaje cuando la misma presenta una morfología y dimensiones determinadas. De acuerdo al método de aireación utilizado, este sistema se subdivide además en *Sistema en Parvas o Camellones Móviles*, cuando la aireación y homogeneización se realiza por remoción y reconfiguración de las parvas y *Sistema de Camellones o Parvas Estáticas* cuando la aireación se realiza mediante instalaciones fijas, en las áreas o canchas de compostaje (Nirenberg, 2005), que permiten realizar una aireación forzada sin necesidad de movilizar las parvas.

##### **2.4.18.2. Sistema en Reactores**

Otros procesos de compostaje, no se basan en la conformación de parvas. Los residuos orgánicos son procesados en instalaciones que pueden ser estáticas o dinámicas, que se conocen como *Reactores*. Básicamente los reactores, son estructuras por lo general metálicas: cilíndricas o rectangulares, donde se mantienen controlados determinados parámetros (humedad, aireación), procurando que los mismos permanezcan en forma relativamente constante.

Los reactores móviles, además, posibilitan la mezcla continua de los desechos mediante dispositivos mecánicos, con lo que se logra un proceso homogéneo en toda la masa en compostaje.

Este tipo de sistemas, permite acelerar las etapas iniciales del proceso, denominadas incorrectamente “fermentación”. Finalizadas estas etapas activas biológicamente, el material es retirado del reactor y acopiado para que se cumpla la “maduración”. Los sistemas de compostaje en reactores son siempre sistemas industriales.

Se aplican en aquellas situaciones donde diariamente se reciben volúmenes importantes de desechos, y para los cuales sería necesario disponer de superficies muy extensas. Tal es el caso de las grandes plantas de tiraje y selección de Residuos Sólidos Urbanos, donde a partir de la fracción orgánica recuperada de este tipo de residuos se produce compost en forma industrial (Dickerson, 2001).

#### **2.4.19. Compostaje Aeróbico: Descripción General del Proceso**

Se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10 °C - 40°C) con etapas termogénicas (40 °C - 75°C), y con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente. Las elevadas temperaturas alcanzadas, son consecuencia de la relación superficie/volumen de las pilas o camellones y de la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso. Durante la evolución del proceso se produce una sucesión natural de poblaciones de microorganismos que difieren en sus características nutricionales (quimioheterotrofos y quimio autótrofos), entre los que se establecen efectos sin tróficos y nutrición cruzada.

Debemos distinguir en una pila o camellón dos regiones o zonas:

- La zona central o núcleo de compostaje, que es la que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes.

- La corteza o zona cortical que es la zona que rodea al núcleo y cuyo espesor dependerá de la compactación y textura de los materiales utilizados.

El núcleo actúa como zona inductora sobre la corteza. No obstante, todos los procesos que se dan en el núcleo, no alcanzan la totalidad del volumen de la corteza.

A los efectos prácticos y utilizando como criterio las temperaturas alcanzadas en el núcleo, podemos diferenciar las siguientes etapas:

#### **2.4.19.1. Etapa de Latencia**

Es la etapa inicial, considerada desde la conformación de la pila hasta que se constatan incrementos de temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial. Esta etapa, es notoria cuando el material ingresa fresco al compostaje. Si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida. La duración de esta etapa es muy variable, dependiendo de numerosos factores. Si son correctos: el balance C/N, el pH y la concentración parcial de Oxígeno, entonces la temperatura ambiente y fundamentalmente la carga de biomasa microbiana que contiene el material, son los dos factores que definen la duración de esta etapa. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12°C, en pilas adecuadamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 horas (Terra, 2003).

#### **2.4.19.2. Etapa Mesotérmica (10 °C - 40°C)**

En esta etapa, se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, en concomitancia con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica). Mientras se mantienen las condiciones de aerobiosis actúan Euactinomicetos (aerobios estrictos), de importancia por su capacidad de producir antibióticos. Se dan también procesos de nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de Azufre, Fósforo, etc. La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso, en áreas muy específicas de los



camellones de compostaje. La etapa mesotérmica es particularmente sensible al binomio óptimo humedad- aireación.

La actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura. La falta de disipación del calor produce un incremento aún mayor y favorece el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los residuos. La duración de esta etapa es variable, depende también de numerosos factores (Terra, 2003).

#### **2.4.19.3. Etapa Termogénica (40 °C - 75°C)**

La microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y Actinomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo sintróficas. Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables. Si la compactación y ventilación son adecuadas, se producen visibles emanaciones de vapor de agua. El CO<sub>2</sub> se produce en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la corteza. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos. La corteza y más en aquellos materiales ricos en proteínas, es una zona donde se produce la puesta de insectos. La concentración de CO<sub>2</sub> alcanzada resulta letal para las larvas. Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos intervinientes, entran en fase de muerte. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes (Baca , 2007).

#### **2.4.19.4. Etapa Mesotérmica**

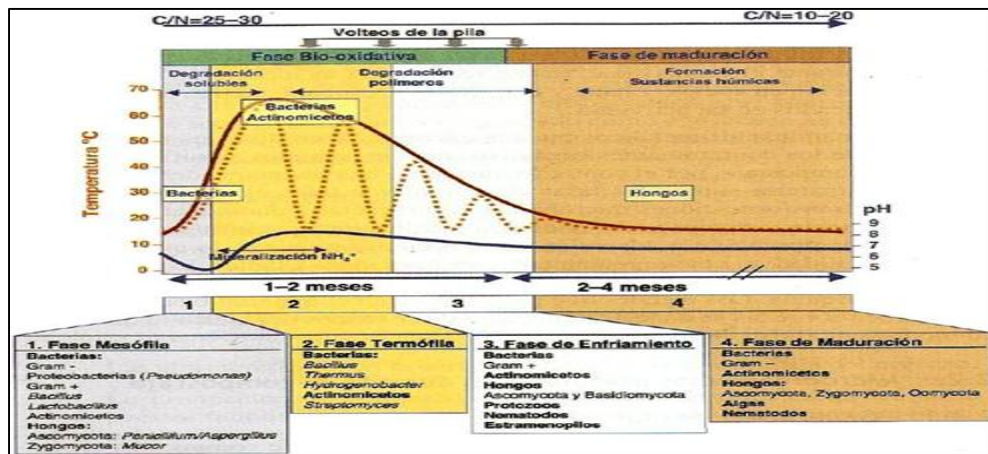
Con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40°C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales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

Esta etapa se la conoce generalmente como etapa de maduración. Su duración depende de numerosos factores. La temperatura descenderá paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente. En estos momentos se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso.

Las etapas mencionadas, no se cumplen en la totalidad de la masa en compostaje, es necesario, remover las pilas de material en proceso, de forma tal que el material que se presenta en la corteza, pase a formar parte del núcleo. Estas remociones y reconfiguraciones de las pilas se realizan en momentos puntuales del proceso, y permiten además airear el material, lo que provoca que la secuencia de etapas descrita se presente por lo general más de una vez.

Desde el punto de vista microbiológico la finalización del proceso de compostaje se tipifica por la ausencia de actividad metabólica. Las poblaciones microbianas se presentan en fase de muerte por agotamiento de nutrientes. Con frecuencia la muerte celular no va acompañada de lisis. La biomasa puede permanecer constante por un cierto período aun cuando la gran mayoría de la población se haya hecho no viable. Las características descritas, corresponden a un compost en condición de estabilidad. Esta condición se diagnostica a través de diversos parámetros. Algunos de ellos, se pueden determinar en campo (temperatura, color, olor), otras determinaciones se deben realizar en laboratorio (Tavera & Salinas, 2007).

Figura 2.4 Fases del proceso de compostaje



(Dickerson, 2001)

#### 2.4.20. Microorganismos del Proceso de Compostaje

El compostaje constituye un ecosistema de diversas poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos, donde la predominancia de estos depende de las condiciones ambientales y nutricionales del mismo. Las variaciones térmicas durante el compostaje permiten la sucesión de poblaciones microbianas, contribuyendo a eliminar microorganismos patógenos, y a modificar las propiedades fisicoquímicas de los sustratos.

Los microorganismos descomponedores de la materia orgánica los podemos clasificar de acuerdo a la forma de alimentarse (autótrofos, fotosintetizadores y heterótrofos), a la temperatura óptima de crecimiento (psicrófilos – entre 0 °C y 20 °C-, mesófilos – entre 20 °C y 45 °C-, y termófilos entre 45 °C y 80 °C.), al pH óptimo de desarrollo (acidófilos, neutrófilos y basófilos), al contacto y consumo del oxígeno (anaerobios, facultativos y aerobios) (Cófrece León, 2007).

Durante el proceso se produce una selección de microorganismos regida por la disponibilidad de los nutrientes y la temperatura, evolucionando desde el predominio inicial de las bacterias capaces de metabolizar compuestos orgánicos simples, hasta los que degradan

compuestos complejos como hongos y actinomicetos. En cada una de las etapas la temperatura determina la población específica de acuerdo a su tolerancia a dichos factores, es decir la biodiversidad decrece al aumentarla la temperatura (Cófrece León, 2007).

#### **2.4.21. Variación Microbiana Durante el Proceso del Compostaje**

En el compostaje se desarrollan una gran variedad de microorganismos aeróbicos mesófilos, termo tolerantes y termófilos que incluyen bacterias, actinomicetos, hongos y levaduras. Las bacterias alcanzan los mayores niveles en las fases mesófila y termófila inicial, aunque se detectan en todas las fases, decreciendo en la fase de maduración, los géneros bacterianos frecuentes en la mayoría de los procesos de compostaje son *Bacillus*, *Pseudomonas* y el actinomiceto *Streptomyces*. Los actinomicetos (bacterias filamentosas) se desarrollan más lentamente y tienen mayor capacidad para degradar compuestos orgánicos. Los actinomicetos junto a los hongos toman relevancia en el proceso cuando los nutrientes asimilables se han agotado, estos predominan en las fases de enfriamiento y maduración. Los hongos y levaduras más encontrados durante el proceso pertenecen a las clases *Ascomycetes*, *Zygomycetes*, *Basidiomycetes*, *Saccharomycetes* y *Ureidiomycetes*.

Los generos fúngicos más detectados son *Aspergillus* y *Penicillium*, seguidos por *Mucor* y *Chaetomium*. Las levaduras detectadas en compostajes corresponden a los generos *Candida*, *Rhodotorula*, *Kluyveromyces*, *Pichia*, *Torulopsis* y *Trichosporon* (Berent & Vedoya, 2006).

En la fase mesófila hay presencia de bacterias y hongos mesófilos y termo tolerantes, las bacterias con metabolismo oxidativo y fermentativo, son las que alcanzan mayores niveles en esta fase,

principalmente bacterias Gram-negativas y productoras de ácido láctico. La actividad metabólica aumenta rápido la temperatura 42 °C -45°C, iniciando la transición de microbiota mesófila a termófila. En esta termófila proliferan los microorganismos termo tolerantes y termófilos tales como actinomicetos (*Thermoactinomyces* sp.), diversos *Bacillus* spp. y bacterias Gram negativas como *Thermus* e *Hydrogenobacter*. Los hongos y las levaduras son reducidos desde el inicio de la fase, y son eliminados completamente a partir de los 60°C. Las bacterias que más abundan a temperaturas de 45°C a 50°C son las esporuladas como *Bacillus* spp. y los actinomicetos termo resistentes. Las bacterias no esporuladas *Hydrogenobacter* spp y *Thermus* spp. Y algunas esporuladas del genero *Bacillus* predominan a temperaturas de 70 °C a 82°C. La transición a la tercera fase inicia cuando la temperatura es elevada y la fuente de carbono disponible comienza a ser factor limitante (Ricaurte, 2005).

Las fases de enfriamiento y maduración están caracterizadas por el crecimiento de una nueva comunidad en la que predominan los hongos y actinomicetos capaces de degradar compuestos complejos. Conforme avanza la maduración la comunidad se hace más estable y compleja, apareciendo microorganismos típicos como *Arthrobacter*.

A la actividad de hongos y bacterias se les unen otros organismos como los protozoos, nematodos y miriápodos, que contribuyen a la degradación y estabilización final de la materia orgánica (Dickerson, 2001).

#### **2.4.22. Variables físicas y químicas durante el proceso del compostaje**

En el proceso de compostaje, los microorganismos son los responsables de la transformación del sustrato; por lo tanto, todos aquellos factores que puedan inhibir su crecimiento y desarrollo, tendrán también su efecto sobre el proceso.

Para que el compostaje se desarrolle adecuadamente es imprescindible un buen control de los parámetros determinantes, que son los siguientes:

#### **2.4.22.1. Humedad:**

Es uno de los principales parámetros a controlar, ya que cuando ésta es muy alta, el agua desplazaría al aire contenido en los espacios intersticiales dando lugar a reacciones de anaerobiosis, lo que además de reducir la velocidad del proceso, suele generar malos olores y pérdidas de nutrientes por lixiviación. Si la humedad es muy baja, disminuye la actividad microbiana, especialmente de las bacterias ya que los hongos pueden permanecer activos biológicamente (Sztern & Pravia, 2001).

Se consideran niveles óptimos de humedad del 40% al 60% y éstos dependen de los tipos de materiales a utilizar; La gestión biológica de los microorganismos requiere de agua para la formación de biomasa; se necesita una humedad alta al comienzo del proceso, al final la humedad deseada está alrededor del 35%. El contenido de agua, la actividad microbiana, el nivel de oxígeno y la temperatura son factores directamente relacionados con la humedad global del compostaje (Graue, 2006).

#### **2.4.22.2. Temperatura:**

Es uno de los factores que influye de forma crítica sobre la velocidad de descomposición de la materia orgánica durante el compostaje. Esta varía ampliamente a lo largo del compostaje, y resulta importante para el control de las poblaciones microbianas predominantes en las distintas fases del proceso. Un requisito importante es que en la fase termofílica se alcancen temperaturas altas (60 °C – 70 °C), capaces de reducir la población de microorganismos patógenos (higienización). Se evita superar los 70°C, porque se inhibe el desarrollo de gran parte de los

microorganismos o provoca la eliminación, con lo que se reduce la tasa de descomposición microbiana (Ricaurte, 2005).

#### **2.4.22.3. Aireación:**

Dado que el compostaje es un proceso de oxidación, resulta imprescindible la presencia de un nivel adecuado de aire y por tanto de oxígeno, para lo cual se recurre al volteo periódico o a la ventilación forzada de las pilas. Los microorganismos deben disponer de oxígeno suficiente para la realización del proceso aerobio, si se garantiza el oxígeno necesario, se puede obtener un compost rápido y de buena calidad, evitándose problemas de malos olores (Terra, 2003).

Cuando la aireación es insuficiente la fracción orgánica se descompone lentamente y de forma anaerobia, originando malos olores, menores temperaturas y un material de mala calidad. El consumo de Oxígeno está en relación directa con la actividad microbiana, por lo que la aireación debe incrementarse cuando la temperatura de la masa aumenta. El mayor consumo de Oxígeno coincide con temperaturas comprendidas entre 28 y 55°C (Nirenberg, 2005).

#### **2.4.22.4. pH:**

Este parámetro afecta a las reacciones enzimáticas, de ahí que sea también un indicador importante de la evolución del compostaje. Generalmente, el pH decrece al principio del proceso por la actividad de las bacterias acidificantes y lentamente va incrementándose. Las reacciones que más influyen en el pH son las de liberación de CO<sub>2</sub>, de ácidos orgánicos y de iones alcalinos. Las bacterias prefieren valores de pH entre 6 y 7.5, mientras que los hongos toleran un rango más amplio entre 5.5 y 8. Si el pH desciende de 6, la descomposición microbiana se detiene, valores cercanos o superiores a 9, favorecen la formación de amonio, afectando negativamente al crecimiento y actividad de los microorganismos (Sztern & Pravia, 2001).

## **2.4.23. Variables Relacionadas a la Naturaleza del Sustrato**

### **2.4.23.1. Relación C/N:**

Para un correcto compostaje donde se aprovechen la mayor parte del C y del N, la relación de debe ser adecuada. Los microorganismos utilizan 30 partes de C generalmente por cada una de N, se precisa que en la mezcla inicial este parámetro presente un valor entre 25 y 30 ((NOM-083-SEMARNAT), 2003).

Esta relación influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación C/N es mayor a 40 la actividad biológica disminuye, donde el exceso de carbono debe ser oxidado, si los productos a compostar tienen una la relación C/N baja, el compostaje se lleva a cabo con mayor rapidez, pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, lo que supone una pérdida de N que es el nutriente fundamental para los cultivos (Sztern & Pravia, 2001).

### **2.4.23.2. Tamaño de Partícula:**

Dado que la actividad microbiana se desarrolla principalmente en la superficie de las partículas, cuanto mayor es la superficie del sustrato mayor será la rapidez del ataque microbiano. No obstante, El tamaño de las partículas no debe ser ni muy fina ni muy gruesa; un tamaño muy fino de partícula no es conveniente debido a los riesgos de compactación del sustrato, lo que dificultaría una aireación adecuada. Si las partículas son muy grandes, mayores de 3 cm, la fermentación aeróbica tendrá lugar solamente en la superficie. Ambos casos se producirían fermentaciones anaerobias con malos olores.

Los tamaños de partículas considerados óptimos oscilan entre 1cm y 3 cm (Baca , 2007).

Otro factor a tomar en cuenta es la naturaleza química del sustrato y su nivel nutricional: las naturalezas de los compuestos estructurales influyen en la velocidad del proceso de degradación. Cuando



predominan los compuestos complejos (lignina, celulosa, grasas, etc.) la degradación de los residuos es mucho más lenta que cuando predominan los compuestos orgánicos de bajo peso molecular. Algunos de los nutrientes necesarios en mayor cantidad son el C, N, P y K. el carbono es utilizado como fuente de energía y junto al nitrógeno contribuyen en la síntesis de proteínas y al crecimiento microbiano. El fosforo y potasio son esenciales a nivel metabólico (Ramos , 2006).

