

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE COMPOST CON
MICROORGANISMOS EFICIENTES EN EL DISTRITO DE RUPA RUPA**

Tesis

Para optar el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

Presentado por:

SANCHEZ GONZALES FRANKLIN

Tingo María – Perú

2015

DEDICATORIA

A DIOS todo poderoso, gracias te doy por tu bendición y protección por guiar mis pasos, por darme la vida, la fuerza el valor necesario para seguir adelante y cumplir con una de mis metas más deseadas en la vida.

A mis padres Nicasio Segundo Sánchez Miranda y Marilú Gonzales Grandez, quienes con mucho esfuerzo, amor y sabios consejos han hecho posible mi formación académica, gracias por su confianza.

A mis queridos hermanos Edwin, Ibis y Jaime. Quienes mantienen su confianza en mí.

A mi compañera incondicional Yanisa Arili Moza, por la perseverancia de su amor para una vida bendecida y próspera.

AGRADECIMIENTO

- A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyeron en mi formación profesional.
- A mi asesor Ing. Juan Pablo RENGIFO TRIGOZO, por sus incontables orientaciones durante la ejecución y redacción de la investigación.
- Al Ing. Richard Siaz Rodríguez por permitirme realizar este trabajo de investigación en el Laboratorio de Microbiología de la UNAS.
- A los miembros del jurado calificador de tesis, Ing. Jaime TORRES GARCÍA, Ing. M.Sc. Sandro Jr. RUIZ CASTRE y al Ing. Víctor Manuel BETETA ALAVARADO.
- A mis amigos (as) Miguel MENDEZ ARRIETA; Marcos SOLOAGA HUAMAN; José HUAYNATES NATIVIDAD, Silvano LAURENCIO DE LA CRUZ; Jhoseph AGUILAR CAMPOS; Yoseli POMA ARRIETA y Johnny MELENDEZ PAIMA; quienes compartieron conmigo invalorable momentos durante mi etapa universitaria, que me disculpen si no mencione a algunos más.
- A mi tía Rosa SARELA GONZALES por el apoyo incondicional y estar pendiente de mí y darme el ánimo para seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Historia del compostaje.....	3
2.2. Compost.....	4
2.2.1. Parámetros físicos del compost.....	5
2.2.2. Parámetros químicos del compost.....	9
2.2.3. Parámetros biológicos del compost.....	16
2.2.4. Parámetros microbiológicos del compost.....	20
2.3. Las materias primas del compost.....	24
2.4. El proceso de compostaje.....	25
2.4.1. Fase mesófila.....	25
2.4.2. Fase termófila.....	25
2.4.3. Fase mesófila.....	26
2.4.4. Fase de maduración.....	26
2.5. Factores que condicionan el proceso de compostaje.....	27
2.5.1. Tamaño de las partículas.....	27
2.5.2. Relación carbono/nitrógeno.....	28

2.5.3. Contenido de humedad.....	31
2.5.4. Mezcla/volteo.....	31
2.5.5. Temperatura.....	31
2.5.6. pH.....	32
2.5.7. Dimensiones de la pila.....	32
2.6. Microbiología del proceso de compostaje.....	32
2.6.1. Las bacterias.....	33
2.6.2. Los hongos.....	33
2.6.3. Actinomicetos.....	34
2.7. Métodos para la producción de compost.....	34
2.8. Organismos patógenos en el compost.....	38
2.9. Aplicaciones del compost.....	39
2.9.1. Compost maduro.....	40
2.9.2. Compost joven.....	40
2.10. Propiedades y ventajas del compostaje.....	41
2.11. El compost como producto final.....	42
2.11.1. Índices de calidad del compost.....	43
2.12. La tecnología de los microorganismos eficientes.....	44
2.12.1. Historia.....	44
2.12.2. Generalidades de los microorganismos eficaces.....	45

2.12.3. Mecanismos de los microorganismos eficaces.....	48
2.12.4. La inoculación de la pila o compostera.....	48
2.12.5. Aplicaciones del EM.....	49
2.13. Antecedentes de investigación.....	51
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	54
3.1. Descripción de la zona en estudio.....	54
3.1.1. Lugar de ejecución.....	54
3.1.2. Zona de vida.....	54
3.1.3. Clima.....	55
3.2. Materiales, insumos y equipos.....	55
3.2.1. Materiales y herramientas.....	55
3.2.2. Insumos.....	55
3.2.3. Equipos de campo.....	56
3.2.4. Reactivos y equipos de laboratorio.....	56
3.3. Diseño de la investigación.....	56
3.4. Variables en estudio.....	56
3.5. Metodología.....	58
3.5.1. Construcción de las camas de compostaje.....	58
3.5.2. Metodología para determinar las variables en estudio.....	59
3.6. Análisis de datos.....	61

IV. RESULTADOS.....	62
4.1. Determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos en la producción de compost.....	62
4.1.1. Parámetros físicos.....	62
4.1.2. Parámetros químicos.....	64
4.1.3. Parámetros biológicos.....	66
4.2. Identificación y cuantificación de los microorganismos presentes en la producción de compost.....	67
4.2.1. Identificación de microorganismos.....	67
4.2.2. Cuantificación de microorganismos.....	69
4.3. Correlación de los parámetros químicos con los microorganismos presentes en el compost.....	71
V. DISCUSIÓN.....	72
5.1. Parámetros físicos, químicos y biológicos evaluados en la producción de abonos orgánicos.....	72
5.1.1. Parámetros físicos.....	72
5.1.2. Parámetros químicos.....	72
5.2. Identificación y cuantificación de los microorganismos presentes en la producción de compost.....	75
5.2.1. Identificación de microorganismos.....	75
5.2.2. Cuantificación de microorganismos.....	75