#### **2.4.24. Calidad del Compostaje**

La calidad del compost viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características. Para su evaluación debe tenerse en cuenta: posible destino del producto, protección del entorno y requerimientos del mercado. Dentro de los niveles de calidad deberán establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado, pero siempre habrá unos mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Es necesario definir una calidad general del compost (de acuerdo con los representantes de los potenciales usuarios) y además establecer unos parámetros diferenciados para usos diversos, sin querer significar esta afirmación que los máximos permitidos de contaminantes se puedan sobrepasar según el destino. Los requerimientos de calidad deberán ir dirigidos a conseguir: aspecto y olores aceptables, higienización correcta, muy bajo nivel de impurezas y contaminantes, nivel bueno de componentes agrónomicamente útiles y una cierta constancia de características, por tanto debe hablarse de:

##### **2.4.24.1. Calidad Física:**

Granulometría, densidad aparente, porosidad, capacidad de retención de agua, humedad, presencia de partículas extrañas, olor, coloración.

#### **2.4.24.2. Calidad Química:**

En la que aparecen tres vertientes: contenido y estabilidad de la materia orgánica, contenido y velocidad de mineralización de los nutrientes vegetales que contenga y presencia de contaminantes inorgánicos u orgánicos.

#### **2.4.24.3. Calidad Biológica:**

Presencia de semillas de malas hierbas, patógenos primarios y secundarios. El control del rendimiento tiene relación con el desarrollo del proceso y permite valorar los costes y el interés de haber aplicado el tratamiento (Terra, 2003).

La evaluación de la calidad del compost se manifiesta a través de mediciones de indicadores específicos en momentos bien establecidos del proceso. La determinación del mayor número de indicadores (físicos, químicos, y biológicos) nos lleva a definir mejor la calidad del producto (Graue, 2006).

La calidad del compostaje parte de las características que resultan de aplicar un tratamiento respetuoso y acorde con una gestión racional de los residuos, que tiene como objetivo fabricar un producto de aplicación agrícola. Para que el compostaje llegue a ser una alternativa económicamente viable y poder alcanzar el beneficio ambiental, el compost deberá tener una calidad adecuada a su uso y unas características constantes en el tiempo. De los múltiples aspectos que afectan a la calidad del compost podemos destacar:

- El material inicial. La calidad inicial de los materiales utilizados nos determina la calidad del material final.
- El proceso de compostaje. Para conseguir una higienización del compost se requiere que el material a descomponer haya pasado por temperaturas mayores a 60°C durante cierto tiempo, de lo contrario encontraremos agentes patógenos en el producto final.

- El almacenamiento del producto final. En ocasiones el compostaje continúa el proceso luego de ser almacenado. La inestabilidad o inmadurez genera los malos olores producidos en el almacenamiento, ya que éstos compost inmaduros continúan el proceso de descomposición pero si no hay un adecuado suministro de aire, las condiciones anaerobias llevan a la producción de metano (Rodríguez & Córdova, 2006).

#### **2.4.25. Indicadores de la Evolución del Compostaje**

La evolución del proceso del compostaje se puede realizar a través de mediciones de indicadores establecidos (Graue, 2006), como:

##### **2.4.25.1. Contenido de Humedad:**

La medición se debe realizar al iniciar el proceso y periódicamente de 1 a 2 semanas, o cada vez que se realice el volteo de la pila. El nivel de humedad de las pilas debe oscilar entre 40 a 60% y se puede controlar fácilmente apretando una muestra de compost en las manos; no debe caer agua a lo más 1 o 2 gotas.

##### **2.4.25.2. Carbono Total, Nitrógeno Total y la Relación C/N:**

Para poder establecer la relación C/N es necesario primero analizar separadamente la magnitud presente de cada elemento en una muestra. La medición de este parámetro debe efectuarse al inicio del proceso y al producto terminado. La relación que deberían reflejarse al final del proceso es de 19:1.

##### **2.4.25.3. pH:**

Este parámetro debe ser medido con pH-metro durante todo el proceso. Los valores normales al final del proceso deben fluctuar entre 7 a 8.

##### **2.4.25.4. Contenido de Metales Pesados:**

La toxicidad por metales pesados es el factor limitante en el uso agrícola por sus efectos negativos a largo plazo.

Los metales pesados más comunes son el Cobre, Zinc (necesarios como micronutrientes en las plantas), Cadmio, Plomo, Cromo, Níquel, Mercurio y Cobalto. La medición debe realizarse al producto final.

#### **2.4.25.5. Presencia de Organismos patógenos:**

Esta valoración debe realizarse al producto final para comprobar que puede ser aplicado sin riesgo en procesos agrícolas. La presencia de organismos patógenos se presenta en el compost de mala calidad como consecuencia de una excesiva aireación lo que conduce a reducir la temperatura. Los microorganismos que indican la presencia de patógenos son las bacterias coliformes.

#### **2.4.25.6. Contenido de Macronutrientes:**

Verificar el contenido de macronutrientes  $N_2$ ,  $P_2O_5$  y KOH al final del proceso, sobre todo cuando el destino final del producto es para uso agrícola. Se realiza un estudio bromatológico del producto, el cual nos brinda el contenido de nutrientes presentes en el compost.

#### **2.4.25.7. Temperaturas en el proceso:**

La medición de este variable se hace desde el inicio y durante el tiempo de compostaje especialmente al momento de los volteos o, por lo menos una vez por semana. La temperatura durante el proceso debería fluctuar entre  $55^{\circ}C$  a  $70^{\circ}C$  durante el proceso.

#### **2.4.25.8. Nitrógeno, Fósforo y Potasio Disponible:**

Se deben realizar mediciones en laboratorio de estos elementos, sobre todo si el producto está destinado como fertilizante en actividades de tipo agrícolas.

### **2.4.26. Indicadores Físicos de los compost**

#### **2.4.26.1. Humedad**

El contenido de humedad es función de su naturaleza, del proceso y de las condiciones de almacenamiento. La humedad debe oscilar entre 35% - 45%, los compost con humedad por debajo de 35%

pueden haber quedado inestables, y aquellos con menos del 30% de humedad se pulverizan y son de manejo desagradable (Terra, 2003)

#### **2.4.26.2. Densidad Aparente**

La mayoría de los compost presentan una relación entre el peso del material y el volumen de 400Kg a 700 Kg por metro cubico. La densidad se ve afectada por la humedad del producto, por el tamaño de partícula, el contenido en materia orgánica y su grado de descomposición. La densidad aumenta con el tiempo de compostaje (Dickerson, 2001).

#### **2.4.26.3. Granulometría y Porosidad**

La granulometría o distribución porcentual del tamaño de las partículas es de utilidad para conocer el grado de descomposición del material y determinar sus posibles usos. Un nivel adecuado de porosidad se presenta cuando la textura del sustrato es media a gruesa, equivalente a una distribución de partícula entre 0,25 y 2,5 mm, lo que implica una retención suficiente de agua y un adecuado contenido de aire. La porosidad o el espacio poroso total es el volumen total del material no ocupado por partículas orgánicas. Un nivel adecuado de porosidad es el que está por encima del 80% ((NOM-083-SEMARNAT), 2003).

#### **2.4.26.4. Olor**

Es una medida subjetiva pero a pesar de esto la presencia de olores desagradables puede indicar que el proceso está en fase inicial donde hay malos olores por la descomposición de ácidos orgánicos, o que ha sufrido procesos anaerobios que producen amoníaco y ácido sulfhídrico ocasionando los malos olores (Rodríguez & Córdova, 2006)

#### **2.4.26.5. Color**

El color está relacionado con el grado de descomposición de los materiales a compostar, el producto final tiene un color marrón oscuro, casi negro. El color final depende del material inicial, si es procedente

de materiales verdes tiene un color negro oscuro, pero si procede de estiércoles son generalmente marrones (Rodríguez & Córdova, 2006)

#### **2.4.27. Indicadores Químicos de los Compost**

##### **2.4.27.1. pH**

Considerado como indicador de la evolución del compostaje. Durante el proceso el pH desciende inicialmente como consecuencia de la formación de ácidos orgánicos, a medida que el proceso avanza el valor del pH aumenta hasta valores entre 6,5 y 8,5. El pH tiene influencia directa sobre la disposición de los nutrientes, y además influye en el valor de la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. Los valores adecuados de pH deben estar próximos a la neutralidad o ligeramente ácidos (Graue, 2006).

##### **2.4.27.2. Conductividad Eléctrica (CE) y Elementos Solubles**

La conductividad eléctrica es un indicador de la presencia de sales solubles en el compost, los altos niveles de sales pueden repercutir sobre la germinación de semillas y en el desarrollo general del cultivo, dependiendo de la tolerancia de los cultivos y del tipo de suelo hacer fertilizado. Para el caso de sustratos para cultivos debe manejarse un nivel de salinidad bajo (Rodríguez & Córdova, 2006).

##### **2.4.27.3. Contenido de Carbono Orgánico Total y Relación C/N**

La concentración de carbono orgánico total es un indicador de su concentración en materia orgánica y por tanto un índice de calidad. La relación C/N se usa tradicionalmente como indicador de la madurez y estabilidad de la materia orgánica. Una mala relación repercute sobre la movilidad del nitrógeno y la baja disponibilidad de oxígeno (Terra, 2003).

##### **2.4.27.4. Capacidad de Intercambio Catiónico**

El valor de la (CIC), se define como la suma de cationes que pueden ser absorbidos por unidad de peso del compost, refleja los cationes

que están disponibles para las plantas y que no son lixiviados. Estas cargas variables dependen del pH, por ende, cuando aumenta el pH aumenta la capacidad de intercambio catiónico. La CIC aumenta generalmente con el paso del proceso de compostaje, debido no solo a la acumulación de materiales de carga negativa, sino también por el aumento de grupos fenólicos y carboxílicos (Rodríguez & Córdova, 2006).

#### **2.4.27.5. Nitrógeno Total**

El contenido total de N es función directa de los materiales a compostar, del proceso y de las condiciones de maduración y almacenaje. El N es esencial para la planta, y como es un elemento con un gran número de formas con impacto ambiental, es necesario conocer su contenido para poder realizar una correcta dosificación. Varias de ellas son gaseosas y su emisión colabora al efecto invernadero y a la formación de lluvias ácidas. Otras especies son iones móviles que afectan directamente a la calidad del suelo.

La forma y calidad del N presente en formas inorgánicas puede ser buenos indicadores de la madurez de un compost (Cofre León, 2007).

#### **2.4.27.6. Elementos Tóxicos**

Son aquellos elementos químicos, metales y metaloides, que diversas actividades han incorporado al ambiente. Algunos son esenciales para diversas especies, pero también tóxicos cuando se hallan en concentraciones elevadas; otras siempre presentan toxicidad. La presencia de metales pesados en el compost es totalmente inerte a los residuos empleados para la elaboración. La mayoría de los contaminantes orgánicos intervienen en procesos bioquímicos y fisiológicos comunes a una serie de organismos. De esta manera se convierten en contaminantes de alto riesgo incluso a bajas temperaturas (Graue, 2006).

Si un compost contiene metales pesados, aunque una buena parte no sea asimilable por la planta rápidamente, quedarán en el suelo acumulados y cuando varíen las condiciones (pH, presencia de sustancias complejantes, CIC,) pueden pasar a disposición de las plantas o y contaminar los acuíferos. Estas sustancias, en elevadas concentraciones, pueden generar efectos perjudiciales en el desarrollo de las plantas, inhibiendo la germinación de semillas o el crecimiento de raíces por lo que es altamente riesgosa su utilización en cultivos. Por estos motivos se considera necesario conocer el contenido total de metales que puede determinarse a partir de la disolución ácida de las cenizas del compost o por digestión húmeda (medio ácido y oxidante) de la muestra (Nirenberg, 2005).

#### **2.4.27.7. Pruebas Biológicas**

Los efectos fitotóxicos de un material orgánico inmaduro se deben a diversos factores, entre los cuales destacan los contenidos de amonio, de ácidos volátiles orgánicos, de metales pesados y de sales.

Es siempre aconsejable realizar pruebas biológicas, lo más sencillas posible, que den indicaciones más concretas del comportamiento en el suelo. Se pueden realizar distintos tipos de pruebas: pruebas de germinación, de crecimiento e incubaciones para comprobar estabilidad y mineralización de nutrientes (Biernbaum & Fogiel, 2004). Las pruebas de germinación son las más utilizadas por su simplicidad, y además son relativamente fáciles de interpretar. Los bioensayos con semillas para determinar el porcentaje de germinación y crecimiento radicular de los extractos de compost con relación a un testigo con agua destilada. Diversas metodologías han sido puestas a punto con este objetivo; entre ellas, la de mayor alcance corresponde a la determinación del índice de germinación utilizando extractos de compost propuesta por Zucconi et al. En 1981.



Esta metodología de determinación del índice de germinación (IG), integrando el porcentaje relativo de germinación y el crecimiento relativo de raíces permite establecer tres niveles de fitotoxicidad: severa, moderada y baja o nula (Baca , 2007).

## **2.4.28. Indicadores Biológicos del compost**

### **2.4.28.1. Actividad Microbiológica**

La determinación de la actividad microbiológica de los compost está en relación con la calidad del mismo. En la actividad microbiana se distinguen procesos generales como: determinación de C y N de la biomasa microbiana, mineralización del nitrógeno, determinación del ATP, respiración del suelo, o actividades oxidorreductasas como deshidrogenasa y catalasa, otros procesos considerados específicos como: la actividad enzimática del tipo hidrolasas que corresponden a reacciones concretas y dependen de sustratos específicos. Su utilidad está en la calidad biológica y bioquímica de aquellos suelos donde se aplique el compost (Sztern & Pravia, 2001).

### **2.4.28.2. Madurez y Estabilidad**

Un compost maduro de calidad debería cumplir con todas las condiciones del término del proceso, en cuanto a sus características químicas, físicas y biológicas. La madurez del compostaje ha sido considerada como el factor más importante al momento de la utilización de agrícola, el grado de madurez se expresa como el estado de degradación, transformación y síntesis microbiana en que se encuentra el material compostado. La inmadurez del compost es la responsable de los efectos depresivos que se producen sobre las cosechas como la disminución de la concentración de oxígeno a nivel radicular; la inmovilización del nitrógeno, generando una competencia por este elemento entre los microorganismos y la planta; el también causa el aumento de la temperatura del suelo que disminuye el

desarrollo vegetal. Madurez significa que los materiales que contienen nutrientes y energía se han combinado formando una masa orgánica estable. La calidad refleja madurez, pero también refleja el contenido químico del sustrato de compost (Puerta, 2004).

La estabilidad del producto está determinada por el grado de descomposición de la materia orgánica. Es función directa del nivel de actividad microbiana y también por el O<sub>2</sub> consumido, el CO<sub>2</sub> desprendido o el calor producido durante el proceso. La inestabilidad se presente cuando el producto contiene una elevada cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable, el compost estable permanecen frío al almacenarse (Graue, 2006).

#### **2.4.29. Parámetros para los Productos Orgánicos usados como Abonos o Fertilizantes y Enmiendas de Suelo, según la Norma Técnica Colombiana 5167 (NTC 5167)**

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo (Tabla 4).

##### **2.4.29.1. Requisitos Generales:**

Los productos deben presentarse en forma sólida como granulados, polvos o agregados o líquida como concentrados solubles, suspensiones o dispersiones. Todo producto cuyo origen sea materia orgánica fresca debe ser sometido a procesos de transformación que aseguren su estabilización agronómica tales como: compostaje o fermentación. Deberá declararse el origen (clase y procedencia) de las materias primas y los procesos de transformación empleados (Berent & Vedoya, 2006).

##### **2.4.29.2. Requisitos Específicos:**

Los productos orgánicos empleados como fertilizantes o abonos y enmiendas del suelo, deben cumplir con los requisitos establecidos.

Los parámetros físico-químicos del Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total (Biernbaum & Fogiel, 2004).

Tabla 2.4. Parámetros a caracterizar para producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores.

<b>Fertilizantes o abonos orgánicos.</b>	
<b>Parámetros a caracterizar</b>	<b>Parámetros a garantizar (en base húmeda)</b>
Pérdidas por volatilización %	Contenido de carbono orgánico oxidable
Contenido de cenizas	total
máximo 60% Contenido	(%C)

((NOM-083-SEMARNAT), 2003)

Tabla 2.5. Límites máximos en mg/Kg (ppm) de los metales pesados.

<b>Límites máximos de metales pesados</b>	<b>mg/Kg (ppm)</b>
Arsénico (As)	41
Cadmio (Cd)	39
Cromo (Cr)	1 200
Mercurio (Hg)	17
Níquel (Ni)	420
Plomo (Pb)	300

((NOM-083-SEMARNAT), 2003)

Tabla 2.6. Límites máximos permitidos para macro contaminantes presentes en productos sólidos.

<b>Macro contaminantes</b>	<b>Límite (% en ms)</b>
Plástico, metal, caucho > 2mm	< 0,2
Vidrio > 2mm	< 0,02
Piedras > 5mm	< 2
Vidrio > 16mm detección (si/no) no	no

((NOM-083-SEMARNAT), 2003)

#### **2.4.30. Efecto de la Aplicación del Compost sobre las Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas del Suelo**

El compost orgánico brinda beneficios ya que es un acondicionador de suelos con características húmicas, libre de patógenos y malezas, que no atrae insectos ni vectores, el cual puede ser manejado y almacenado sin riesgo y benéfico al crecimiento de las plantas. Se han identificado tres funciones fundamentales del compost al aplicarse en suelos. Primera el compost puede servir como fuente de materia orgánica para mantener o ayudar a la formación del humus del suelo. Segunda el compost puede mejorar el crecimiento de cultivos en la agricultura comercial y usos domésticos. Además, reduce los patógenos que atacan a las plantas y aumentan la resistencia a las enfermedades, y tercero el compost contiene valores apreciables de nutrientes como Nitrógeno, Fósforo y una variedad de elementos traza esenciales (Nirenberg, 2005).

El suelo es la parte más superficial de la corteza terrestre, en donde los reinos vegetal y animal establecen una relación con el reino mineral. Los residuos de animales y vegetales vuelven al suelo, constituyendo su materia orgánica, que se descompone por la acción de microorganismos en un proceso continuo de humidificación y mineralización. La unión de partículas minerales y organismos resultantes de los procesos de alternación y disgregación de los materiales originales y de transformación de la materia orgánica, da lugar a una organización estructural jerarquizada de las partículas individuales en agregados en la cual las características físicas del suelo son modificadas (Nirenberg, 2005).