5.2.3. Correlación de los parámetros químico con los microorganismos presentes en el compost.....	76
VI. CONCLUSIONES.....	77
VII. RECOMENDACIONES.....	78
VIII. ABSTRACT.....	79
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXO.....	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Relación de las etapas del proceso de compostaje y la temperatura.....	8
2. Requerimientos nutricionales de las plantas.....	10
3. Macronutrientes, su función en la planta y su proporción.....	11
4. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna en el proceso de compostaje.....	17
5. Cadena alimenticia en el compost.....	19
6. Índices de calidad microbiológica del compost.....	21
7. Valores permisibles de los microorganismos patógenos en el compost.....	21
8. Contenido de relación C/N de algunos materiales orgánicos.....	28
9. Relación carbono – nitrógeno.....	29
10. Microorganismos patógenos asociados al compost.....	39
11. Especificaciones referenciales de la calidad física - química del compost.....	44
12. Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio.....	54
13. Parámetros físicos, químicos y biológicos del compost.....	56

14. Distribución de materiales en cada cama.....	58
15. Temperaturas generadas en cada tratamiento durante las mediciones.....	62
16. Humedad y materia orgánica en base seca evaluados en cuatro tratamientos de compost.....	64
17. Valores de pH generados en cada tratamiento por semana durante las evaluaciones.....	64
18. Parámetros químicos evaluados en porcentaje en cuatro tratamientos de compost.....	65
19. Parámetros químicos evaluados en ppm en cuatro tratamientos de compost.....	66
20. Macro y microfauna encontrados en los cuatro tratamientos de compost.....	67
21. Identificación de microorganismos en cuatro tratamientos de compost.....	68
22. Identificación de microorganismos eficientes (liquido) en los tratamientos.....	68
23. Cuantificación de microorganismos colonias por gramo de compost evaluados mediante análisis microbiológico.....	69
24. Correlación de Pearson entre las variables químicas con los microorganismos del compost.....	71

- 25. Evaluación In Situ del proceso de compostaje del tratamiento 3.....92
- 26. Evaluación In Situ del proceso de compostaje del tratamiento 2... ..93
- 27. Evaluación In Situ del proceso de compostaje del tratamiento 1.....95
- 28. Evaluación In Situ del proceso de compostaje del tratamiento 0.....97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje.....	27
2. Inoculación con microorganismos.....	99
3. Lectura de temperaturas diarias.....	100
4. Volteo de camas.....	100
5. Producto final.....	101
6. <i>Callitroga sp.</i>	101
7. <i>Gryllotalpa gryllotalpa</i>	102
8. <i>Lithobius sp.</i>	102
9. Realizando la cuantificación de microorganismos.....	103
10. <i>Penicillium sp.</i>	103
11. <i>Basillus Sp.</i>	104
12. <i>Pseudomona Sp.</i>	104
13. <i>Aspergillus sp.</i>	105
14. <i>Geotrichum sp.</i>	105
15. <i>Nocardia sp.</i> en placa petri.....	106

16. <i>Aspergillus sp.</i> en placa petri.....	106
17. Plano de distribución de las pilas en la investigación.....	107
18. Plano detallado de la investigación.....	108
19. Plano de ubicación departamental de la investigación.....	109
20. Plano de ubicación provincial - distrital de la investigación.....	110

RESUMEN

La investigación se realizó en el P.P.J.J Nueve de Octubre, distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado; de setiembre a marzo del 2015. La finalidad fue determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos, identificar, cuantificar y correlacionar los microorganismos presentes en el compost con los parámetros químicos. Se elaboró cuatro composteras utilizando como insumos el estiércol de vacuno y dolomita de las cuales dos se inoculaban con (3 y 2 L de microorganismos eficientes) durante el proceso de compostaje (46 días). Para determinar la relación de la variable en estudio se utilizó la correlación r de Pearson.

Los parámetros físicos, químicos y biológicos fueron: temperatura (61.40 °C), humedad (12.20%), materia orgánica (43.32%), pH (8.6), N⁺ (2.35%), Ca²⁺ (6.79%), bajo contenido (Mg²⁺, P⁺ y K⁺). Contenidos altos (Fe²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺ y Zn²⁺), macrofauna (clase insecta, clitellata, myriápoda y malacostraca), microfauna (bacterias, actinomicetos, mohos y levaduras).

Se identificaron los géneros *Bacillus sp*, tratamiento (0, 1 y 3), *Aspergillus sp*, tratamiento (2 y 3), *Fusarium sp*, *Botrytis sp*, *Pseudomonas sp*, *Geotrichum sp*, *Nocardia Sp.*, *Trichoderma sp*, *Penicillium sp*, *Mucor sp*, y *Aspergillus sp.*, tratamiento (0, 1, 2 y 3), microorganismos eficientes (*Rhodopseudomonas*, *Mucor sp*, *Saccharomyces sp*, tratamiento (0, 1, 2 y 3), *Aspergillus sp*, tratamiento (1 y 2) y *Trichoderma sp*, en el tratamiento 2.)

Se estableció una correlación positiva (0.99) entre la numeración de

bacterias y el magnesio con un valor (0.094454), la correlación y numeración de actinomicetos, mohos y levaduras con el calcio es fuertemente positiva (1.00), (0.034432) y (0.001285) las variables evaluadas son directamente proporcionales, mientras una variable aumenta la otra tiende a subir o viceversa.

I. INTRODUCCIÓN

A partir de la revolución verde se incrementó el uso de insumos químicos utilizándolos indiscriminadamente, sin pensar en los efectos secundarios que surgirían en el deterioro del ambiente y la salud humana. Actualmente se sabe que muchos de estos insumos han provocado la degradación del suelo ocasionando la desaparición de poblaciones de microorganismos y controladores naturales de plagas con ello el surgimiento de nuevas plagas. Los pesticidas y abonos químicos han causado la pérdida de fertilidad de los suelos, el descenso de los rendimientos de cosechas e ingresos netos, en consecuencia han tenido un impacto negativo en la dinámica ecológica de los agroecosistemas (GLIESSMAN, 2000 y 2002). Adicionalmente, tanto la salud del agricultor y su familia como la del público consumidor en general se han visto afectadas por la utilización indiscriminada de dichos insumos (MATSUZAKI, 2001 Y UOZUMI, 2002). Hoy en día se ve afectado la agricultura marcando un hito en el manejo inadecuado de las prácticas agrícolas o usos de la tierra incorporando indiscriminadamente insumos químicos que promueven pérdidas de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas. Se ostenta que los microorganismos eficientes influyen en el comportamiento de los parámetros físicos, químicos y biológicos en la producción de compost, proyectando una agricultura orgánica sustentable que

reforzará el entendimiento a corto y largo plazo, según lo anterior citado se asumió los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar la producción de compost con microorganismos eficientes en el distrito de Rupa Rupa.

Objetivos específicos

- Determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos (macrofauna) en la producción de compost.
- Identificar y cuantificar los microorganismos presentes en la producción de compost.
- Correlacionar los microorganismos presentes en el compost con los parámetros químicos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Historia del compostaje

MAYEA (1995) manifiesta que la elaboración del compost a partir de desechos orgánicos no es nueva, es una práctica secular en Asia, se conoce hace cientos de años en muchas partes del mundo. El uso de los materiales está ligado de manera histórica y directa con la fertilidad y productividad de los suelos agrícolas (ANDFIASS,1998).

En occidente se conoció esta técnica a partir de las observaciones del profesor F. H. King del Departamento de Agricultura de los E.E.U.U. en 1909 y los experimentos de Sir Albert Howar, considerado el padre de la producción científica de compost (FAO, 1991), quien perfeccionó la técnica entre 1905 y 1934 y realizó ensayos en la región de Indore, la India, método que se aplicó por primera vez en el estado de Kingatori , Kenya en el año 1933, la técnica produjo buenos resultados.

Por estos años se adquirió un entendimiento del efecto de los parámetros físicos y químicos más importantes en el compostaje, así como de las interacciones microbianas implicadas; más adelante se dieron diversos criterios sobre el compost a partir de estudios en los que tuvieron en

cuenta diferentes procesos como fermentación aeróbica y anaeróbica, procesos biológicos, bioquímicos, de síntesis y descomposición debido a la acción de diferentes microorganismos, sobre los cuales actúan diversos factores como: humedad, temperatura, aireación en condiciones controladas (FAO, 1991).

THE ECONOMIST (1993) menciona que en el presente la única vía de avance debe venir de una mayor preocupación por el suelo, mejora el manejo y aumento del reciclado de desechos orgánicos para la producción de cultivos en millones de pequeñas explotaciones, además constituye según MINAZ (1991); CARRIÓN *et al.*, (1999) una práctica generalizada en todos los países y especialmente en los desarrollados tanto por el procesamiento de residuos urbanos y desperdicios como los residuos agroindustriales, valorándose su potencialidad por su doble carácter beneficiar la agricultura y conservar el medio ambiente. En Cuba el ingeniero Álvaro Reinoso fue el pionero en la aplicación de abonos orgánicos (PAÉZ Y CHENIQUE, 1999).

2.2. Compost

FAO (1991) ostenta que el compost es un proceso biológico termofílico en donde la materia orgánica es descompuesta por una gran cantidad de microorganismos aerobios o anaerobios (mecanización) que digieren los compuestos orgánicos transformándolos en otros más simples.

El compost se define como el producto de la descomposición biológica de la materia orgánica de los residuos en condiciones controladas. Este proceso se puede realizar con o sin oxígeno, es decir, compost aeróbico o anaeróbico (GUZMÁN, 2007). El compost aeróbico, si se realiza correctamente puede resultar en poco tiempo en un producto libre de elementos patógenos; el compost anaeróbico necesita más tiempo y frecuentemente está libre de elementos patógenos y olores (GUZMÁN, 2007).

2.2.1. Parámetros físicos del compost

Los parámetros físicos del compost son muy importantes, sobre todo si analizamos en lo que puede repercutir su aplicación en suelos. El compost ayuda a mejorar la composición y la estructura del suelo, mejora el drenaje y la aireación del suelo y ayuda al mismo a retener humedad (CORPOICA, 2002).

La valoración del color y del olor de un compost son métodos razonables de efectos para el rechazo de compost que presentan problemas evidentes. El oscurecimiento del color de un compost durante el compostaje, viene afectado fuertemente por la materia prima. Los compost de residuos domésticos tienen generalmente un color oscuro, mientras que un compost de estiércol alcanza un color más pardo cuando está maduro (STOFFELLA Y KHAN, 2004). Típicamente, alrededor de la mitad de la materia orgánica inicial se pierde durante el compostaje (STOFFELLA Y KHAN, 2004). El compost maduro es un material que se disgrega de una manera muy fácil, se debe encontrar normalmente de color oscuro y desprende un olor a tierra, no se

distinguen los materiales inicialmente utilizados, su textura es suave y con una humedad aproximada de 40% (CORPOICA, 2002).