#### **2.4.30.1. Efectos Físicos**

La adición de enmiendas orgánicas puede considerarse como una buena práctica de manejo para el mantenimiento o recuperación de la fertilidad del suelo, algunos de estos beneficios son:

##### **a) Efectos sobre la compactación del suelo:**

La compactación es un proceso de degradación de la estructura del suelo, que está ligada al manejo del suelo. La capacidad de soportar cargas estáticas o dinámicas, está relacionado con la estructura del suelo, la textura, la mineralización, de su contenido en materia orgánica, del volumen de agua almacenado y de su velocidad de drenaje. Debe considerarse a la erosión de las precipitaciones un causante de la compactación del suelo. La materia orgánica se considera como un regulador de la elasticidad de los suelos a través de su efecto amortiguador de cargas y de su acción estabilizante de la estructura del suelo. La densidad aparente del suelo es un parámetro físico que sirve para evaluar el grado de compactación de un suelo, ya que mide la masa de partículas por unidad de volumen. La adición de enmiendas orgánicas en el suelo reduce la densidad aparente del suelo y mejora la porosidad. En cuanto a la distribución por tamaños de los poros, la adicción continua da lugar a un incremento de la macroporosidad de los suelos (Cófrece León, 2007).

##### **b) Efectos sobre la estabilidad de los agregados del suelo**

El efecto sobre la estabilidad depende del método de incorporación y de la dinámica de descomposición, ya que lo condiciona el perfil del suelo y la mayor o menor asociación con las partículas minerales del suelo. Los cambios en la estabilidad de los agregados del suelo gracias a la adición de enmienda orgánica son: los cambios en los contenidos de materia orgánica particulada, en los polisacáridos y en los lípidos, que son materiales lábiles y de actividad transitoria.

La descomposición de los materiales orgánicos añadidos al suelo en condiciones de alta temperatura y bajo contenidos de agua en el suelo, puede producirse un incremento del contenido compuestos alifáticos de cadena larga asociados a grasas y lípidos, que al originar cambios físicos y biológicos debido a la hidrofobicidad de estos productos al unirse a metales polivalentes, contribuirán a un aumento relativo de la estabilidad (Nirenberg, 2005).

**c) Efectos sobre la retención y almacenamiento de agua del suelo**

La adición de enmiendas orgánicas provoca un aumento tanto de la capacidad de retención como del tiempo que el agua infiltrada en el suelo se mantiene en niveles útiles para el consumo de las plantas. Estos cambios están sujetos a la manera como los agregados del suelo conforman una estructura con un reparto equilibrado de sus poros entre macro, meso y microporos y a como dichos cambios se mantienen estables frente a los procesos de degradación. Debido a los cambios estructurales provocados a largo plazo por la adición de enmiendas, se obtiene una nueva distribución de la porosidad, con poros más largos y de mayor diámetro, con o sin interconexión que ocasiona un aumento de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (Rodríguez & Córdova, 2006).

**d) Efectos sobre la infiltración, escorrentía y erosión hídrica del suelo**

Las acciones para atenuar la escorrentía superficial deben dirigirse a control los parámetros que influyen sobre sus mecanismos de generación, estos son

- El sellamiento de la superficie del suelo.
- El almacenamiento de agua en el suelo.

- La capacidad de retención del agua en el suelo.

La aplicación de abonos orgánicos sobre la superficie del suelo ejerce un efecto de acolchonamiento que hará que disminuyan tanto los efectos de sellamiento del suelo debido al impacto de las gotas de lluvia, como las pérdidas de agua por evaporación directa desde la superficie, y de almacenamiento del agua en el suelo (Baca , 2007).

#### **2.4.30.2. Efectos Químicos**

Con la utilización del suelo como fuente de alimentos, se ha reconocido la importancia de la materia orgánica como factor crucial en la productividad y en la fertilidad natural del suelo con el paso el tiempo este uso intenso del suelo, se produce una alteración de los ciclos biogeoquímicos naturales vegetación- suelo, que incide en la no restitución de una gran parte de la biomasa producida. Otro efecto importante es el impacto de las labores culturales, que al aumentar la aireación y la actividad biológica, aumentan la tasa de mineralización de los compuestos orgánicos del suelo (Graue, 2006).

##### **a) Efectos sobre la capacidad de intercambio catiónico**

Los coloides electronegativos del suelo, así formados, retiene alrededor de sus moléculas una cantidad variable de cationes que estarán más fuertemente adheridos al complejo cuanto más cerca estén de él. Entre la superficie del complejo y las soluciones del suelo se establece un equilibrio dinámico en el que continuamente se producen intercambios iónicos. La CIC depende de la cantidad y calidad de la materia orgánica y también de la cantidad y tipo de arcillas, la mayor capacidad de intercambio corresponde a los montmotillonitas, las ilitas son intermedias y las caolinitas son las de menor capacidad, en algunos casos se puede presentar capacidad de intercambio amónico (Graue, 2006).

**b) Efectos sobre la regulación del pH y la retención de iones**

El valor pH o potencial hidrogeno nos informa sobre la proporción relativa de iones hidrogeno y de iones hidróxidos en la solución del suelo. En general los compost maduros tienden a estabilizarse en valores de pH neutros o ligeramente básicos. En los suelos ácidos los compost actúan elevando el pH por lo que, además de mejorar las condiciones microbiológicas, mejoran las condiciones de disponibilidad de nutrientes. En los suelos neutros o básicos, la adición de compost maduros no provoca cambios apreciables de pH aunque contribuye a la mejora del poder amortiguador del suelo (Cófrece León, 2007).

**c) Efectos sobre la nutrición nitrogenada, fosfórica, potásica, cálcica y magnésica**

La utilización de residuos orgánicos aporta una ventaja por su comportamiento como fuente de nitrógeno de liberación lenta. Este tipo de fertilizante nitrogenado y la disminución de la velocidad de los procesos de nitrificación han recibido mucha atención por sus ventajas en cuanto a proporcionar un suministro regulado de nitrógeno y su potencial en la reducción de la contaminación nitrogenada. El fósforo de los residuos orgánicos se encuentra fundamentalmente en formas de ácidos nucleicos, fosfolípidos y fitina. Las adiciones de abono no solo pueden aumentar los niveles de fósforo en el suelo por acción directa, sino que también pueden mejorar la capacidad de absorción y disponibilidad del fósforo del suelo. El potasio es un elemento muy móvil en el suelo, por lo que es fácilmente lixiviado y su porcentaje disponible es muy reducido. Los niveles de calcio y magnesio suelen ser suficientes para cubrir las necesidades de las plantas en la mayoría de los suelos neutros o básicos.



Los aportes provenientes del compost pueden favorecer significativamente la nutrición cálcica y magnésica de los cultivos. Un efecto indirecto de la adición de micronutrientes es el aumento total de la masa de microorganismos y de la actividad enzimática, aportando por tanto una mejora de la fertilidad del suelo (Cófrece León, 2007).

#### **2.4.30.3. Efectos Biológicos**

La actividad biológica del suelo, y de forma más concreta la microbiana, juega un papel clave tanto en la estabilidad como en la fertilidad del sistema edáfico, dado que interviene en los procesos de estructuración y es protagonista principal de los ciclos biológicos (Graue, 2006).

##### **a) Efectos sobre la comunidad microbiana**

La aplicación de compost al suelo modifica las propiedades físico-químicas como las nutricionales, lo que afecta los niveles poblacionales microbianos. Los factores a través de los cuales el compost ejerce ese efecto estimulante sobre la población microbiana del suelo. La presencia de materia orgánica estabilizada contribuye a mejorar las características estructurales del suelo, incrementando de este modo su disponibilidad para actuar como hábitat idóneo para la microbiota edáfica. La influencia del compost sobre la población microbiana no se limita a aspectos cuantitativos. La estructura de dicha comunidad se ve igualmente afectada por el tratamiento con este tipo de enmiendas, dado que factores determinantes en la evolución poblacional de los distintos grupos microbianos que colonizan este hábitat, tanto de carácter nutricional como físico-químico, son modificados como consecuencia de las propiedades específicas del compost adicionado (Graue, 2006).

## **2.4.31. Beneficios del Abonamiento con EM-Compost**

### **2.4.31.1. Mejora las propiedades físicas del suelo**

La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.

### **2.4.31.2. Mejora las propiedades químicas.**

Aumenta el contenido en macronutrientes N, P,K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.

### **2.4.31.3. Mejora la actividad biológica del suelo.**

Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. La población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo.

### **2.4.31.4. ¿Qué es EM?**

EM, es una abreviación de Effective Microorganisms (Microorganismos Eficaces), EM es una combinación de varios microorganismos benéficos. La tecnología EM, fue desarrollada por Teruo Higa, Ph. D., profesor de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón. A comienzos de los años sesenta, el profesor Higa comenzó la búsqueda de una alternativa que reemplazara los fertilizantes y pesticidas sintéticos, popularizados después de la segunda guerra mundial para la producción de alimentos en el mundo entero. Inicialmente el EM fue utilizado como un acondicionador de suelos. Hoy en día EM es usado no solo para producir alimentos de altísima calidad, libres de agroquímicos, sino también para el manejo de desechos sólidos y líquidos generados por la producción agropecuaria, la industria de procesamiento de

alimentos, fábricas de papel, mataderos y municipalidades entre otros. El EM es usado en los 5 continentes, cubre más de 120 países.

#### **2.4.32. Importancia de los Microorganismos Eficaces**

Existen microorganismos en el aire, en el suelo, en nuestros intestinos, en los alimentos que consumimos, en el agua que bebemos. Las condiciones actuales de contaminación y uso excesivo de sustancias químicas sintéticas han causado la proliferación de especies de microorganismos considerados degeneradores.

Estos microorganismos a grandes rasgos, son causantes de enfermedades en plantas y animales y generan malos olores y gases nocivos al descomponer residuos orgánicos (Biernbaum & Fogiel, 2004).

Los microorganismos eficientes, como inoculante microbiano, reestablece el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas, incrementando la producción de los cultivos y su protección; además conserva los recursos naturales, generando una agricultura sostenible. Entre los efectos sobre el desarrollo de los cultivos se pueden encontrar:

##### **2.4.32.1. En las Plantas:**

- Aumento de la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas, por su efecto hormonal, similar al del ácido giberélico.
- Aumento del vigor y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia de las plántulas, por su efecto como rizo bacterias promotoras del crecimiento vegetal.
- Incremento de las probabilidades de supervivencia de las plántulas.
- Genera un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades en las plantas, ya que pueden inducir la resistencia sistémica de los cultivos a enfermedades.

- Consume los exudados de raíces, hojas, flores y frutos, evitando la propagación de organismos patógenos y desarrollo de enfermedades.
- Incrementa el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos.
- Promueven la floración, fructificación y maduración por sus efectos hormonales en zonas meristemáticas.
- Incrementa la capacidad fotosintética por medio de un mayor desarrollo foliar.

#### **2.4.32.2. En los suelos:**

Los efectos de los microorganismos en el suelo, están enmarcados en el mejoramiento de las características físicas, biológicas y supresión de enfermedades. Así pues entre sus efectos se pueden mencionar:

- Efectos en las condiciones físicas del suelo:  
Mejora la estructura y agregación de las partículas del suelo, reduce su compactación, incrementa los espacios porosos y mejora la infiltración del agua.
- Efectos en la microbiología del suelo:  
Suprime o controla las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en el suelo por competencia. Incrementa la biodiversidad microbiana, generando las condiciones necesarias para que los microorganismos benéficos nativos prosperen.

#### **2.4.33. Principales Microorganismos en EM y su Acción**

El EM es un cóctel líquido que contiene más de 80 Microorganismos benéficos de origen natural. A continuación, se describen algunos de los principales tipos de microorganismos presentes en el EM y su acción.

**a) Bacterias fotosintéticas (Rhodopseudomonas spp)**

Las bacterias fotosintéticas o fototrópicas son un grupo de microorganismos independientes y autosuficientes.

Estas bacterias sintetizan sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y/o gases nocivos (sulfuro de hidrógeno), usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía.

**b) Bacterias ácido lácticas (Lactobacillus spp)**

Las bacterias ácido lácticas producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos desarrollados por bacterias fotosintéticas y levaduras. Desde tiempos antiguos, muchos alimentos y bebidas como el yogurt y los pepinillos son producidos usando bacterias ácido lácticas.

Las bacterias ácido lácticas tienen la habilidad de suprimir microorganismos causantes de enfermedades como Fusarium, los cuales aparecen en sistemas de producción continua. Bajo circunstancias normales, las especies como Fusarium debilitan las plantas cultivadas, exponiéndolas a enfermedades y a poblaciones crecientes de plagas como los nemátodos. El uso de bacterias ácido lácticas reduce las poblaciones de nemátodos y controla la propagación y diseminación de Fusarium, mejorando así el medio ambiente para el crecimiento de cultivos.

**c) Levaduras (Saccharomyces spp)**

Las levaduras sintetizan sustancias antimicrobiales y otras sustancias útiles para el crecimiento de las plantas, a partir de aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fotosintéticas, la materia orgánica y las raíces de las plantas.

#### **2.4.34. Aplicaciones del EM (Microorganismos Eficaces)**

##### **a) EM para la agricultura**

La mejor manera de utilizar EM para la agricultura depende de la región, la calidad de la tierra, el clima, el método de cultivo, irrigación, cosechas y otros factores.

##### **b) EM para la actividad pesquera**

De acuerdo a los estudios y experimentos, EM es extremadamente beneficioso para la actividad pesquera, la comida de los peces se fermenta con EM antes de alimentarlos. Una variedad de alimentos hechos con EM incluyen aquellos excrementos de animales desechos sólidos con Bokashi y alimento comercial.

##### **c) EM para aves de corral**

EM se ha vuelto muy popular en la industria avícola. Los alimentos se fermentan con EM antes de suministrarlos a las aves. Una variedad de comidas hechas con EM incluyen aquellos excrementos de animales. Se agrega EM extendido al agua potable en una preparación de 1; 1,000. También son usados en el agua de bebida el cual ayuda a mejorar microbiológicamente la calidad de la misma, además de enriquecerlas con sustancias benéficas.

##### **d) EM para la producción de animales**

Una amplia variedad de alimentos incluyen maíz ensilado, forraje y alimentos comerciales se pueden fermentar con EM. También se puede agregar EM activado al agua potable, diluido en una proporción de 1:500; usar EM también ayuda a reducir, en carne y en la leche, los efectos secundarios dañinos de los vacunos y otros medicamentos.

##### **e) EM para tratamiento de agua contaminada.**

Normalmente el agua contaminada incluye niveles altos de BOO, COD, pH, E. Coli y otros contaminantes. Antes de usar EM, se recomienda evaluar las propiedades de agua. El propósito de reciclar también debe

determinarse; simplemente para eliminar olores desagradables, para uso en agricultura.

**f) EM para reciclar desechos sólidos**

Los desechos sólidos y la basura de cocina se pueden reciclar para hacer fertilizantes con EM, los olores de los desechos se pueden eliminar rápidamente.

Generalmente EM convierte a los desechos en productos inofensivos y útiles. Normalmente la descomposición de los desechos tarda varios meses, con EM tarda únicamente de 4 a 6 semanas.

**g) EM en la vida diaria**

EM puede usarse en nuestra vida diaria de diferentes maneras. Se puede vaciar en los servicios sanitarios para eliminar olores desagradables y en los baños para protegerlos de hongos, en las cocinas para eliminar el olor de la comida, en los jardines para cultivar flores, frutas y vegetales. Se recomienda EM diluido en una preparación de 1\_500 ó EM diluido en una proporción de 1:5000 para las aplicaciones mencionadas

Tabla 2.7. Principales diferencias entre la producción de compost con EM y el compost tradicional (Sin EM)

<b>Compost con EM</b>	<b>Compost tradicional</b>
Menor tiempo de descomposición. Entre 1 a 2 meses.	Mayor tiempo de descomposición. Normalmente entre 3 a 6 meses
No hay presencia de malos olores ni Moscas	Puede haber presencia de malos olores
Producto final con mayor contenido de Nutrients	Menor contenido nutricional en comparación al EM-compost
Mayor contenido de Microorganismos Benéficos	Menor contenido de Microorganismos Benéficos

(Berent & Vedoya, 2006)

## **CAPÍTULO III**

### **3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Metodología**

##### **3.1.1. Método**

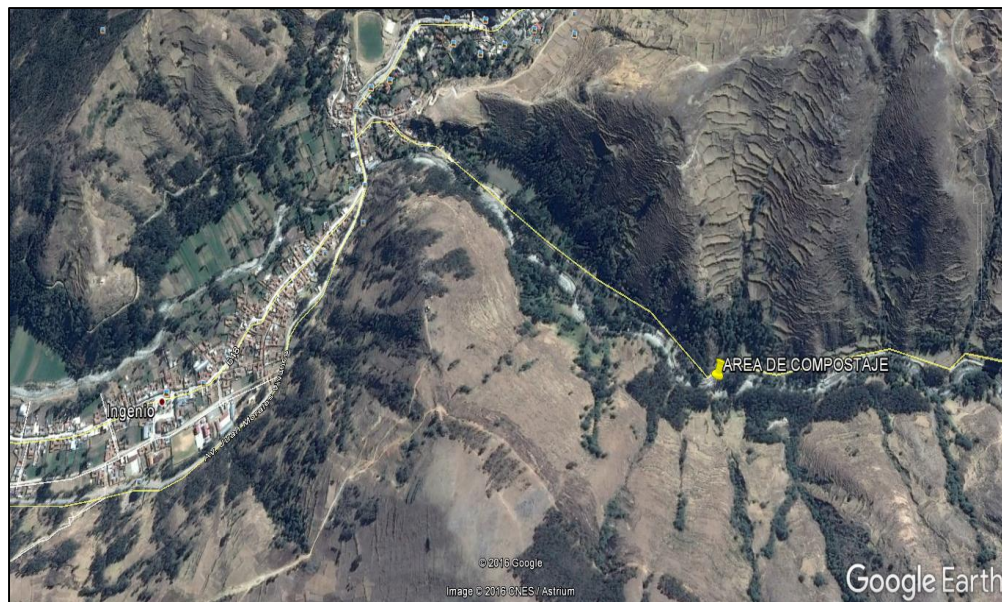
###### **3.1.1.1. Ubicación del Lugar de Muestreo**

El estudio se realizó en el Distrito de Ingenio, Provincia Huancayo, Región Junín, en el paraje llamado “RUMICHACA” propiedad de la Municipalidad Distrital de Ingenio ubicado a 25 km de la ciudad de Huancayo, en una zona correspondiente a bosque húmedo, a una altura promedio 3350 m.s.n.m a una temperatura promedio de 15 °C.