2.2.1.1. Humedad

El contenido de agua en los materiales que formarán parte del compost, la actividad microbiana, el nivel de oxígeno y la temperatura, son factores directamente relacionados con la humedad de la pila de compostaje. Las actividades microbianas relacionadas con el crecimiento y división celular requieren de condiciones de humedad óptimas (SILVA *et al.*, 2008). La presencia de agua dentro de las pilas de compostaje es imprescindible para el transporte de sustancias y nutrientes, de modo que los hace más accesibles para los microorganismos (SILVA *et al.*, 2008).

El equilibrio ideal de la humedad generalmente se encuentra en el rango de 50% y 60%, dependiendo de los materiales y el método de compostaje, los contenidos de humedad de 40% a 70% son tolerables; niveles de humedad superiores a 70% harían que los espacios entre las partículas del material se saturen de agua, impidiendo el movimiento del aire dentro de la pila, en consecuencia, el proceso pasaría a ser anaeróbico, eso significa que los microorganismos no tendrían oxígeno, morirían y los microbios que aparecerán por la ausencia de oxígeno tomarían el control. El material del interior de la pila se descompondrá de todas formas, pero habrá problemas, dado que las condiciones anaeróbicas crearán gases nauseabundos. Estos gases son perjudiciales y contribuyen a aumentar el problema del efecto invernadero,

humedades por debajo de 40% se genera poco calor en la pila, disminuyendo la actividad microbiana y haciendo el proceso de compostaje muy lento hasta que finalmente se detenga, ya que los microbios se habrán deshidratado. Si se deja que el compost se seque demasiado, puede ser difícil volver a humedecerlo, ya que la superficie de los materiales residuales se volverá hidrofóbica (repelente al agua). En un ambiente seco, los microbios producirán esporas que serán expulsadas al aire y pueden causar problemas de salud, incluyendo asma y otros tipos de alergias (SILVA *et al.*, 2008).

2.2.1.2. Temperatura

Este parámetro es un factor determinante en el proceso de compostaje, dado que es un indicador de la actividad microbiológica de los microorganismos, ya que estos actúan mejor dentro de rangos de temperatura específicos. Al inicio del proceso, los materiales se encuentran a temperatura ambiente, de dos a seis días se pueden llegar a temperaturas de 45 °C, debido al metabolismo de los microorganismos exotérmicos y a la biodegradación de los sustratos, por lo que existe una liberación de calor generando el aumento de la temperatura, descomponiendo algunos compuestos como azúcares, almidones y grasas. Cuando la temperatura alcanza los 60 °C a 70 °C, se puede garantizar la eliminación de semillas de malezas y muchos agentes patógenos que pueden estar presentes, posteriormente la temperatura desciende gradualmente hasta nivelarse con la temperatura ambiente (SILVA *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Relación de las etapas del proceso de compostaje y la temperatura.

Etapa	Temperatura (°C)
Etapa mesofílica	20 a 45
Primera etapa termofílica	45 a 65
Segunda etapa termofílica	65 a 75
Etapa de enfriamiento	75 a 45
Etapa de maduración	45 a 25

Fuente: SILVA *et al.*, (2008).

2.2.1.3. Tamaño de partículas

Es importante reducir el tamaño de los residuos vegetales para garantizar una adecuada aireación y una buena superficie de acción de los microorganismos, y al mismo tiempo acelerar las reacciones bioquímicas. Si las partículas son demasiado grandes presentan poca superficie de contacto para ser atacadas por los microorganismos, ocasionando que el tiempo de descomposición se alargue y que los materiales se transformen parcialmente, además pueden presentarse pérdidas de humedad y menor transferencia de oxígeno. Cuando el compost esté listo para usar, el tamaño de partículas pueden ser muy pequeñas, oscilando entre 0.5 cm y 1 cm, dado que esto permite un mejor nivel de aireación al momento de aplicarlo al suelo (DIOS, 2008).

2.2.1.4. Color y olor

El color del compost varía de marrón claro hasta un color marrón

oscuro, dependiendo del grado de maduración y su olor en la última etapa debe ser de tierra de bosque húmedo (DIOS, 2008).

2.2.2. Parámetros químicos del compost

La composición química del compost es muy variada ya que ésta depende en gran medida de la edad, según su procedencia, manejo y contenido de humedad. En cuanto al valor de materia orgánica que contiene, se pueden determinar grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (LÓPEZ *et al.*, 2001).

El compost contiene nutrientes que las plantas necesitan para su crecimiento, así como para producir las partes vegetales que justifican su cultivo tales como flores, frutos, hojas, etc. El compost es más que un simple concentrado artificial de sustancias químicas de las que se alimentan las plantas, éste tiene una estructura más compleja en donde los nutrientes forman parte de un entramado en el cual están unidas las moléculas que modulan y hacen más fácil la liberación y absorción de los nutrientes por parte de las plantas. Los macronutrientes y micronutrientes son los elementos químicos que sirven a los vegetales como fuente importante de alimento; macronutrientes son los que las plantas necesitan en mayor proporción, por otro lado, los micronutrientes también son necesarios pero en muy pequeñas cantidades y por tal motivo su presencia en las plantas es mucho más reducida que en el caso de los macronutrientes (GUZMÁN, 2007). Los macronutrientes son los que tienen que abundar en el suelo ya que las plantas los necesitan en una mayor proporción,

aunque los micronutrientes también tienen que estar presentes pero de manera más escasa.

Cuadro 2. Requerimientos nutricionales de las plantas.