###### **3.1.1.2. Ubicación Geográfica**

- Región : Quechua y Suni
- Longitud Oeste : 75° 15' 54" de la línea Ecuatorial (-75.265)
- Latitud Sur : 11° 53' 15" de la línea base Greenwich (-11.8875)
- Altitud : La capital del distrito se encuentra a 3,524 m.s.n.m.





Fuente: Google Earth.

### 3.1.1.3. Materiales y Equipos

- Flexómetro de 5 metros
- Plástico 20 metros
- 2 baldes de 18 litros
- Triplay 4 m<sup>2</sup>
- Listones de 10 metros
- 01 lampa
- 01 pico alacrán
- 01 carretilla
- 10 costales
- 01 regadera
- 01 termómetro
- 01 pHmetro
- 01 higrómetro
- 01 balanza

#### 3.1.1.4. Insumos

- 1 litro de microorganismos eficaces sin activar.
- 4.5 litros de E.M. activado
- 1 kilo melaza
- 150 kilos de estiércol de ovino
- 450 kilos de residuos orgánicos
- Agua

#### 3.1.1.5. Preparación de Pilas

##### A. Limpieza de lugar para la colocación de pilas

El Área que se utilizo es de tierra el tamaño 7 metros de ancho x 10 metros de largo = 70m<sup>2</sup>, toda el área se ha compactado, para facilitar el manejo de las pilas durante todo el proceso, esto también permite que los materiales a compostar no se mezclen mucho con la tierra del suelo

##### B. Recepción de los residuos vegetales y animales

El vehículo de recolección descargo los residuos vegetales y estiércol de ovinos cerca de la elaboración de las pilas.

Figura 3.1 descargo de los residuos vegetales y estiércol de ovino.



### C. Preparación de pilas

Luego de obtener los residuos se realizó el pesado de cada elemento que formaría las pilas, se prepararon 6 tipos de pilas con sus respectivas replicas para cada tratamiento.

#### **3.1.1.6. Procedimientos para la elaboración del Compost**

##### **Paso 1: preparación del terreno**

- El lugar donde se van a formar las pilas debe estar nivelado, limpio y sin piedras, para evitar que existan elementos que afecten y/o dificulten el proceso de compostaje.

##### **Paso 2: formación de las camas o pilas con los residuos organicos**

- Se procede a colocar la primera capa, lo cual corresponde residuos sólidos organicos de los recreos restaurantes. Esta capa debe de tener una altura de 20 cm, durante el proceso de compostaje
- Posteriormente se procede a colocar la segunda capa, la cual corresponde al estiércol. Este debe de tener una altura de 20 cm, este procedimiento se vuelve a repetir hasta alcanzar el tamaño deseado de la pila de compostaje.
- Finalmente, si es necesario, se procede a regar toda la cama ya formada, tratando en lo posible de humedecerla por completo en agua, teniendo cuidado que no hayan lixiviados.

##### **Paso 3: Inoculación de los residuos organicos**

- Se va adquirir los EM, para su respectiva activación, ya que esto viene la cantidad de un litro, envasado la forma de yogurt, dentro de ello vienen los Microorganismos Eficaces, en estado de latencia, tenemos que activarlos preparando con un kilo de melaza, más 20 litros de agua sin cloro, para que los microorganismos despierten y

empiezan a degradar la materia orgánica, el tiempo de activación es de 7 días, una vez activo los EM.

- Se extrae 1 litro de EM activado, se le agrega en 20 litros de agua, para su aplicación respectivo al compost, es recomendable la aplicación que se realiza cada 15 días, o los días que se realizará el volteado del compost, pero en este caso se hizo una sola aplicación, donde se puede realizar con bomba de mochila o regadera empleando la dosis.

#### **Paso 4: Volteos, control de humedad y temperatura**

- Al cabo de 5 a 6 días se va a tener una elevada temperatura llegando tener hasta 50 °C. Esto es lo suficientemente alto para destruir las semillas de malezas y microorganismos dañinos, pero perfecta para los microorganismos benéficos; por otro lado, acelera la descomposición de los restos vegetales y el estiércol.
- Se deja así por una semana a la semana siguiente se empieza a realizar los volteos semanalmente con la ayuda de una lampa o trinche.

#### **Paso 5: cosecha de compost**

- Luego de dos meses aproximadamente, la temperatura de la pila de compost empieza a bajar, el material tiene un color marrón oscuro, esponjoso y de un color agradable a tierra; estos son indicadores que el compost está listo para hacer cosechado.
- Se deja secar la pila descubierto por una semana, luego será tamizado en una malla metálica y tendremos listo el compost para ser utilizado inmediatamente como abono para las plantas; por ahí si tenemos suficiente cantidad se puede guardar en sacos de rafia, manteniendo una humedad del 14% para mantener la población microbiana benéfica.

### **3.1.1.7. Aspecto bioquímico en el proceso de la obtención de compost.**

La evolución del compostaje se da en cuatro etapas que siguen el orden: mesofílica, termofílica, de enfriamiento y de maduración. En las fases mesofílica y termofílica se libera  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  disminuyendo el contenido de carbono en el compostable y aumentándose el porcentaje de minerales, aunque este último incremento se hace más elevado en la segunda etapa. En la primera fase los microorganismos mesófilos (bacterias y hongos) degradan azúcares, almidones y proteínas, obteniendo energía para multiplicarse y llevar a cabo su actividad descomponedora, calentando la materia compostable. En esta etapa mesofílica hay abundancia de nitrógeno  $\text{NH}_4$  que predomina sobre la forma  $\text{NO}_3$ .

En la fase termofílica la población microbiana (bacterias, Actinomicetos y hongos termofílicos) descomponen moléculas más difíciles como la celulosa, la hemicelulosa, la lignina, ceras, grasas, aceites y resinas; la actividad de los microorganismos es máxima, elevándose la temperatura; sigue el dominio de  $\text{NH}_4$  sobre la forma  $\text{NO}_3$ . Sin embargo, el nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4$ ) de la cadena proteínica, aminoácidos, aminas, amonio puede perderse a la atmósfera antes de pasar a nitrógeno  $\text{NO}_3^-$ . En esta etapa hay formación de fitotoxinas, pero aun así es trascendente porque se eliminan organismos patógenos al hombre o a las plantas de los cultivos. (Berent & Vedoya, 2006).

En la tercera etapa correspondiente al enfriamiento, se reduce la población microbiana y dominan las bacterias mesofílicas.

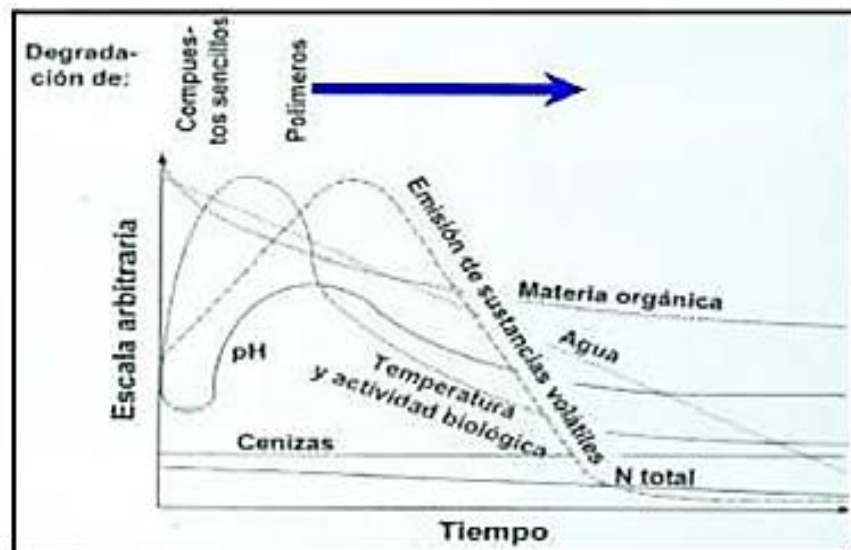
Se descomponen los materiales más resistentes y las fitotoxinas (como ácidos orgánicos ejemplo el acético). Prima la formación de nitratos sobre la forma amoniacal. Los nitratos y la abundancia de

potasio en solución aumentan la salinidad. En esta fase el pH es cercano a 7.0.

La etapa final del proceso de compostaje es la de maduración, aumenta la porción mineral y nitratos, disminuye el contenido el porcentaje de carbono, se libera  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_4$ . Se aumenta la población de Actinomicetos, responsables del olor de tierra fresca.

El siguiente dibujo describe todo lo mencionado anteriormente en las etapas:

Figura 3.2 Etapas del Compostaje



(Biernbaum & Fogiel, 2004)

### 3.1.1.8. Tratamientos según el diseño experimental

Los tratamientos fueron implementados con dos repeticiones en una parcela del área de Disposición Final de los residuos sólidos, cada pila presento las siguientes dimensiones: 1 m de ancho, 2 m de largo, 0,80 cm de altura y una separación entre pilas de 1 m, a continuación, se detalla las pilas implementadas.



- A. **PRIMER TRATAMIENTO (T1)**, consistió en la mezcla de residuos orgánicos y estiércol de ovino en 50kg = 50% del peso inicial de la pila (100 kg) y 500 mL de Microorganismos Eficaces.
- B. **SEGUNDO TRATAMIENTO (T2)** consistió en la mezcla de residuos orgánicos y estiércol de ovino en 75kg = 25% del peso inicial de la pila de (100 kg) y 500 mL de Microorganismos Eficaces.
- C. **TERCER TRATAMIENTO (T3)** consistió en la mezcla de residuos orgánicos y estiércol de ovino en 100kg = 0% del peso inicial de la pila de (100 kg) y 500 mL de Microorganismos Eficaces.
- D. **CUARTO TRATAMIENTO (T4)** consistió en la mezcla de residuos orgánicos y estiércol de ovino en 50kg = 50% del peso inicial de la pila de (100 kg) y 1000 mL de Microorganismos Eficaces.
- E. **QUINTO TRATAMIENTO (T5)** consistió en la mezcla de residuos orgánicos y estiércol de ovino en 75kg = 25% del peso inicial de la pila de (100 kg) y 1000 mL de Microorganismos Eficaces.
- F. **SEXTO TRATAMIENTO 6 (T6)** consistió en la mezcla de residuos orgánicos y estiércol de ovino en 100kg = 0% del peso inicial de la pila de (100 kg) y 1000 mL de Microorganismos Eficaces.

Figura 3.3. Tratamiento del compost según diseño experimental



Cada pila se removió de tal forma que se aseguró la aireación durante el proceso de descomposición, evitando la compactación que podría producirse por el riego periódico, los volteos se realizaron cada 15 días. El riego se realizó manualmente con regadera y la frecuencia de la misma se llevó a cabo según requiriera la pila, para determinar la humedad se hizo con el Higrómetro digital para mantener en condiciones óptimas entre 30 a 60%.

La temperatura se midió utilizando un termómetro digital introducido directamente en la pila a una profundidad de 25 a 35 cm, dos veces por semana, en cada pila.

Se determinó el pH, en forma directa con el Potenciómetro Electrométrico, los datos se obtuvieron cada 5 días

En el tamizado se procuró remover los residuos como hueso, plásticos, otros materiales que habían quedado luego de la primera selección y se retiró el material orgánico de mayor tamaño que requiere tiempo adicional de descomposición, se empleó una malla de 1 cm<sup>2</sup> de área para obtener una granulometría adecuada en el producto final, se pesaron los costales con el material tamizado y también las partículas que quedaron en el tamiz, para determinar el porcentaje de material no degradado.

Figura 3.4. Riego de las composteras, con una regadera manual





A continuación, se detalla las pilas a implementar.

T1: 50 Kg de RO + 50 Kg de estiércol de ovino + 500 mL activado de EM

T2: 75 Kg de RO + 25 Kg de estiércol de ovino + 500 mL activado de EM

T3: 100 Kg de RO + 0 kg de estiércol de ovino + 500 mL activado de EM

T4: 50 Kg de RO + 50 Kg de estiércol de ovino + 1000 mL activado de EM

T5: 75 Kg de RO + 25 Kg de estiércol de ovino + 1000 mL activado de EM

T6: 100 Kg de RO + 0 kg de estiércol de ovino + 1000 mL activado de EM

Figura 3.5. Vista Panorámica de las pilas implementadas.



Repeticiones

T1: 50 Kg de RO + 50 Kg de estiércol de ovino + 500 mL activado de EM

T2: 75 Kg de RO + 25 Kg de estiércol de ovino + 500 mL activado de EM

T3: 100 Kg de RO + 0 kg de estiércol de ovino + 500 mL activado de EM

T4: 50 Kg de RO + 50 Kg de estiércol de ovino + 1000 mL activado de EM

T5: 75 Kg de RO + 25 Kg de estiércol de ovino + 1000 mL activado de EM

T6: 100 Kg de RO + 0 kg de estiércol de ovino + 1000 mL activado de EM

### 3.1.2. Tipo de la Investigación

El tipo de investigación utilizado es experimental y aplicada, donde se evaluó el efecto de los Microorganismos Eficaces, además se hizo el conteo de la materia orgánica en las pilas que se tiene, con el efecto producido por la manipulación de las variables independientes, donde se desea comprobar los efectos de las variables independientes sobre las dependientes, evaluando el proceso.

### 3.1.3. Nivel de la Investigación

El nivel es correlacional y explicativo

## 3.2. Diseño de la Investigación.

El diseño a utilizar en el presente trabajo de investigación es: diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2x2 y con repeticiones más los testigos adicionales.

Con prueba y grupo control debido al comportamiento de los microorganismos quienes actuaran en el proceso de la descomposición de la materia orgánica.

Dónde:

ME Microorganismos Eficaces

RO Residuo Orgánico

EO Estiércol de Ovino

La relación de residuo orgánico / estiércol de ovino se representa por R y la cantidad de los Microorganismos eficaces se representa por ME.

ME_1	500 mL	R_1	50/50
ME_2	1000 mL	R_2	75/25
		R_3	100/0

	R_1	R_2	R_3
ME_1	R_1 y ME_1	R_2 y ME_1	R_3 y ME_1
ME_2	R_1 y ME_2	R_2 y ME_2	R_3 y ME_2

### **3.3. Hipótesis de la Investigación**

#### **3.3.1. Hipótesis General**

Los Microorganismos Eficaces (M.E.) y la relación de estiércol de ovino con residuos sólidos orgánicos domiciliarios determinan significativamente la calidad del compost elaborado en el Distrito de Ingenio Huancayo

#### **3.3.2. Hipótesis Específicas**

- Los microorganismos eficaces afectan la calidad de la producción de compost a partir de la relación de estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos en el Distrito de Ingenio.
- La relación de la adición de la dosis de microorganismos eficaces, de estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos influyen significativamente en el proceso de compostaje.
- Los parámetros del compostaje son significativamente a partir de los Microorganismos Eficaces, estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos en el Distrito de Ingenio.
- 

#### **3.4. Variables**

##### **3.4.1. Variable Independiente**

Microorganismos Eficaces

Relación de Residuo Orgánico/Estiércol de Ovino

##### **3.4.2. Variable Dependiente**

Calidad de Compostaje

#### **3.5. Cobertura del Estudio**

##### **3.5.1. Universo**

El universo son los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generados.

### **3.5.2. Población**

Los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generados dentro del Distrito de Ingenio de la Provincia de Huancayo, Departamento de Junín.

### **3.5.3. Muestra**

La muestra que se utilizaron en las pruebas experimentales fue de 100, 75 y 50 kilogramos de residuos orgánicos domiciliarios.

### **3.5.4. Muestreo**

El muestreo realizado de la materia orgánica fue completamente aleatorio siguiendo los procedimientos que especifica la normativa de residuos sólidos domiciliarios.

## **3.6. Técnicas e Instrumentos**

### **3.6.1. Técnicas de la Investigación.**

Las técnicas utilizadas en la investigación se basaron en los trabajos realizados en otras municipalidades, papers, monitoreo, etc

### **3.6.2. Instrumentos de la Investigación.**

Los instrumentos de investigación fueron los reportes de los procesos experimentados por el laboratorio correspondiente, los resúmenes de los trabajos de investigación, los reportes de campo.

## **3.7. Procesamiento estadístico de la información.**

### **3.7.1. Estadísticos.**

Se utilizó un software estadístico denominado Minitab, para los análisis de medidas de tendencia central y de dispersión.

### **3.7.2. Representación.**

Las representaciones de la parte experimental se dieron por medio de reportes de laboratorios y gráficas o representaciones en Excel, las relaciones de variables mediante ecuaciones y los análisis estadísticos según el software estadístico desarrollado.

### **3.7.3. Técnica de comprobación de la hipótesis.**

Para el trabajo de investigación se utilizó el Análisis de varianza mediante una Anova de Fisher.

## CAPITULO IV

### 4. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados

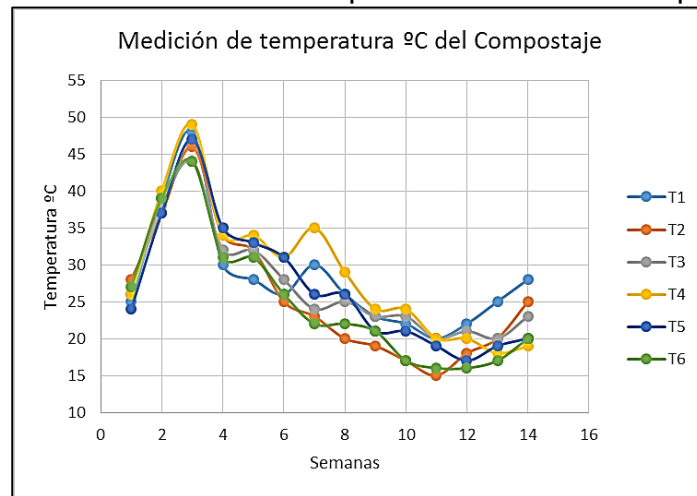
En el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos realizados en el Distrito de Ingenio, Provincia Huancayo, Región Junín, en el paraje llamado “RUMICHACA”, mediante un sistema de composteras en forma de pilas con un volumen aproximadamente de 1,6 m<sup>3</sup> compuestos por materia orgánica, estiércol de ovino y microorganismos eficaces, se monitoreó los parámetros de temperatura, humedad y pH semanalmente.