Macronutrientes		Micronutrientes		
Primarios (%)	Secundarios (%)	Fe ²⁺ , Zn ²⁺ , Cu ²⁺ , Mn ²⁺ , Mo ²⁺ , B ³⁺ , Cl ⁻		
N ⁺	2.0	Ca ²⁺	1.3	La suma de todos ellos supone el 1% de la composición química de las plantas.
P ⁺	0.4	Mg ²⁺	0.4	
K ⁺	2.5	S ⁻	0.4	

Fuente: CORPOICA (2002).

La conductividad eléctrica no proporciona información específica sobre las clases de sales presentes, pero es un excelente indicador de la presencia de sales solubles que existen en el compost. Los altos contenidos de sales pueden repercutir directamente en la germinación de las semillas y en el desarrollo general del cultivo, todo dependiendo de la tolerancia de los cultivos a la salinidad, del tipo de suelo y de las pautas de riego (LÓPEZ *et al.*, 2001). La aplicación de compost bien maduro garantiza la agregación de todos los elementos esenciales para la planta, además de proporcionar riqueza y equilibrio de nutrientes al suelo donde se aplica. Por lo tanto los vegetales que sean nutridos con un compost maduro podrán tener buena salud que probablemente no le podrán garantizar los fertilizantes de síntesis (STOFFELLA Y KHAN, 2004).

Cuadro 3. Macronutrientes, su función en la planta y su proporción.

Nutriente	Función en la planta	Cantidad (%)
Nitrógeno	Resistencia a plagas, crecimiento aéreo de plantas.	1 - 2
Fosforo	Desarrollo de raíces, maduración de flores, semillas y frutos.	0.8 - 2.5
Potasio	Fortaleza a raíces y tallos, grandeza en semillas, frutos y hojas.	1 – 1.5
Calcio	Formación de paredes celulares de las plantas.	2 - 8
Magnesio	Forma parte de la clorofila y actúa en el metabolismo del P.	> 1
Azufre	Constituyentes de proteínas, intervienen en la fotosíntesis.	>1

Fuente: CORPOICA (2002).

2.2.2.1. pH

En cuanto a las características del compost, el pH es un parámetro que se utiliza como indicador en el proceso de compostaje ya que durante el proceso el pH desciende inicialmente debido a la formación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular y a medida que el proceso avanza, el valor de pH va aumentando hasta valores aproximados de entre 6.5 a 8.5 (LÓPEZ *et al.*, 2001).

Las plantas sobreviven en un amplio intervalo de pH, pero se puede decir que el crecimiento y desarrollo de los cultivos pueden verse afectados en condiciones de acidez y basicidad extremas. En general los compost que se encuentra en estado maduro tienden a tener valores de pH neutros o ligeramente básicos. En los suelos ácidos el compost eleva el pH haciendo que éstos mejoren sus condiciones microbiológicas, así como las condiciones de disponibilidad de nutrientes por lo que en la mayoría de los casos el compost es utilizado como enmienda o mejorador (LÓPEZ *et al.*, 2001).

El pH es un valor que nos indica si un producto o material es ácido (pH inferior a 7), es alcalino (pH superior a 7) o neutro (pH igual a 7). Conviene que el compost sea lo más neutro posible, porque los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica no toleran valores muy alejados del 7. Si esto se produjese, el proceso de compostaje se detendría o se ralentizaría notablemente (DIOS, 2008). El pH varía durante el proceso de compostaje, debido a su acción sobre los microorganismos, por lo que es un parámetro de suma importancia para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos. En general, los hongos toleran un margen de pH ligeramente ácido (entre 5 y 8), debido a que los productos iniciales de la descomposición son ácidos orgánicos. Al cabo de unos días, el pH se vuelve ligeramente alcalino debido a la liberación de amoníaco durante la transformación de las proteínas por parte de las bacterias, las cuales prefieren un medio casi neutro (entre 6 y 7.5). El pH recomendado para un sistema de compostaje debe estar en un rango de 6.5 y 8 (DIOS, 2008).

2.2.2.2. Nitrógeno total

El contenido total de nitrógeno del compost puede variar según la materia prima, las condiciones del proceso, la maduración y el almacenaje. En el transcurso del proceso de compostaje el contenido de nitrógeno disminuye con la volatilización del amoníaco, pero éste es captado, transformado e incorporado a los microorganismos, es por eso que se presentan pérdidas importantes de este elemento, debido a la intensidad y la rapidez de los fenómenos bioquímicos en los primeros días de la fermentación. Una buena fermentación aerobia no debe perder más del 20% de la cantidad inicial del nitrógeno (DIOS, 2008). Los microorganismos utilizan el nitrógeno para la síntesis de proteínas junto con otros elementos, un exceso de este nutriente puede traer como consecuencia un crecimiento bacteriano y podría acelerar la descomposición de la materia orgánica, pero esto provocaría un déficit en oxígeno, por lo que el proceso se volvería anaeróbico, sin embargo, la falta de nitrógeno en el proceso generaría un deficiente crecimiento del cultivo microbiano, por lo que la velocidad de descomposición disminuiría considerablemente (DIOS, 2008).

2.2.2.3. Materia orgánica

La eficiencia en la degradación de la materia orgánica en el proceso de compostaje depende directamente de cómo se encuentran las comunidades microbianas al inicio del proceso. A través de diferentes tipos de enzimas hidrolíticas, los microorganismos desempeñan la degradación de los materiales

orgánicos. Las enzimas más importantes que intervienen en el proceso de compostaje son: las celulasas, despolimerasa celulasa, B-glucosidasa que hidroliza glucósidos, ureasa que participan en la mineralización del nitrógeno, fosfatasas y arylsulfatasa que eliminan los grupos de fosfato y de los sulfatos de los compuestos orgánicos (PACHECO, 2009). La materia orgánica y la actividad biológica que esta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos. (FAO, 2002). CORBELLA Y FERNÁNDEZ (2009) afirman que en los constituyentes de la materia orgánica del suelo hay almacenados nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes, que son liberados lentamente por mineralización.

2.2.2.4. Carbono orgánico

La degradación de la materia orgánica es llevada a cabo, debido a que los microorganismos que se encuentran presentes en el proceso utilizan el carbono orgánico como fuente de energía. El proceso puede exigir más carbono que nitrógeno, pero hay que tener en cuenta que cuando existe un exceso de este elemento, el tiempo de degradación puede aumentar a partir del momento en que las reservas de nitrógeno son consumidas y ciertos organismos mueren, el nitrógeno que estos organismos han asimilado es utilizado por otros microorganismos y nuevas cantidades de carbono son consumidas en la constitución de la sustancia celular, por lo que la cantidad de carbono alcanza su nivel más satisfactorio y el nitrógeno es reintroducido en el ciclo. De aquí la relación que existe entre el carbono y el nitrógeno (DIOS, 2008).

2.2.2.5. Relación carbono / nitrógeno

La relación de carbono – nitrógeno expresa las unidades de carbono por unidad de nitrógeno que contiene el material. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes favorecerá un buen crecimiento y reproducción de microorganismos en los suelos. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos, dado que activan sus procesos metabólicos, y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica (DIOS, 2008).

2.2.2.6. Fósforo total

El fósforo es muy importante en la maduración tanto de las flores, las semillas y los frutos de las plantas, dado que intervienen en la formación y el desarrollo de las raíces, es por eso que es muy importante este elemento en el compost por la cantidad que le pueda aportar a la planta al momento de aplicarlo

Su proporción en el compost puede ser entre 0.3% y 3.5% en forma de óxido fosfórico (P_2O_5), y varía en función del tipo de materiales que han sido utilizados en el proceso de compostaje (ÁLVAREZ, 2009).

2.2.2.7. Potasio total

El potasio es muy importante en el desarrollo de las plantas, porque hace que las raíces y los tallos crezcan fuertes y que las semillas, los frutos y las hojas de las plantas sean grandes, proporcionando resistencia ante las plagas que puedan atacar, además colabora con la circulación de los otros nutrientes alrededor de la planta, por eso es muy importante que este elemento esté

presente en el compost. Se puede encontrar en el compost en una proporción entre 0.5% y 1.8% mayormente en forma de óxido de potasio (K_2O) (ÁLVAREZ, 2009).

2.2.2.8. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Es la suma de todos los cationes de cambio (H^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , k^+ , Na^+ , etc.) constituye la capacidad total de cambio (CTC) de un suelo. Un suelo con mayor CIC tiene mayor capacidad de almacenamiento y de nutrientes para los cultivos, los residuos orgánicos tienen una CIC variable cercana a 40 meq/100 g (GUERRERO, 2000). CEPEDA (1991) menciona que el CIC es una de la propiedad más importante del suelo, los cationes cambiables influyen en la estructura, actividad biológica, régimen hídrico, gaseoso, en los procesos genéticos del suelo y su formación. El calcio por lo general es el más abundante mientras que la cantidad de otros elementos varía de acuerdo a las condiciones del suelo.

2.2.3. Parámetros biológicos del compost

En general se puede afirmar que los microorganismos de interés en el compostaje son organismos heterótrofos que utilizan compuestos orgánicos como fuente de energía y desarrollan tejido celular a partir de nitrógeno, fósforo, carbono y otros nutrientes necesarios. Los organismos responsables de la transformación biológica de los materiales orgánicos en el compost son los hongos, las bacterias y actinomicetos (GROSSI, 1993; TCHOBANOGLIOUS, 1994).

2.2.3.1. Macrofauna del compostaje

CEGARRA (1996) menciona en un medio con tanta energía química potencial como es una pila de residuos puestos a compostar, el cambio gradual de los factores químicos, físicos y microbiológicos van generando distintos “nichos ecológicos” y los integrantes de la macrofauna aparecerán en determinados momentos, ajustándose a los distintos sitios, con condiciones afines a sus necesidades. Especies de insectos y de otros órdenes sistemáticos menores, al ser representativos de cada momento del compostaje y lombricompostaje, ponen de manifiesto el grado de evolución del proceso. Son especies indicadoras del momento de compostaje.

Estas especies, generalmente de régimen alimentario saprófago, (por ello están en el composta alimentándose de tejidos muertos), pueden ser polífagas, (de hábito muy variado), entre ellos: fitófagos, (se alimentan de tejidos vegetales vivos), pudiendo afectar los cultivos, de modo que si no se cuidada este aspecto, se pueden estar transportando potenciales plagas, al aplicar estos abonos y/o enmiendas orgánicas (CEGARRA, 1996). Este grupo está integrado por los animales que participan en el proceso de descomposición y que pertenecen a distintos Filos, Clases y Ordenes (LINDEN *et al.*, 1994).

Cuadro 4. Clasificación taxonómica de los organismos integrantes de la macrofauna en el proceso de compostaje.