Tabla 4.1 Medición de la temperatura °C de compostaje

Fechas	05-oct-15	09-oct-15	13-oct-15	17-oct-15	21-oct-15	25-oct-15	29-oct-15	02-nov-15	06-nov-15	10-nov-15	14-nov-15	18-nov-15	22-nov-15	26-nov-15
	Semana_1	Semana_2	Semana_3	Semana_4	Semana_5	Semana_6	Semana_7	Semana_8	Semana_9	Semana_10	Semana_11	Semana_12	Semana_13	Semana_14
<b>T1</b>	25	39	48	30	28	26	30	26	23	22	20	22	25	28
<b>T2</b>	28	37	46	34	32	25	23	20	19	17	15	18	20	25
<b>T3</b>	26	38	44	32	32	28	24	25	23	23	20	21	20	23
<b>T4</b>	26	40	49	34	34	31	35	29	24	24	20	20	18	19
<b>T5</b>	24	37	47	35	33	31	26	26	21	21	19	17	19	20
<b>T6</b>	27	39	44	31	31	26	22	22	21	17	16	16	17	20

Los datos promedios monitoreados del tratamiento y de su réplica con respecto a la temperatura para los seis tratamientos según el diseño experimental planteado, se observan en la tabla 4.1 por un periodo de 14 semanas iniciándose con temperaturas entre 24 °C a 28 °C y culminando de 19 °C a 28 °C, esto indica que la temperatura varía ligeramente

Figura 4.1. Medición de la temperatura en °C del compostaje



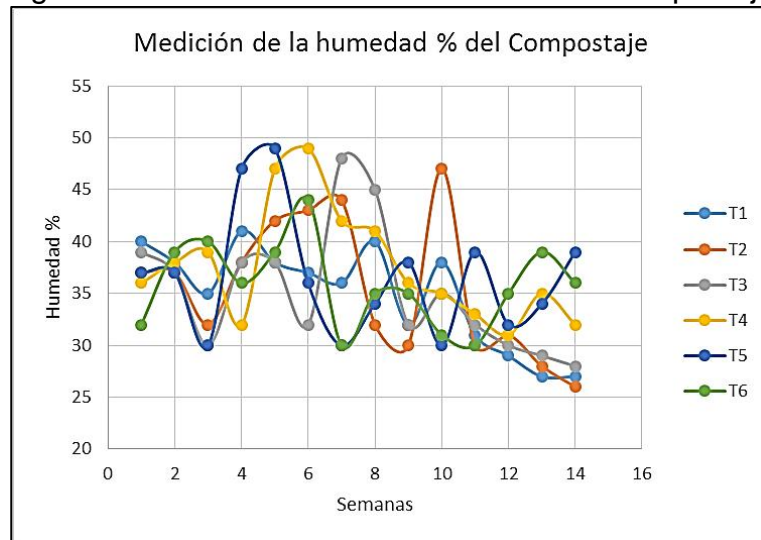
La figura 4.1 representa el comportamiento de los promedios de la temperatura para cada prueba experimental observándose que en la tercera semana se incrementa el valor de a temperatura sobrepasando los 40 °C debido a las reacciones exotérmicas que se generan a partir del crecimiento de los microorganismos ya que este es un crecimiento exponencial donde empiezan a degradar la mayor carga orgánica existente, en las siguientes semanas va descendiendo lentamente hasta llegar a la semana 11 donde llegan a obtener las temperaturas más bajas menores a 20 °C

Tabla 4.2 Medición de la humedad % de compostaje

Fechas	05-oct-15	09-oct-15	13-oct-15	17-oct-15	21-oct-15	25-oct-15	29-oct-15	02-nov-15	06-nov-15	10-nov-15	14-nov-15	18-nov-15	22-nov-15	26-nov-15
	Semana_1	Semana_2	Semana_3	Semana_4	Semana_5	Semana_6	Semana_7	Semana_8	Semana_9	Semana_10	Semana_11	Semana_12	Semana_13	Semana_14
T1	40	38	35	41	38	37	36	40	32	38	31	29	27	27
T2	37	37	32	38	42	43	44	32	30	47	30	31	28	26
T3	39	37	30	38	38	32	48	45	32	35	32	30	29	28
T4	36	38	39	32	47	49	42	41	36	35	33	31	35	32
T5	37	37	30	47	49	36	30	34	38	30	39	32	34	39
T6	32	39	40	36	39	44	30	35	35	31	30	35	39	36

Los datos promedios monitoreados del tratamiento y de su réplica respectiva respecto a la humedad para los seis tratamientos según el diseño experimental planteado, se observan en la tabla 4.2 por un periodo de 53 días iniciándose con humedades de 32% hasta 40% y culminando en el 27% hasta 39%, esto indica que la variación de la humedad fue significativa.

Figura 4.2. Medición de la humedad % del compostaje





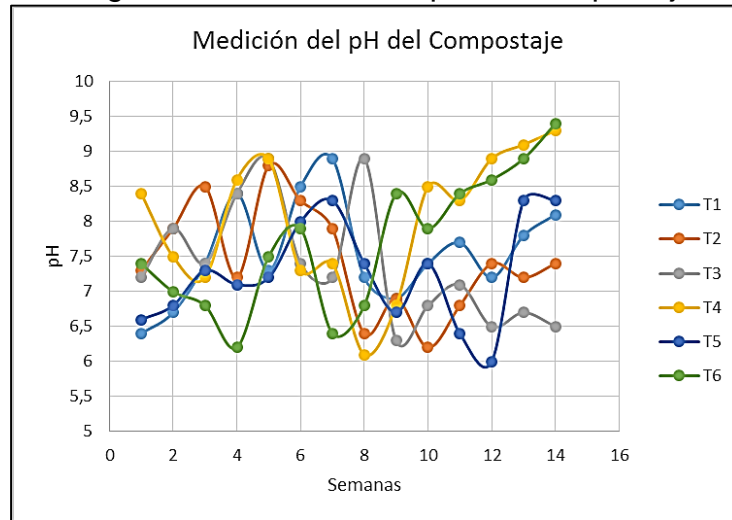
**La figura 4.2** representa el comportamiento de los promedios de la humedad para cada prueba experimental observándose que los tratamientos 2, 3, 4 y 5 llegan a obtener mayores humedades a partir de la cuarta semana y a partir de la doceava semana empezaron a decaer las humedades en los tratamientos 1, 2 y 3, mayormente la humedad varia de 10 a 15 unidades del % de humedad por semana, esto a las condiciones atmosféricas del medio donde se están desarrollando los tratamientos otras de las causas son el constante adición de agua y se remueve para evitar la compactación y también aseguró la aireación durante el proceso de descomposición y esto también depende del medio donde se encuentra el desarrollo del tratamiento que es a condiciones atmosféricas del lugar.

Tabla 4.3 Medición del pH del compostaje

Fechas	05-oct-15	09-oct-15	13-oct-15	17-oct-15	21-oct-15	25-oct-15	29-oct-15	02-nov-15	06-nov-15	10-nov-15	14-nov-15	18-nov-15	22-nov-15	26-nov-15
	Semana_1	Semana_2	Semana_3	Semana_4	Semana_5	Semana_6	Semana_7	Semana_8	Semana_9	Semana_10	Semana_11	Semana_12	Semana_13	Semana_14
<b>T1</b>	6,4	6,7	7,4	8,4	7,3	8,5	8,9	7,2	6,9	7,4	7,7	7,2	7,8	8,1
<b>T2</b>	7,3	7,9	8,5	7,2	8,8	8,3	7,9	6,4	6,9	6,2	6,8	7,4	7,2	7,4
<b>T3</b>	7,2	7,9	7,4	8,4	8,9	7,4	7,2	8,9	6,3	6,8	7,1	6,5	6,7	6,5
<b>T4</b>	8,4	7,5	7,2	8,6	8,9	7,3	7,4	6,1	6,8	8,5	8,3	8,9	9,1	9,3
<b>T5</b>	6,6	6,8	7,3	7,1	7,2	8	8,3	7,4	6,7	7,4	6,4	6	8,3	8,3
<b>T6</b>	7,4	7	6,8	6,2	7,5	7,9	6,4	6,8	8,4	7,9	8,4	8,6	8,9	9,4

Los datos promedios monitoreados del tratamiento y de su réplica respetiva respecto al pH para los seis tratamientos según el diseño experimental planteado, se observan en la tabla 4.3 por un periodo de 53 días iniciándose con pH de 6,6 hasta 8,4 y culminando en un rango de 7,4 hasta 9,4; esto indica que la variación del pH fue significativa.

Figura 4.3. Medición del pH del compostaje



La figura 4.3 representa el comportamiento de los promedios del pH que fluctúa desde 6 hasta 8,5 al iniciar el compostaje y llegan a culminar en la catorceava semana entre 6,5 y 9,5 unidades de pH en todos los tratamientos realizados a diferentes características de materia orgánica, estiércol de ovino y microorganismos eficaces.

Después del tratamiento de los residuos sólidos orgánicos con microorganismos eficaces y estiércol de ovino a diferentes proporciones se obtuvieron los resultados siguientes:

Para la primera prueba experimental se utilizó 500 mL de microorganismo eficaces, y 50 kilogramos de residuos orgánicos con 50 kilogramos de estiércol de Ovino por un periodo de 53 días y al finalizar se obtuvo los siguientes resultados del tratamiento con su respectiva réplica del compostaje elaborado.

Tabla 4.4 Parámetros de Compostaje con M\_1 y R\_1

Claves	pH	C.E. dS/m	MO (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Muestra N° 1	8,15	10,9	25,82	1,19	1,64	1,43
Muestra N° 2	8,24	11,3	24,89	1,26	1,77	1,39

Claves	CaO (%)	MgO (%)	Hd (%)	Na (%)	Relación C/N
Muestra N° 1	6,39	0,89	28,14	0,24	11,69
Muestra N° 2	7,05	0,98	25,45	0,2	10,16

Según la tabla 4.4 se observa que la variación de las muestras semejantes y ligeramente varían en otras esto se debe a que la muestra N° 2 es una réplica del tratamiento realizado y de igual manera se realizó para otros parámetros que a continuación se presentan, para la discusión de resultados se promedió los tratamientos.

Para la segunda prueba experimental se utilizó 500 mL de microorganismos eficaces, y 75 kilogramos de residuos orgánicos con 25 kilogramos de estiércol de Ovino por un periodo de 53 días y al finalizar se obtuvo los siguientes resultados del tratamiento con su respectiva réplica del compostaje elaborado.

Tabla 4.5 Parámetros de Compostaje con M\_1 y R\_2

Claves	pH	C.E. dS/m	MO (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Muestra N° 3	7,39	13,44	22,46	0,39	1,94	1,34
Muestra N° 4	7,54	13,05	23,12	0,43	1,88	1,25

Claves	CaO (%)	MgO (%)	Hd (%)	Na (%)	Relación C/N
Muestra N° 3	5,21	1,14	25,76	0,89	9,48
Muestra N° 4	5,14	1,19	26,32	0,8	10,24

Para la tercera prueba experimental se utilizó 500 mL de microorganismos eficaces, y 100 kilogramos de residuos orgánicos con 0 kilogramos de estiércol de Ovino por un periodo de 53 días y al finalizar se obtuvo los siguientes resultados del tratamiento con su respectiva réplica del compostaje elaborado.

Tabla 4.6 Parámetros de Compostaje con M\_1 y R\_3

Claves	pH	C.E. dS/m	MO (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Muestra N° 5	6,71	12,54	16,32	0,29	1,45	1,44
Muestra N° 6	6,32	12,19	15,97	0,32	1,59	1,32

Claves	CaO (%)	MgO (%)	Hd (%)	Na (%)	Relación C/N
Muestra N° 5	4,9	0,99	27,43	0,9	8,06
Muestra N° 6	4,55	1,05	28,9	0,87	8,28

Para la cuarta prueba experimental se utilizó 1000 mL de microorganismo eficaces, y 50 kilogramos de residuos orgánicos con 50 kilogramos de estiércol de Ovino por un periodo de 53 días y al finalizar se obtuvo los siguientes resultados del tratamiento con su respectiva réplica del compostaje elaborado.

Tabla 4.7 Parámetros de Compostaje con M\_2 y R\_1

Claves	pH	C.E. dS/m	MO (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Muestra N° 7	9,32	11,86	20,22	1,89	1,33	1,87
Muestra N° 8	9,18	11,29	19,87	2,01	1,41	1,93

Claves	CaO (%)	MgO (%)	Hd (%)	Na (%)	Relación C/N
Muestra N° 7	10,37	0,54	31,7	0,53	13,17
Muestra N° 8	11	0,66	32,4	0,61	14,05

Para la quinta prueba experimental se utilizó 1000 mL de microorganismo eficaces, y 75 kilogramos de residuos orgánicos con 25 kilogramos de estiércol de Ovino por un periodo de 53 días y al finalizar se obtuvo los siguientes resultados del tratamiento con su respectiva réplica del compostaje elaborado.

Tabla 4.8 Parámetros de Compostaje con M\_2 y R\_2

Claves	pH	C.E. dS/m	MO (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Muestra N° 9	8,5	9,22	32,43	1,55	2,4	1,18
Muestra N° 10	8,25	9,15	30,94	1,5	2,28	1,15

Claves	CaO (%)	MgO (%)	Hd (%)	Na (%)	Relación C/N
Muestra N° 9	25,85	0,88	40,9	1,2	20,21
Muestra N° 10	25,1	0,79	38,56	1,1	22,43

Para la sexta prueba experimental se utilizó 1000 mL de microorganismo eficaces, y 100 kilogramos de residuos orgánicos con 0 kilogramos de estiércol de Ovino por un periodo de 53 días y al finalizar se obtuvo los siguientes resultados del tratamiento con su respectiva réplica del compostaje elaborado.

Tabla 4.9 Parámetros de Compostaje con M\_2 y R\_3

Claves	pH	C.E. dS/m	MO (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Muestra N° 11	9,34	9,03	30,23	2,42	2,6	1,04
Muestra N° 12	9,37	8,83	31,76	2,56	2,47	1,11

Claves	CaO (%)	MgO (%)	Hd (%)	Na (%)	Relación C/N
Muestra N° 11	19,03	0,87	35,5	0,64	17,3
Muestra N° 12	18,48	0,74	36,22	0,54	16,76

#### 4.2. Discusión de resultado

La elaboración de compostaje duro 53 días para cada uno de los tratamientos experimentales planteados, terminado el procedimiento de su elaboración y monitoreo de los parámetros de temperatura en °C, humedad en % y el pH durante toda la elaboración se mandó analizar el compostaje resultante a la Universidad Nacional Agraria la Molina, los parámetros indicadores de un compost de buena calidad.

A los diferentes tratamientos se les realizó una disminución del tamaño de partícula para aumentar la superficie de contacto de la materia orgánica con los microorganismos eficaces y el estiércol de ovino, facilitando la actividad de los microorganismos en el proceso de descomposición, y reducir el tiempo de maduración del abono

El tiempo de compostaje desde la formación del camellón hasta la obtención del compost es de alrededor de 53 días para los tratamientos realizados, debido a la transformación de la materia orgánica y al desprendimiento de carbono en forma de  $\text{CO}_2$ , el cual se puede diferenciar en la relación de C/N, la relación C/N se usa tradicionalmente como indicador de la madurez y estabilidad de la materia orgánica, una mala relación repercute sobre la movilidad del nitrógeno y la baja disponibilidad de oxígeno, la relación C/N es el factor ambiental más importante y debe controlarse para asegurar una fermentación correcta siendo este uno de los parámetros que mejor indica la maduración del compost.

De acuerdo al tiempo de degradación, se da el grado de madurez al realizar biotransformación o degradación parcial (descomposición de un compuesto orgánico en otro similar) y mineralización o degradación completa, cuando todas las moléculas de dióxido de carbono se descomponen en su totalidad. El tiempo determinado para la elaboración del compostaje fue de 53 días obteniendo en el quinto tratamiento todos parámetros dentro del rango normal de un compost buena calidad, a diferencia de los otros tratamientos que tienen más de 2 parámetros fuera del rango planteado por la Organización Mundial de Salud (OMS).

Se analizaron 11 parámetros al compostaje obtenido en cada tratamiento con su respectiva réplica, para tener mayor representatividad de los resultados se obtuvieron los promedios de los resultados y de esta manera compararlos con el rango normal de la OMS.

Tabla 4.10 Valores del pH por tratamiento

pH						
Descripción	ME_1 y R_1	ME_1 y R_2	ME_1 y R_3	ME_2 y R_1	ME_2 y R_2	ME_2 y R_3
<b>M_1</b>	8,15	7,39	6,71	9,32	8,5	9,34
<b>M_1-R</b>	8,24	7,54	6,32	9,18	8,25	9,37
<b>Prom_M</b>	8,20	7,47	6,52	9,25	8,38	9,36

Según la tabla 4.10 se observa el pH obtenido para cada tratamiento, el rango óptimo para este parámetro fluctúa entre 6 a 9, de tal manera que el pH de los tratamientos cuatro y seis sobrepasan el rango óptimo teniendo valores de 9,25 y 9,36; y con respecto a los tratamientos 1, 2, 3 y 5 se encontrarían dentro del rango óptimo, La duración de la descomposición de la materia prima depende de ciertas condiciones como el pH a menores o mayores valores que se encuentran del rango provocan una variación en la población microbiana; Por lo tanto, estos fueron medidos continuamente.

Figura 4.4. Variación del pH en los Tratamientos



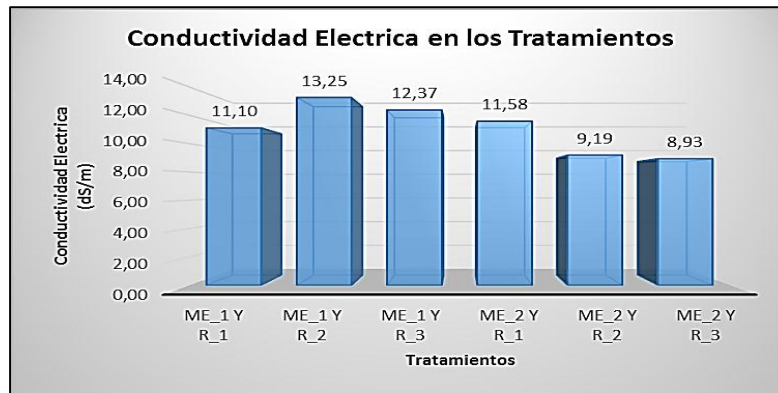
La figura 4.4 se muestra la variación del pH de 6,52 ligeramente ácido hasta llegar 9,36 siendo un pH básico, dentro de este rango, el desarrollo se llevó sin ninguna preocupación ya que la población microbiana aun no es susceptible y no alcanza a llegar a la muerte por acidez o alta basicidad, porque las bacterias prefieren un medio casi neutro, mientras los hongos se desarrollan mejor en un medio ligeramente ácido y los valores obtenidos en dos de los tratamientos sobrepasan ligeramente en medio básico.

Tabla 4.11 Valores de la Conductividad por tratamiento

Conductividad (dS/m)						
Descripción	ME_1 y R_1	ME_1 y R_2	ME_1 y R_3	ME_2 y R_1	ME_2 y R_2	ME_2 y R_3
<b>M_1</b>	10,9	13,44	12,54	11,86	9,22	9,03
<b>M_1-R</b>	11,3	13,05	12,19	11,29	9,15	8,83
<b>Prom_M</b>	11,10	13,25	12,37	11,58	9,19	8,93

Según la tabla 4.11 se observa la conductividad eléctrica obtenidos para cada tratamiento el rango óptimo para este parámetro fluctúa entre 5 dS/m a 10 dS/m, de tal manera que los tratamientos 5 y 6 se encuentran dentro del rango óptimo mientras que los tratamientos del 1 al 4 no se encuentran en el rango esto indica la presencia de sales solubles en el compost, los altos niveles de sales repercuten sobre la germinación de semillas y en el desarrollo general del cultivo, dependiendo de la tolerancia de los cultivos y del tipo de suelo a ser fertilizado. Para el caso de sustratos para cultivos debe manejarse un nivel de salinidad bajos

Figura 4.5. Variación de la conductividad eléctrica en los Tratamientos



La figura 4.5 se muestra la variación de la conductividad eléctrica de 8,93 hasta 13,25, los tres primeros tratamientos fueron inoculados 500 mL de microorganismos eficaces, mientras que en los otros tres siguientes fueron inoculados 1000 mL de microorganismos eficaces, siendo estos quienes reducen las sales solubles en el compostaje. Mientras que en el 5 y 6 tratamiento se encuentran dentro del rango normal.



Tabla 4.12 Valores de materia orgánica por tratamiento

<b>Materia Orgánica (%)</b>						
<b>Descripción</b>	<b>ME_1 y R_1</b>	<b>ME_1 y R_2</b>	<b>ME_1 y R_3</b>	<b>ME_2 y R_1</b>	<b>ME_2 y R_2</b>	<b>ME_2 y R_3</b>
<b>M_1</b>	25,82	22,46	16,32	20,22	32,43	30,23
<b>M_1-R</b>	24,89	23,12	15,97	19,87	30,94	31,76
<b>Prom_M</b>	25,36	22,79	16,15	20,05	31,69	31,00

Según la tabla 4.12 se observa el % de materia orgánica presente en el compostaje obtenido para cada tratamiento el rango óptimo para este parámetro fluctúa entre 25% a 50% de tal manera que los tratamientos 1, 5 y 6 se encuentran dentro del rango mientras que los tratamientos del 2 al 4 no se encuentran dentro del rango, la reducción de tamaño de los materiales mediante la molienda y trituración es necesaria para que pueda existir mayor contacto dado que la velocidad de descomposición de la materia orgánica guarda una relación con el tamaño de los materiales, es decir, mientras mayor volumen tenga un determinado material, más lento será su proceso de descomposición debido a que los microorganismos eficaces y el estiércol de ovino no tendría el mayor contacto posible con los residuos orgánicos y de esta manera el tiempo de degradación aumenta por lo tanto el tamaño de los residuos orgánica influye directamente el % de materia orgánica que se pueda obtener en el proceso de compostaje .

Figura 4.6. Variación de la materia orgánica en los Tratamientos



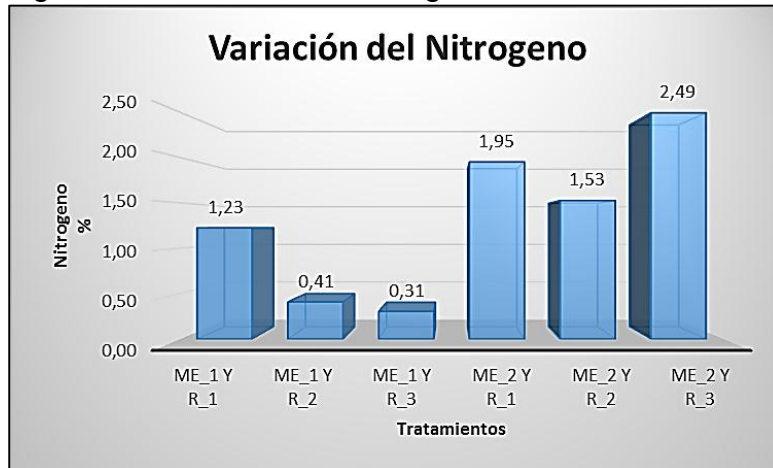
La figura 4.6 se muestra la variación de la materia orgánica de 16,15 % hasta 31,69 % en los tratamientos 5 y 6 habiendo sido inoculados 1000 mL de microorganismos eficaces que permite la degradación de materia orgánica a través de grupos funcionales de microorganismos particularmente bacterias y hongos y su mineralización, que se refleja en la calidad del mismo.

Tabla 4.13 Valores de nitrógeno por tratamiento

Nitrógeno (%)						
Descripción	ME_1 y R_1	ME_1 y R_2	ME_1 y R_3	ME_2 y R_1	ME_2 y R_2	ME_2 y R_3
<b>M_1</b>	1,19	0,39	0,29	1,89	1,55	2,42
<b>M_1-R</b>	1,26	0,43	0,32	2,01	1,5	2,56
<b>Prom_M</b>	1,23	0,41	0,31	1,95	1,53	2,49

Según la tabla 4.13 se observa el % de nitrógeno presente en el compostaje obtenido para cada tratamiento el rango óptimo para este parámetro fluctúa entre 0,4% a 3,5% de tal manera que el tratamiento 3 se encuentra fuera de rango, mientras que el resto están dentro del rango, la actividad microbiana se ve afectada por la proporción de nitrógeno en los residuos orgánicos, debido a que los microbios requieren una cierta cantidad de nitrógeno para vivir y crecer, la escasez de nitrógeno retrasa considerablemente el proceso de compostaje, la nitrificación es ayudado con los microorganismos eficaces inoculados en las composteras.

Figura 4.7. Variación del nitrógeno en los Tratamientos



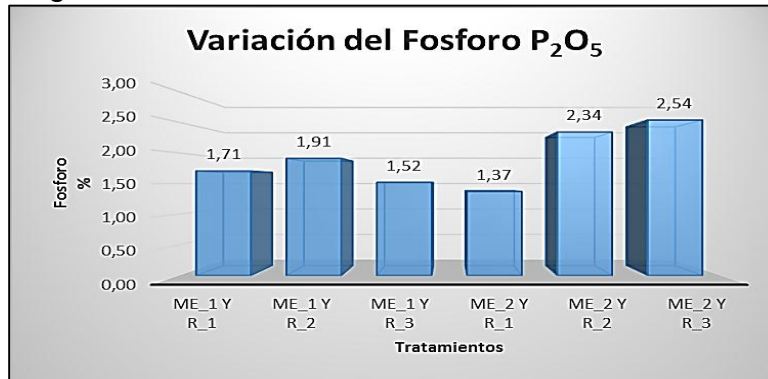
La figura 4.7 se muestra la variación del nitrógeno de 0,31 % hasta 2,49 % en el tratamiento 3, no se adiciono estiércol de ovino, siendo este necesario para la nitrificación en el compostaje, también se debe a la ausencia de bacterias de tipo nitrificante en la descomposición de la materia.

Tabla 4.14 Valores de fósforo por tratamiento

Fósforo (%)						
Descripción	ME_1 y R_1	ME_1 y R_2	ME_1 y R_3	ME_2 y R_1	ME_2 y R_2	ME_2 y R_3
<b>M_1</b>	1,64	1,94	1,45	1,33	2,4	2,6
<b>M_1-R</b>	1,77	1,88	1,59	1,41	2,28	2,47
<b>Prom_M</b>	1,71	1,91	1,52	1,37	2,34	2,54

Según la tabla 4.14 se observa el % de fósforo presente en el compostaje obtenido para cada tratamiento el rango óptimo para este parámetro fluctúa entre 0,3% a 3,5% de tal manera que todos los tratamientos se encuentran dentro del rango, el fósforo fue notablemente afectado por la aplicación de microorganismos eficaces en todos los tratamientos.

Figura 4.8. Variación del fósforo en los Tratamientos



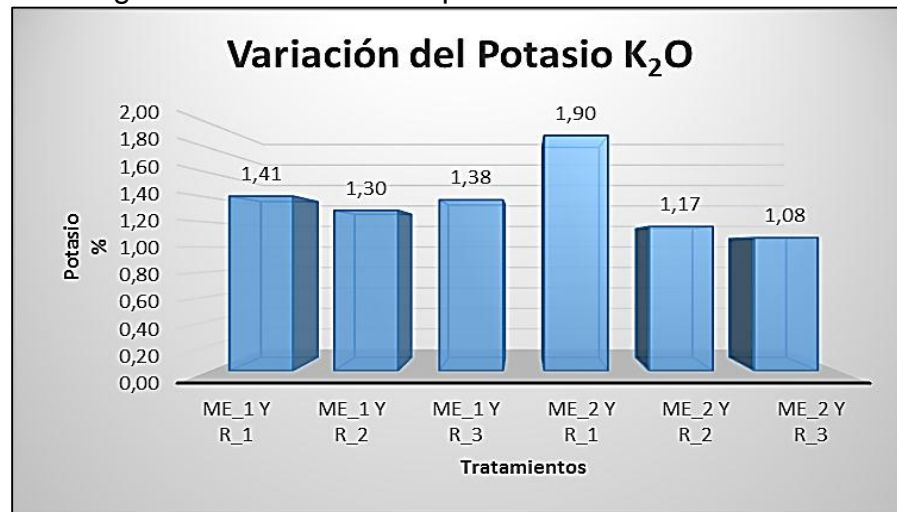
La figura 4.8 se muestra la variación del fósforo de 1,37 % hasta 2,54 %, estando todo este tratamiento dentro del rango, debido a que las materias orgánicas conjuntamente con los microorganismos eficaces mantienen el porcentaje de fósforo en relación al nitrógeno, siendo estos esenciales para el desarrollo metabólico en el compostaje, el fósforo de los residuos orgánicos se encuentra fundamentalmente en formas de ácidos nucleicos, fosfolípidos y fitina. La adición de estiércol de ovino no solo puede aumentar los niveles de fósforo en el suelo por acción directa, sino que también pueden mejorar la capacidad de absorción y disponibilidad del fósforo del suelo.

Tabla 4.15 Valores de potasio por tratamiento

Descripción	Potasio (%)					
	ME_1 y R_1	ME_1 y R_2	ME_1 y R_3	ME_2 y R_1	ME_2 y R_2	ME_2 y R_3
M_1	1,43	1,34	1,44	1,87	1,18	1,04
M_1-R	1,39	1,25	1,32	1,93	1,15	1,11
Prom_M	1,41	1,30	1,38	1,90	1,17	1,08

Según la tabla 4.15 se observa el % de potasio presente en el compostaje obtenido para cada tratamiento el rango óptimo para este parámetro fluctúa entre 0,5% a 1,8% de tal manera que el tratamiento 4 sobre pasa el rango mientras que los otros tratamientos se encuentran dentro del rango, la abundancia de potasio en solución aumenta la salinidad.

Figura 4.9. Variación del potasio en los Tratamientos



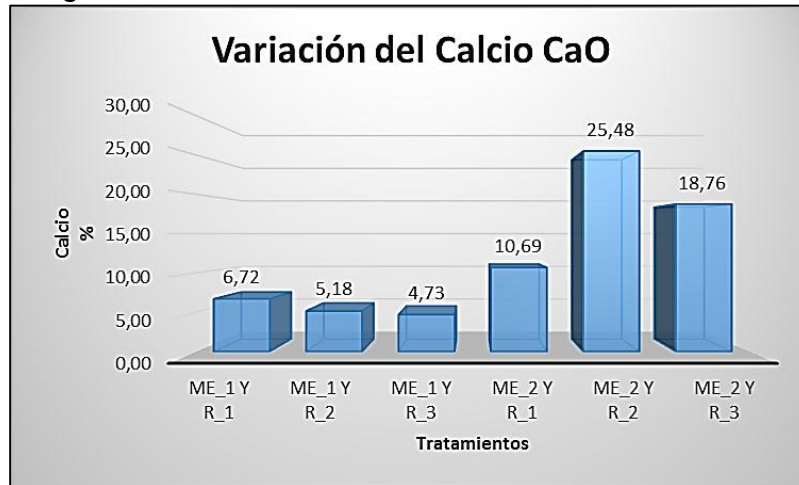
La figura 4.9 se muestra la variación del potasio de 1,08 % hasta 1,90 %, en el tratamiento 4 se obtiene mayor % de potasio debido a la cantidad de microorganismo eficaces, % de materia orgánica y % de estiércol de ovino, los cuales son factores para la elaboración del compostaje y la temperatura también es un factor importante ya que al iniciar el tratamiento fue incrementándose y después fue bajando hasta terminar.

Tabla 4.16 Valores de Calcio por tratamiento

Descripción	Calcio (%)					
	ME_1 y R_1	ME_1 y R_2	ME_1 y R_3	ME_2 y R_1	ME_2 y R_2	ME_2 y R_3
<b>M_1</b>	6,39	5,21	4,9	10,37	25,85	19,03
<b>M_1-R</b>	7,05	5,14	4,55	11	25,1	18,48
<b>Prom_M</b>	6,72	5,18	4,73	10,69	25,48	18,76

Según la tabla 4.16 se observa el % de Calcio presente en el compostaje obtenido para cada tratamiento el rango óptimo para este parámetro fluctúa entre 20% a 65% de tal manera que el tratamiento 1, 2, 3 y 4 son menores del rango mientras que el 5 se encuentran dentro del rango, esto es característico a la cantidad de microorganismo agregados a los tratamientos de 500 mL.

Figura 4.10. Variación del Calcio en los Tratamientos



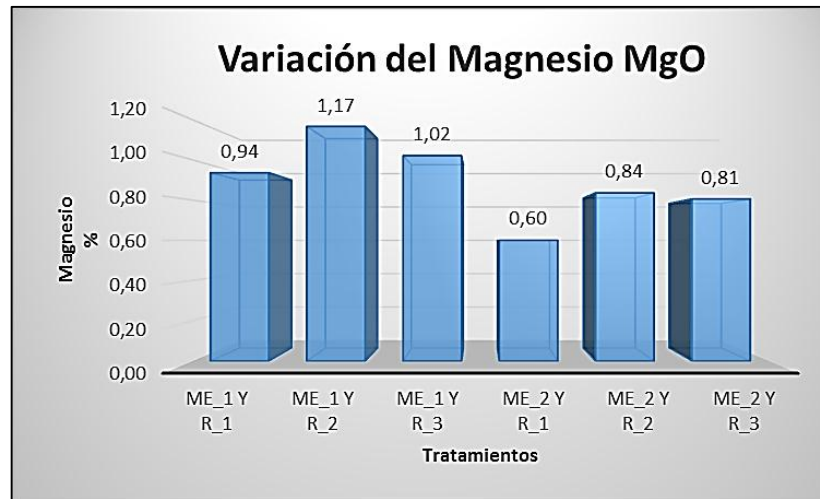
La figura 4.10 se muestra la variación del calcio de 4,73 % hasta 25,48 % de calcio elaborado con 75% de materia orgánica y 25% de estiércol de ovino, inoculando 1000 mL de microorganismos eficaces, en comparación al resto de los tratamientos. Por su contenido de calcio también puede utilizarse como enmienda durante la etapa de establecimiento, o como parte de la fertilización de mantenimiento.

Tabla 4.17 Valores de magnesio por tratamiento

Magnesio (%)						
Descripción	ME_1 y R_1	ME_1 y R_2	ME_1 y R_3	ME_2 y R_1	ME_2 y R_2	ME_2 y R_3
<b>M_1</b>	0,89	1,14	0,99	0,54	0,88	0,87
<b>M_1-R</b>	0,98	1,19	1,05	0,66	0,79	0,74
<b>Prom_M</b>	0,94	1,17	1,02	0,60	0,84	0,81

Según la tabla 4.17 se observa el % de magnesio presente en el compostaje obtenido para cada tratamiento el rango óptimo para este parámetro fluctúa entre 0,3 % a 1,8 % de tal manera que todos los tratamientos se encuentren dentro del rango, en los tratamientos 2 y 3 se obtuvo mayores porcentajes.

Figura 4.11. Variación del Magnesio en los Tratamientos



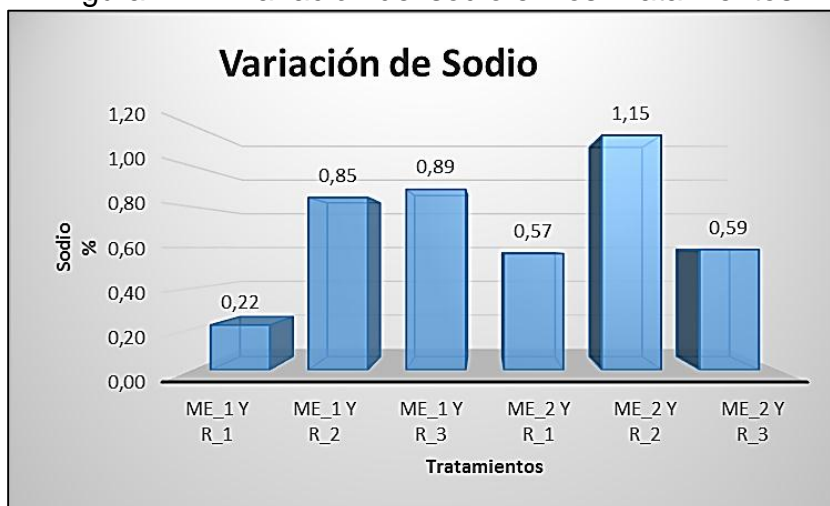
La figura 4.11 se muestra la variación de magnesio de 0,60 % hasta 1,17 % de magnesio uno de los parámetros que influye según los resultados, es la cantidad de la adición de los microorganismos eficaces a menor cantidad, mayor porcentaje se obtuvo de magnesio.