Filo	Clase	Sub-Clase	Orden
Annelida	Clitellata	-	Oligochaeta
Arthropoda	Arachnida	-	Araneae

			Coleóptera
			Díptera
			Ephemeroptera
			Plecoptera
			Dermaptera
			Psocoptera
			Hemiptera
		Pterygota	Endopterigota
	Insecta		Neuroptera
			Mercoptera
			Lepidoptera
			Hymenoptera
			Tricoptera
			Homoptera
			Orthoptera
			Isoptera
		Apterygota	Colembolos
			Tisanuros
	Crustacea	-	isopoda
	Myriapoda	Chilopoda	
		Diplopoda	
Nematoda	Adenophorea	-	Mermithida
Mollusca	Gastropoda	-	

Fuente: CURRY (1987); ZERBINO Y MORON (2003).

Nivel trófico. Es cada uno de los conjuntos de especies u organismos (en este caso el compost o lombricompostaje), que coinciden en el tiempo en un ecosistema, siendo partícipes en la recirculación de energía y nutrientes (FRIONI, 1990). En estos niveles existen los siguientes:

Consumidores. Organismos heterótrofos que son los que elaboran material orgánico partiendo de la materia orgánica de otros, que pueden ser:

- Consumidores primarios: se alimentan de plantas y algas. Los parásitos están comprendidos en este ítem.
- Consumidores secundarios: se alimentan de los primarios y son de régimen alimenticio zoófago - carnívoros.
- Consumidores terciarios: se alimentan de los anteriores, etc.

Descomponedores. Su alimento es material muerto entero o desintegrado. Obtienen la materia orgánica y la energía para su ciclo vital, de los restos de otros seres vivos. Los saprófitos, que absorben por ósmosis o diferencias de concentración a través de biomembranas, detritívoros o saprófagos ingiriendo los restos de otros animales (FRIONI, 1990; ZERBINO Y MORON, 2003).

Cuadro 5. Cadena alimenticia en el compost.

Primer nivel	Segundo nivel
Microfauna	Colémbolos
Actinomicetes	Dermápteros (tijeretas)
Hongos	Ácaros
Bacterias	Ptilidos
Protozoos	Nematodos redondos

Macrofauna	Protozoos
Coleópteros (escarabajo)	Rotíferos
Caracoles (babosas)	Himenópteros (hormigas)
Enquitreidos	
Dípteros (moscas)	
Isópodos (mil y ciempiés)	

Fuente: CURRY (1987); ZERBINO Y MORON (2003).

2.2.4. Parámetros microbiológicos del compost

El compostaje es un proceso en el que intervienen microorganismos que atacan a los residuos orgánicos. El 95% de estos microorganismos lo conforman las bacterias y los hongos, que son los responsables de la actividad microbiológica para descomponer los materiales, seguidos de los actinomicetos y los protozoos (ÁLVAREZ, 2009). Algunas especies de microorganismos se pueden multiplicar rápidamente y luego empiezan a desaparecer por la muerte de estos, para dar paso al crecimiento de otras poblaciones de microorganismos, esto es debido a la variación de factores tanto físicos como químicos, tales como: el contenido de la humedad, la disponibilidad de oxígeno, la variación del pH y la temperatura. Los microorganismos que participan en el proceso de compostaje son organismos heterótrofos, es decir, obtienen carbono y nitrógeno de la materia orgánica presente en los materiales que han sido utilizados al inicio del proceso (ÁLVAREZ, 2009).

Cuadro 6. Índices de calidad microbiológica del compost.

Grupos funcionales	UFC / g de compost
Bacterias totales	5×10^{10}
Hongos totales	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^7$
Actinomicetos totales	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^8$
Bacterias fijadoras de nitrógeno	1×10^5
<i>Pseudomonas</i>	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$
<i>Salmonella sp</i>	Ausente en 25 g de compost

Fuente: ÁLVAREZ (2009).

Cuadro 7. Valores permisibles de los microorganismos patógenos en el compost.

Parámetro	EPA (Norma 503)	ICONTEC	Norma chilena (NCh.2880.2003)
Microorganismos termotolerante	$< 1 \times 10^5$ NMP / 100 g de compost	Ausencia	$< 1 \times 10^5$ NMP / 100 g de compost
<i>Streptococos</i> fecales	-	-	Ausencia
<i>Salmonella sp.</i>	< 3 UFC / 4 g de Compost	< 3 UFC / 4 g de compost	Ausencia

Huevos de	-	-	Ausencia
helminto viables			

Fuente: EPA (1999); ICONTEC (2003); INNCH (2003).

2.2.4.1. Población total de bacterias

Las bacterias que están presentes en el proceso de compostaje tienen mucha mayor predominancia en la actividad microbiológica que los hongos, por lo que la población total de las bacterias depende directamente del tipo de material que se ha empleado inicialmente, y de las condiciones ambientales del lugar del compostaje. Estas bacterias presentes generalmente suelen ser aerobias y se pueden clasificar de acuerdo a la temperatura en que se desarrollan, por ejemplo, para temperaturas entre 20 °C y 40 °C son mesofílicas y para temperaturas entre 40 °C y 75 °C son termofílicas (BONILLA Y MOSQUERA, 2007). En conclusión, la población total de las bacterias se encarga de la descomposición de las proteínas, lípidos y las grasas a temperaturas termofílicas, además de toda la energía calorífica que hace que la temperatura se incremente en el material para el compostaje (BONILLA Y MOSQUERA, 2007).

2.2.4.2. Población total de hongos

Los hongos tienen mucha importancia en la degradación de la materia orgánica, sobre todo de la celulosa, que es una de las partes más resistentes de la materia orgánica, representando el 60% de su masa total. Los

hongos se destruyen mayormente cuando la temperatura está a 55 °C, por lo que algunos pueden permanecer en estado de latencia, reactivándose en la etapa de enfriamiento del compost (GÓMEZ Y ESTRADA, 2005).