Tabla 4.18 Valores de sodio por tratamiento

Descripción	Sodio (%)					
	ME_1 y R_1	ME_1 y R_2	ME_1 y R_3	ME_2 y R_1	ME_2 y R_2	ME_2 y R_3
<b>M_1</b>	0,24	0,89	0,9	0,53	1,2	0,64
<b>M_1-R</b>	0,2	0,8	0,87	0,61	1,1	0,54
<b>Prom_M</b>	0,22	0,85	0,89	0,57	1,15	0,59

Según la tabla 4.18 se observa el % de sodio presente en el compostaje obtenido para cada tratamiento el rango óptimo para este parámetro fluctúa entre 0,3 % a 3,5 % de tal manera que el primer tratamiento se encuentra fuera del rango, el calcio antagoniza el efecto dispersante del sodio en suelos sódicos y el ion nitrato es el único antagonista fisiológico del ion cloruro, lo que lo hace una fuente de alto valor en condiciones de salinidad.

Figura 4.12. Variación del sodio en los Tratamientos



La figura 4.12 se muestra la variación de sodio de 0,22 % hasta 1,15 % de sodio, como se conoce es variable el grado de salinidad que puede presentar un compost, siempre está dentro de unos niveles que no reviste riesgo aparente de salinización para el suelo; no obstante, el nivel en sodio no deberá sobrepasar el límite del 3,5 % sobre su contenido total de materia seca.

Tabla 4.19 Valores de Humedad por tratamiento

Humedad (%)						
Descripción	ME_1 y R_1	ME_1 y R_2	ME_1 y R_3	ME_2 y R_1	ME_2 y R_2	ME_2 y R_3
<b>M_1</b>	28,14	25,76	27,43	31,7	40,9	35,5
<b>M_1-R</b>	25,45	26,32	28,9	32,4	38,56	36,22
<b>Prom_M</b>	26,80	26,04	28,17	32,05	39,73	35,86

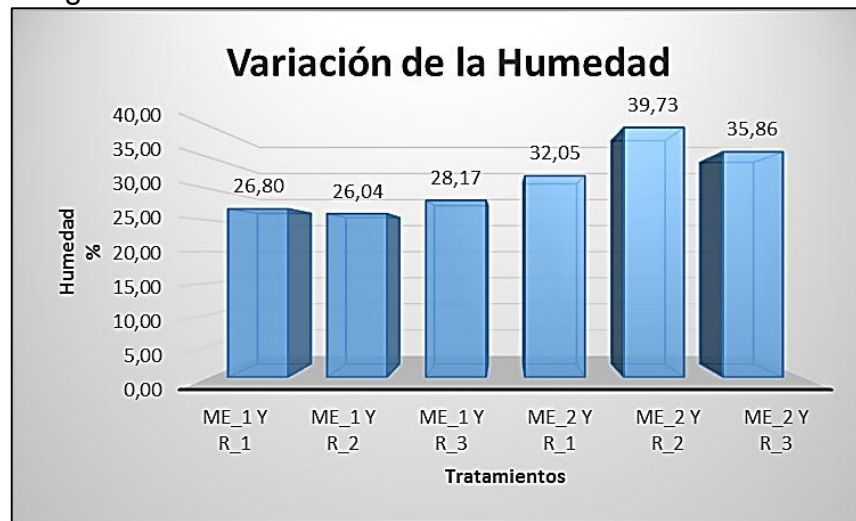
Según la tabla 4.19 se observa el % de humedad presente en el compostaje obtenido para cada tratamiento el rango óptimo para este parámetro fluctúa entre 30 % a 50 % de tal manera que los tres primeros tratamientos son menores al límite el cual es influida por la cantidad de microorganismos eficaces de 500 mL, el contenido de humedad de este tipo de residuos es relativo dependiendo de varios factores entre ellos tenemos las



características de los residuos sólidos orgánicos, tiempo de exposición a los factores climáticos, manejo, condiciones de la disposición, etc.,

La humedad es necesaria para el hábitat de los microorganismos y la formación de la biomasa de estos, de esta forma ello ayuda a la descomposición de la materia prima con una mayor efectividad y rapidez, la humedad del sistema compostado en pila dependen directamente de la altura que alcance.

Figura 4.13. Variación de la humedad en los Tratamientos



La figura 4.13 se muestra la variación de la humedad de 26,04 % hasta 39,73 % de humedad.

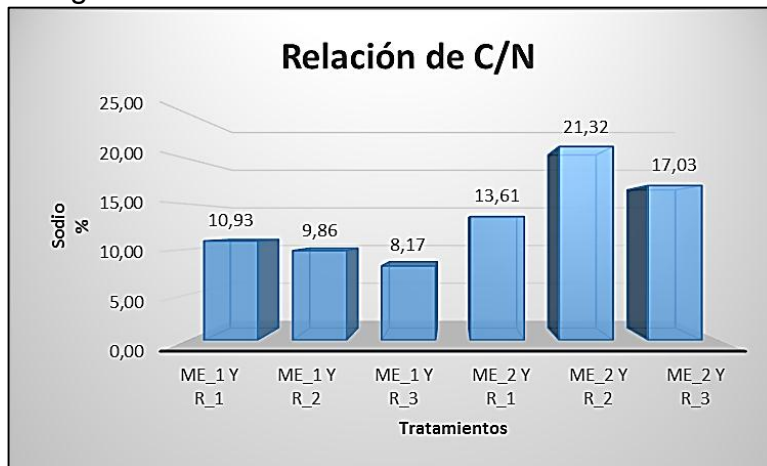
Es importante mantener la humedad en torno al 60 % durante las primeras fases del proceso, ya que los organismos encargados de la descomposición de los materiales necesitan un cierto contenido en agua para desarrollar su actividad, durante el proceso de compostaje hay que controlar la temperatura.

Tabla 4.20 Valores de la relación de C/N por tratamiento

Relación C/N						
Descripción	ME_1 y R_1	ME_1 y R_2	ME_1 y R_3	ME_2 y R_1	ME_2 y R_2	ME_2 y R_3
<b>M_1</b>	11,69	9,48	8,06	13,17	20,21	17,3
<b>M_1-R</b>	10,16	10,24	8,28	14,05	22,43	16,76
<b>Prom_M</b>	10,93	9,86	8,17	13,61	21,32	17,03

Según la tabla 4.20 se observa la relación C/N presente en el compostaje obtenido para cada tratamiento el rango óptimo para este parámetro fluctúa entre 10 a 30 de tal manera que los tratamientos 2 y 3 son menores al límite del rango, la relación C/N para un correcto compostaje donde se aprovechen la mayor parte del C y del N debe ser adecuada, los microorganismos utilizan 30 partes de C generalmente por cada una de N, se precisa que en la mezcla inicial este parámetro presente un valor entre 25 y 30, esta relación influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación C/N es mayor a 40 la actividad biológica disminuye, donde el exceso de carbono debe ser oxidado, si los productos a compostar tienen una relación C/N baja, el compostaje se lleva a cabo con mayor rapidez, pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, lo que supone una pérdida de N que es el nutriente fundamental para los cultivos.

Figura 4.14. Variación del C/N en los Tratamientos



La figura 4.14 se muestra la variación de la relación C/N desde 8,17 hasta 21,32; la relación C/N se usa tradicionalmente como indicador de la madurez y estabilidad de la materia orgánica, una mala relación repercute sobre la movilidad del nitrógeno y la baja disponibilidad de oxígeno, la relación C/N es el factor ambiental más importante y debe controlarse para asegurar una fermentación correcta siendo este uno de los parámetros que mejor indica la maduración del compost. El proceso de compostaje depende de la acción de los microorganismos que requieren de una fuente de carbono que les proporcione energía y material para nuevas células junto a un suministro de nitrógeno para proteínas celulares, se considera que si hay suficiente nitrógeno disponible en la materia orgánica original, la mayoría de los otros nutrientes estarán también disponibles en cantidades adecuadas, la relación C/N inicial óptima está comprendida entre 25 y 30, y esta relación se hace cada vez menor con el tiempo de compostaje debido a la transformación de la materia orgánica y al desprendimiento de carbono en forma de CO<sub>2</sub>, si la relación C/N es muy baja se producen pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco, mientras que cuando los valores son muy elevados la disponibilidad del nitrógeno es baja, repercutiendo en un descenso de la actividad orgánica lo cual alargaría considerablemente el proceso de compostación.

### 4.3. Contrastación de la hipótesis

#### One-way ANOVA: pH versus Tratamiento

Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis At least one mean is different

Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Tratamiento	6	1; 2; 3; 4; 5; 6

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamiento	5	11,6926	2,33851	105,62	0,000
Error	6	0,1328	0,02214		
Total	11	11,8254			

**Interpretación:** Se realizó la comparación de Fisher con el Minitab 17 con los análisis obtenidos del pH y se observó según las medias calculadas que existen cuatro grupos A, B, C y D esto nos indica que si existe diferencia significativa en la producción de Compost a partir de los residuos sólidos en mezcla con el estiércol de ovino y microorganismos eficaces

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,148801	98,88%	97,94%	95,51%

Means

Tratamiento	N	Mean	StDev	95% CI
1	2	8,1950	0,0636	(7,9375; 8,4525)
2	2	7,4650	0,1061	(7,2075; 7,7225)
3	2	6,515	0,276	( 6,258; 6,772)
4	2	9,2500	0,0990	(8,9925; 9,5075)
5	2	8,375	0,177	( 8,118; 8,632)
6	2	9,3550	0,0212	(9,0975; 9,6125)

Pooled StDev = 0,148801

### Fisher Pairwise Comparisons

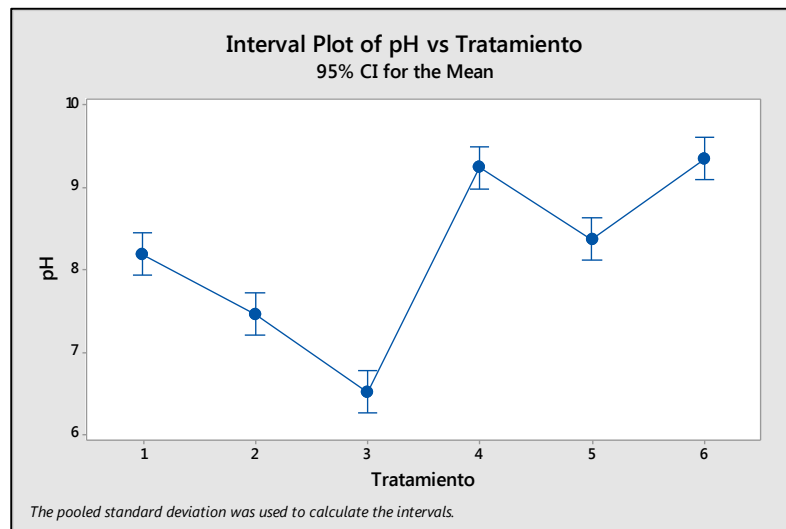
Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Tratamiento	N	Mean	Grouping
6	2	9,3550	A
4	2	9,2500	A
5	2	8,375	B
1	2	8,1950	B
2	2	7,4650	C
3	2	6,515	D

Means that do not share a letter are significantly different.

**Interpretación:** Se realizó la comparación de Fisher con el Minitab 17 con los análisis obtenidos del pH y se observó según las medias calculadas que existen cuatro grupos A, B, C y D esto nos indica que si existe diferencia significativa en la producción de Compost a partir de los residuos sólidos en mezcla con el estiércol de ovino y microorganismos eficaces

Figura 4.15. Interval Plot of pH vs Tratamiento



En la Figura 4.15 se observa que la diferencia de las medias es significativa y los intervalos de confianza se encuentran distantes, según los tratamientos en la producción de compost.

## One-way ANOVA: Humedad (%) versus Tratamiento

Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis At least one mean is different

Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Tratamiento	6	1; 2; 3; 4; 5; 6

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamiento	5	300,188	60,038	44,49	0,000
Error	6	8,097	1,350		
Total	11	308,286			

**Interpretación:** Se realizó la comparación de Fisher con el Minitab 17 con los análisis obtenidos de la Humedad y se observó según las medias calculadas que existen cuatro grupos A, B, C y D esto nos indica que si existe diferencia significativa en la producción de Compost a partir de los residuos sólidos en mezcla con el estiércol de ovino y microorganismos eficaces.

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,16170	97,37%	95,18%	89,49%

Means

Tratamiento	N	Mean	StDev	95% CI
1	2	26,80	1,90	( 24,78; 28,81)
2	2	26,040	0,396	(24,030; 28,050)
3	2	28,165	1,039	(26,155; 30,175)
4	2	32,050	0,495	(30,040; 34,060)
5	2	39,73	1,65	( 37,72; 41,74)
6	2	35,860	0,509	(33,850; 37,870)

Pooled StDev = 1,16170

### Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

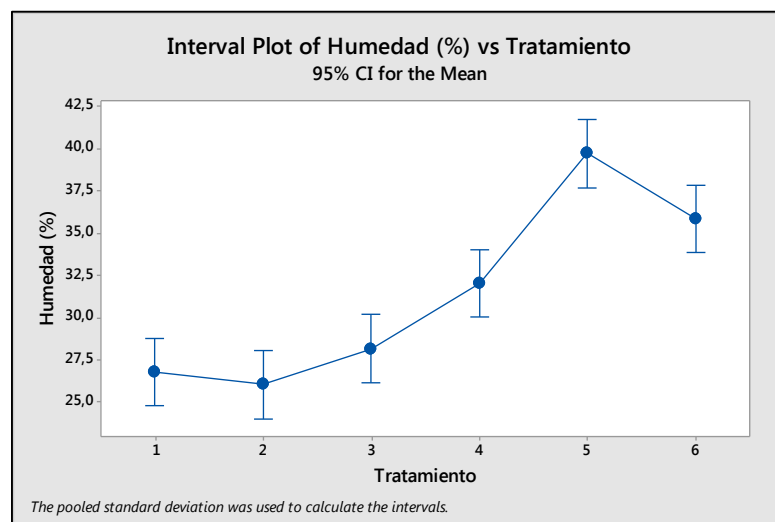
Tratamiento	N	Mean	Grouping
5	2	39,73	A
6	2	35,860	B
4	2	32,050	C
3	2	28,165	D
1	2	26,80	D
2	2	26,040	D

Means that do not share a letter are significantly different.

Means that do not share a letter are significantly different.

**Interpretación:** Se realizó la comparación de Fisher con el Minitab 17 con los análisis obtenidos de la Humedad y se observó según las medias calculadas que existen cuatro grupos A, B, C y D esto nos indica que si existe diferencia significativa en la producción de Compost a partir de los residuos sólidos en mescla con el estiércol de ovino y microorganismos eficaces

Figura 4.16. Interval Plot of Humedad (%) vs Tratamiento



En la Figura 4.17 se observa que la diferencia de las medias es significativa y los intervalos de confianza se encuentran distantes, según los tratamientos en la producción de compost.

## CONCLUSIONES

Los microorganismos eficaces son elementales en la producción de compost como se pudo demostrar en las pruebas experimentales donde se inocularon 1 litro de EM, como inoculante microbiana, reestablecen el equilibrio microbiológico del suelo y mejora sus condiciones físico-químicas, incrementando la producción de los cultivos debido a que los parámetros obtenidos se encuentran dentro del rango para un compostaje de buena calidad combinados con estiércol de ovino caso contrario existe deficiencia en los parámetros de pH, C.E, MO, K<sub>2</sub>O y CaO que fueron comparados con los estándares de la ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS).

La actividad microbiana distinguió procesos generales como la determinación de C y N de la biomasa microbiana, la mineralización del Nitrógeno la determinación del ATP, la actividad oxidoreductasas como deshidrogenasa y catalasa, que corresponden a reacciones concretas y dependió de sus sustratos específicos que se aplicaron en 3 dosificaciones, en relación al estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos de 50/50, 75/25 y 100/0 respectivamente, las dos primeras dosificaciones se obtuvieron los mejores resultados de los parámetros de la calidad del compost en comparación de la tercera dosificación que la mitad de los parámetros estudiados se encuentran fuera de los rangos, la dosificación más eficiente fue de 50/50 con 1 litro de microorganismos eficaces debido a que todos los parámetros medidos están dentro de los rango de una buena calidad de compost.

Durante el proceso de compostaje el pH desciende inicialmente como consecuencia de la formación de los ácidos orgánicos, a medida que el proceso avanza el valor del pH aumenta hasta 8.5. el pH tiene influencia directa sobre la disposición de los nutrientes y además influye en el valor de la capacidad del intercambio catiónico y la actividad biológica.



Obteniendo la composición óptima de compostaje a partir de los Microorganismos Eficaces, estiércol de ovino y residuos sólidos orgánicos fue de 8,5 de pH; 9,6 dS/m de C.E, 32,43 % de MO; 1,55 % de N; 2,4 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 1,18 % de K<sub>2</sub>O; 25,85 % de CaO; 0,88 % de MgO; 40,9% de humedad, 1,2 % de Na y 20,21 de C/N.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda mayor atención y cuidado en la etapa primaria de la elaboración del compost, al escoger el estiércol del ganado sano y joven, que no haya sido alimentado por concentrados desmedidamente ni presente enfermedades como difteria o fiebre aftosa entre otras.

Es importante considerar que además se debe evaluar la dinámica de las comunidades microbianas para definir si la aplicación de compostas tiene efecto positivo o negativo sobre la microbiota, ya que se sabe que hay diversos microorganismos, principalmente bacterias que crecen en simbiosis con las plantas y son necesarios para el buen desarrollo de las mismas

Seguir mejorando estos porcentajes de materia orgánica y microorganismos eficaces, utilizando sea: mejoradores y selección de otros materiales a compostar que brinden mejores alternativas de obtención de N, P, K. que irán en beneficio del área agrícola y del consumidor final.

Se recomienda crear modelos que permitan correlacionar de manera rápida los resultados de productos biológicos de características similares y obtener niveles de calidad; es decir, modelos que puedan abarcar desde la caracterización de los productos, la calidad de esos productos y los efectos de los mismos en el suelo o en la producción del rubro agrícola de interés.

Es además necesario el evaluar la aplicación de compostas para enmiendas de otros tipos de suelos, como es el caso de suelos ácidos o calcáreos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado P. 2004. Producción de compostaje. Facultad de Agronomía Universidad de Chile. Consultado el 27 de mayo de 2009.
2. Moreno, J. 2008. Compostaje , Editorial Mundi-prensa Libros. Madrid España.
3. Añaños, R. Lozano, O. y Santa Cruz, Y. 2004. Elaboracion de Criterios Tecnicos de Calidad para la Evaluacion de Compost. Tesis ciclo Optativo de Profesionalizacion en Gestion de la Calidad y Auditoria Ambiental. UNALM.Peru.
4. Sheila N. Azurduy A. y Noel Ortuño C.2006. Evaluacion de Actividores Organicos para acelerar el proceso de compostaje de residuos solidos organicos en el Municipio de Quillacollo. En la Universidad Catolica de Bolivia San Pablo, Cochabamba Bolivia.
5. Rivero, C. 1999. Materia Organica del Suelo. Universidad Central de Venezuel. Facultad de Agronomia. Consultado el 31 de mayo de 2009.
6. Salas, M. paredes, O. castillo, C. Carlotto, V. Samanez, R. y Rojas, J. 1998. Cusco Medio Ambiente y Desarrollo Urbano, Editorial Universitaria UNSAAC. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.
7. Jose, F. Uribe, Monica Estrada y Santiago Cordova. 2000. Grupo de Investigacion de Produccion Avicola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universiada de Antioquia Medellin Colombia.
8. (NOM-083-SEMARNAT). (2003). *Especificaciones de proteccion ambiental para la seleccion de sitio, diseño, construccion, operacion, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposicion final de residuos solidos urbanos y de manejo especial*. Mexico: SEMERNAT.
9. Baca , G. (2007). *Fundamentos de ingeniería económica*. México: McGraw Hill.

10. Bass, L., E., B. T., & A., P. M. (2006). *COMPOSTING A Guide to Managing Organic Yard Wastes*. North Carolina: Natural Resources.
11. Berent, M., & Vedoya, D. (2006). *Modelo de gestión ambiental de residuos sólidos urbanos*. Buenos Aires: Universidad Nacional Del Nordeste.
12. Biernbaum, J., & Fogiel, A. (2004). *Compost Production and Use*. Michigan : State University.
13. Cofre León, C. (2007). *Distintas tecnologías de tratamiento para los residuos ganaderos y de las industrias agroalimentarias aplicados al caso concreto de castilla y león*. España: Instituto Tecnológico Agrario.
14. Dickerson, G. (2001). *College of Agriculture and Home Economics*. New Mexico: Vermicomposting State University.
15. Graue, A. L. (2006). *Enfoque de negocios Microeconomía*. Labrador.
16. legislatura., A. L. (2003). *Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal*.
17. Ministerio de Agricultura, P. y. (2015). *La materia orgánica en los agrosistemas*. España: Ediciones Mundi-Empresa.
18. Nirenberg, O. (2005). *Programación y evaluación de proyectos sociales: Aportes para la racionalidad y la transparencia*. Argentina: Paidós 1ra. Edición. .
19. Ramos , S. C. (2006). *Biodegradación de asfaltenos del Prestige mediante la aplicación de las técnicas de compostaje-vermicompostaje*. España: Labrador.
20. Ricaurte, S. (2005). *Compostaje en las granjas avícolas*.
21. Rodríguez, M., & Córdova, A. (2006). *Manual de Compostaje Municipal*.
22. Sztern, D., & Pravia, M. (2001). *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos*. . Uruguay: Organización panamericana de la salud.
23. Tavera, M. E., & Salinas, E. (2007). *Ponencia "La Competitividad del Nopal en Milpa Alta"*. Universidad Autónoma Chapingo.
24. Terra, F. (2003). *Perspectiva Ambiental 29 Compostaje*. *Associació de Mestres Rosa Sensat*, 43.

## **ANEXOS**

**Foto N° 1**



Se ha realizado el acondicionamiento de los residuos sólidos domiciliarios en el área de compostaje.

**Foto N° 2**



Se ha realizado el riego por aspersión a las pilas de compostaje, donde se hizo dos veces por semana



**Foto N° 3**



Imagen tomada después del volteo de todas las pilas de compostaje.

**Foto N° 4**



Materiales que se ha usado, para el trabajo de compostaje, como tales; mantada, rastrillo, regadera, pico, lampa, balde etc.



**Foto N° 5**



Se ha realizado la medición de la temperatura en la pila de compostaje, con el equipo llamado termómetro.

**Foto N° 6**



Se ha realizado el volteo de las pilas de compostaje, donde se hizo cada semana.



**Foto N° 7**



Se ha realizado el tapado con plástico, cada una de las pilas de compostera, para acondicionar a una temperatura óptima.

**Foto N° 8**



Se ha realizado la adición de estiércol de ovino, a la vez se hizo la medición de la temperatura.



**Foto N° 9**



Se ha realizado la toma de datos, de las pilas de compostera periódicamente.

**Foto N° 10**



Uso del Multiparametro para el monitoreo de las pilas de compostaje, donde se obtuvo, la Temperatura, pH, Humedad y conductividad.



**Foto N° 11**



Las pilas de compostaje, con sus respectivos letreros de identificación.

**Foto N° 12**



Se ha realizado la Georeferenciación con GPS en el lugar de las composteras, llamado RUMICHACA.

**Foto N° 13**



Se ha realizado el pesado de compost la cantidad de 1 kg para su respectivo análisis.

**Foto N° 14**



En la imagen se muestra las respectivas muestras listas para ser llevado al laboratorio para su respectivo análisis.

## **REPORTES DE ANÁLISIS**





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



## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : ALEXANDER ZACARIAS PAPUICO  
 PROCEDENCIA : JUNÍN/ HUANCAYO/ INGENIO/ C.P. CASACANCHA  
 MUESTRA DE : COMPOST  
 REFERENCIA : H.R. 54284  
 BOLETA : 13144  
 FECHA : 31/05/16

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
450	Muestra N° 1	8.15	10.90	25.82	1.19	1.64	1.43
451	Muestra N° 2	8.24	11.30	24.89	1.26	1.77	1.39
452	Muestra N° 3	7.39	13.44	22.46	0.39	1.94	1.34
453	Muestra N° 4	7.54	13.05	23.12	0.43	1.88	1.25

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %	Relación C/N
450	Muestra N° 1	6.39	0.89	28.14	0.24	11.69
451	Muestra N° 2	7.05	0.98	25.45	0.20	10.16
452	Muestra N° 3	5.21	1.14	25.76	0.89	9.48
453	Muestra N° 4	5.14	1.19	26.32	0.80	10.24



*Dr. Saúl García Bendezú*  
 Jefe de Laboratorio



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

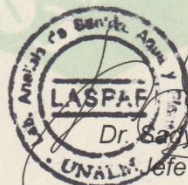


## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : ALEXANDER ZACARIAS PAPUICO  
 PROCEDENCIA : JUNÍN/ HUANCAYO/ INGENIO/ C.P. CASACANCHA  
 MUESTRA DE : COMPOST  
 REFERENCIA : H.R. 54284  
 BOLETA : 13144  
 FECHA : 31/05/16

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
454	Muestra N° 5	6.71	12.54	16.32	0.29	1.45	1.44
455	Muestra N° 6	6.32	12.19	15.97	0.32	1.59	1.32
456	Muestra N° 7	9.32	11.86	20.22	1.89	1.33	1.87
457	Muestra N° 8	9.18	11.29	19.87	2.01	1.41	1.93

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %	Relación C/N
454	Muestra N° 5	4.09	0.99	27.43	0.90	8.06
455	Muestra N° 6	4.55	1.05	28.09	0.87	8.28
456	Muestra N° 7	10.37	0.54	31.70	0.53	13.17
457	Muestra N° 8	11	0.66	32.40	0.61	14.05

  
 Dr. Saúl García Bendezú  
 Jefe de Laboratorio

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





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



## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : ALEXANDER ZACARIAS PAPUICO  
 PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ INGENIO/ C.P. CASACANCHA  
 MUESTRA DE : COMPOST  
 REFERENCIA : H.R. 54284  
 BOLETA : 13144  
 FECHA : 31/05/16

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
458	Muestra N° 9	8.50	9.22	32.43	1.55	2.40	1.18
459	Muestra N° 10	8.25	9.15	30.94	1.50	2.28	1.15
460	Muestra N° 11	9.34	9.03	30.23	2.42	2.60	1.04
461	Muestra N° 12	9.37	8.83	31.76	2.56	2.47	1.11

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %	Relación C/N
458	Muestra N° 9	25.85	0.88	40.90	1.20	20.21
459	Muestra N° 10	25.10	0.79	38.56	1.10	22.43
460	Muestra N° 11	19.03	0.87	35.50	0.64	17.30
461	Muestra N° 12	18.48	0.74	36.22	0.54	16.76



*Sady García Bendezú*  
 Jefe de Laboratorio

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



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

LISTADO DE METODOS USADOS PARA LOS ANÁLISIS

MATRÍZ	MATERIA ORGÁNICA SÓLIDA
PARÁMETRO	Metodología
pH	Método potenciométrico en pasta saturada
Conduct. eléctrica (dS/m)	Lectura con conductímetro en pasta saturada
Humedad %	Método gravimétrico
Materia orgánica (%)	Calcinación o pérdida por ignición
Carbono orgánico (%)	Método de Walkley y Black modificado
N Total (mg/L)	Método de micro-Kjeldahl modificado
P Total (%) ó P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Digestión vía húmeda (en solución nitro-perclórica) y posterior colorimetría empleando reactivo sulfomolibdico
K Total (%) ó 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
Fe Total (mg/kg)	Espectrofotometría de absorción atómica
Cu Total (mg/kg)	Espectrofotometría de absorción atómica
Zn Total (mg/kg)	Espectrofotometría de absorción atómica
Mn Total (mg/kg)	Espectrofotometría de absorción atómica
Cr Total (mg/kg)	Espectrofotometría de absorción atómica
B Total (mg/kg)	Digestión vía húmeda (calcinación) y posterior colorimetría empleando el método de curcumina acética
C/N	Cálculo por división de C orgánico/N total
Pb Total (mg/kg)	Espectrofotometría de absorción atómica
Cd Total (mg/kg)	Espectrofotometría de absorción atómica
Cr Total (mg/kg)	Espectrofotometría de absorción atómica
Ácidos húmicos	Extracción alcalina, posterior acidificación y gravimetría
Ácidos fúlvicos	Extracción alcalina, posterior acidificación y gravimetría
Huminas	Extracción alcalina, posterior acidificación y gravimetría

## MATRÍZ

## MATERIA ORGÁNICA LÍQUIDA

PARÁMETRO	Metodología	Referencia
pH	Método potenciométrico por inmersión y lectura directa	
Conduct. eléctrica (dS/m)	Lectura directa con conductivímetro	
Sólidos totales (g/L)	Método gravimétrico por evaporación	
Materia orgánica en solución (g/L)	Calcinación o pérdida por ignición	
Carbono orgánico (g/L)	Método de Walkley y Black modificado	
N Total (mg/L)	Método de micro-Kjeldahl modificado	
P Total (mg/L) ó P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Digestión vía húmeda (en solución nitro-perclórica) y posterior colorimetría empleando reactivo sulfomolibdico	
K Total (mg/L) ó K <sub>2</sub> O	Espectrofotometría de absorción atómica	
Ca Total(mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	
Mg Total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	
Na Total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	
Fe Total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	
Cu Total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	
Zn Total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	
Mn Total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	
Cr Total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	
B Total (mg/L)	Digestión vía húmeda (calcinación) y posterior colorimetría empleando el método de curcumina acética	
C/N	Cálculo por división de C orgánico/N total	
Pb Total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	
Cd Total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	
Cr Total (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	
Ácidos húmicos	Extracción alcalina, posterior acidificación y gravimetría	
Ácidos fúlvicos	Extracción alcalina, posterior acidificación y gravimetría	
Huminas	Extracción alcalina, posterior acidificación y gravimetría	

### CARACTERIZACIÓN DEL ESTIÉRCOL DE OVINO.

<b>Muestras de estiércol de ovino</b>	<b>pH</b>	<b>C.E dS/m</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Humedad %</b>
<b>1</b>	<b>6.2</b>	<b>4.08</b>	<b>19</b>	<b>60.50</b>
<b>3</b>	<b>6.4</b>	<b>7.02</b>	<b>18</b>	<b>51.04</b>
<b>4</b>	<b>7.3</b>	<b>5.03</b>	<b>20</b>	<b>47.05</b>
<b>5</b>	<b>7.5</b>	<b>6.05</b>	<b>19</b>	<b>50.02</b>
<b>6</b>	<b>6.7</b>	<b>4.07</b>	<b>17</b>	<b>43.05</b>

**NORMA TECNICA DE COMPOST SEGÚN LA  
ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS)**



**EVALUACIÓN DE RESULTADOS**

**Parámetros del compost obtenido**

Los análisis de las muestras de compost se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM y dio como resultados:

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

	Poza 1 (P2)	Poza 2 (P3)
pH	7,10	6,90
C.E. dS/m	21,10	16,83
M.O. %	14,90	23,10
N %	0,64	1,09
P2O5 %	0,57	0,98
K2O %	1,80	1,57
CaO %	4,05	5,09
MgO %	1,56	1,69
Hd %	26,34	35,74
Na %	0,40	0,25

Fuente: Propia.

**Comparación de los resultados de las muestras de compost obtenidos de cada poza**

Como se puede apreciar en el Cuadro 2, la Organización Mundial de la Salud ha establecido rangos normales para compost comercial de sus componentes de humedad, materia orgánica, materia inerte, pH (acidez) y tamaño de las partículas.

Cuadro 2. Propiedades generales de un compost para ser comercializado.

Propiedades	Rango normal
Contenido de humedad (%)	30 - 50
Materia inerte (%)	30 - 70
Contenido orgánico (%)	10 - 30
PH	6 - 9
Tamaño máximo de las partículas (mm)	2 - 10

Fuente: OMS (1985).

En el Cuadro 3 se muestra el rango de valores para diferentes parámetros, en los cuales se encuentran las características químicas del compost terminado.

Estos rangos son bastante amplios debido a los diferentes materiales iniciales proporcionando características químicas variadas.

Parámetro	Porcentaje en Peso %
Materia orgánica	25 - 50
Carbono	8 - 50
Nitrógeno, como N <sub>i</sub>	0,4 - 3,5
Fósforo como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,3 - 3,5
Potasio como K <sub>2</sub> O	0,5 - 1, 8
Cenizas	20 - 65
Calcio	1,5 - 7,0

- **Tiempo:** El tiempo transcurrido hasta que el compost esté listo dependerá de la época del año (más rápido en verano que en invierno), de la consistencia de los restos vegetales (materiales más finos que han sido picados fermentan más rápido) y del sistema de preparación.

Los resultados fueron:

En la poza 1, el tiempo del proceso fue de 3 meses y una semana.

En la poza 2, el tiempo del proceso fue de 4 meses y 2 semanas.

- **Temperatura:** Las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso de compostaje aerobio crean las condiciones necesarias para reducir las bacterias patógenas presentes en los residuos; con este método se espera eliminar cierto tipo de organismos patógenos. Los resultados fueron:

En la poza 1 va a tener una elevada temperatura llegando hasta 67°C en la fase termofílica.

En la poza 2 va a tener una elevada temperatura llegando hasta 65 en la fase termofílica.

- **Color:** El color de las muestras de compost fueron: el de la poza 1 que contiene materia orgánica es más oscura que el de la poza 2, que es de rastrojo.
- **pH:** Debe ser medido con pH-metro. El compost orgánico debe tener un pH mínimo de 6,0.

Los resultados obtenidos de pH en la poza 1 (7,10) y en la poza 2 (6,90) comparando con la fuente de la O.M.S de un compost para ser comercializado están dentro del rango normal (6-9). En conclusión el pH es neutro.

Comparando los resultados del compost de las dos pozas:

## 2.7. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y DETERMINACIÓN DE LOS DOS MEJORES TIPOS DE COMPOST.

Una vez obtenido los 4 tipos de compost procedentes de: AVÍCOLAS, CARVAL DE VACUNOS, RESIDUOS ORGÁNICOS DE MERCADO y LA MEZCLA DE LOS TRES ANTERIORES, se determinó a los dos mejores de ellos mediante una evaluación de la calidad física, química y biológica en la Universidad Agraria La Molina. Esta evaluación consistió en un análisis de porcentaje de materia orgánica, relación Carbono/Nitrógeno, porcentaje de humedad, pH, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de fósforo; cantidad de otros minerales y la carga microbiana (coliformes fecales y coliformes totales). También se tuvo en cuenta las normativas para enmiendas orgánicas y los criterios de aptitud del compost según la OMS.

**CUADRO 3.** Abono orgánico según la Organización Mundial de la Salud.

PROPIEDADES	RANGO NORMAL
Contenido de humedad (%)	30-50
Materia inerte (%)	30-70
Contenido orgánico (%)	10-30
Ph	6-9
Tamaño máximo de partículas (mm)	2-10
Materia orgánica (%)	25-50
Carbono (%)	8-50
Nitrógeno (%)	0.4-3.5
Fosforo (%)	0.3-3.5
Potasio (%)	0.5-1.8

Los resultados de los análisis de Laboratorio tanto de Materia Orgánica y Análisis Microbiológico, tomando en consideración las normas internacionales sobre compost (Cuadro 3), permitieron determinar que los dos mejores tipos de compost eran: el Compost AVE de proceso mecanizado de dosis máxima (RA-MMA) y el Compost MEZCLA de proceso mecanizado de dosis mínima (RME-MMI), aquí se pudo comprobar que la calidad del compost producido mecanizadamente es superior al compost producido artesanalmente o tradicionalmente. Ver Cuadro 4.