2.2.4.3. Microorganismos termotolerantes

Este parámetro es de mucha importancia para evaluar un compost de calidad, es primordial realizar un análisis antes de usarlo para determinar si existe presencia de estos microorganismos, en vista que éstas pueden causar daños directamente a las plantas, dado que el compost se aplica al suelo que repercutirá en los animales y seres humanos que finalizan consumiendo los frutos de estas plantas que han sido cultivadas en suelos donde se ha aplicado el compost (FUNDASES, 2007). Al analizar los microorganismos patógenos, su ausencia nos puede garantizar el uso del compost y también por medio de estos resultados darnos cuenta de la eficiencia del proceso de compostaje, en el transcurso de este proceso es donde se eliminan estos microorganismos cuando las pilas de compostaje se encuentran a altas temperaturas (entre 60 °C y 70 °C) en periodos de uno a dos días. Cabe recalcar que los microorganismos termotolerantes o llamados también coliformes fecales, no son los únicos microorganismos patógenos que pueden encontrarse en el compost, esto siempre depende de los materiales iniciales que van a formar parte de la pila de compostaje para su proceso de degradación o descomposición. En la mayoría de los países europeos, los microorganismos indicadores que se han podido seleccionar a parte de los coliformes totales y fecales, se pueden encontrar en el compost frecuentemente el *Escherichia coli*, *Enterococcus*, *Clostridium*,

Salmonella sp. y las enterobacterias (FUNDASES, 2007).

2.3. Las materias primas del compost

Según las necesidades del compost, se recomienda la incorporación de materiales ricos en carbono o en nitrógeno, según sea el requerimiento las opciones son:

Ricos en carbono: Hojas, tela de algodón, polvo del suelo, pinos, grama seca, cáscaras de nueces, paja, huesos, polvo de aspiradoras, heno, plumas, estiércol, aserrín, pelos de caballo, conejo y ovejas, cenizas de madera (BONGCAM, 2003).

Ricos en nitrógeno: Cáscaras de manzana, frijoles, toronjas, cáscaras de banana, pan, lechuga, desechos de brócoli, zanahorias, limones, pepinos, melones, hojas de alcachofa, cebollas, peras, base de espárragos, piñas, papas, filtros y desechos de café, calabazas, algas, cáscaras de huevo, flores, grama verde, residuos de jardín (BONGCAM, 2003). AUBERT (1998) alude que para la elaboración del compost se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada como:

- Restos de cosechas
- Abonos verdes y césped
- Las ramas de poda de los frutales
- Hojas
- Restos urbanos

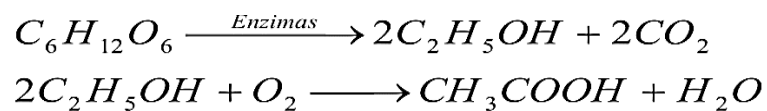
- Estiércol animal
- Complementos minerales
- Cobertura de suelo
- Plantas marinas
- Algas.

2.4. El proceso de compostaje

NAVARRO (2006) nombra el proceso de compostaje que puede dividirse en cuatro períodos, atendiendo a la evolución de la temperatura.

2.4.1. Fase mesófila

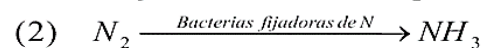
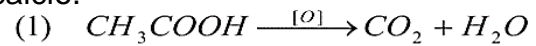
En esta parte del proceso la temperatura de la pila de compostaje sube rápidamente desde la temperatura ambiente hasta los 40° C; los microorganismos mesófilos se alimentan de proteínas y azúcares que son consumidos rápidamente; predominan las bacterias; el pH baja un poco debido a la producción de ácidos orgánicos, alrededor de 5.0 a 5.5.



2.4.2. Fase termófila

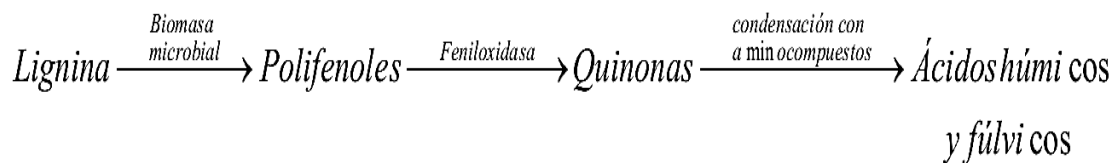
Esta etapa se caracteriza por la presencia de altas temperaturas, por encima de los 40 °C. Los microorganismos termotolerantes continúan la transformación del material orgánico. Predominan los hongos termófilos y actinomicetos. Por encima de los 65 °C, las bacterias que forman esporas

preponderan y los hongos mueren. En esta fase, la celulosa y la hemicelulosa son transformadas. El pH de la pila sube a causa del consumo de los ácidos orgánicos (1) por parte de los microorganismos y por la transformación del nitrógeno en amoníaco (2), estando entre 8 y 9, mientras se da la producción de iones, como los de potasio, magnesio y calcio.



2.4.3. Fase de mesófila

En esta etapa se da un descenso paulatino de la temperatura a 40° C y los microorganismos mesófilos se reactivan. Las bacterias y los hongos transforman otra parte de la celulosa, como la lignina y la lignoproteína y la presencia de microorganismos e invertebrados. El pH vuelve a descender.



2.4.4. Fase de maduración

En esta etapa la temperatura de la pila del compost disminuye continuamente hasta asemejarse a la del ambiente. Hay una disminución de las poblaciones de microorganismos y el pH del compost terminado puede oscilar entre 7 y 8 (PNUD INIFAT, 2002).

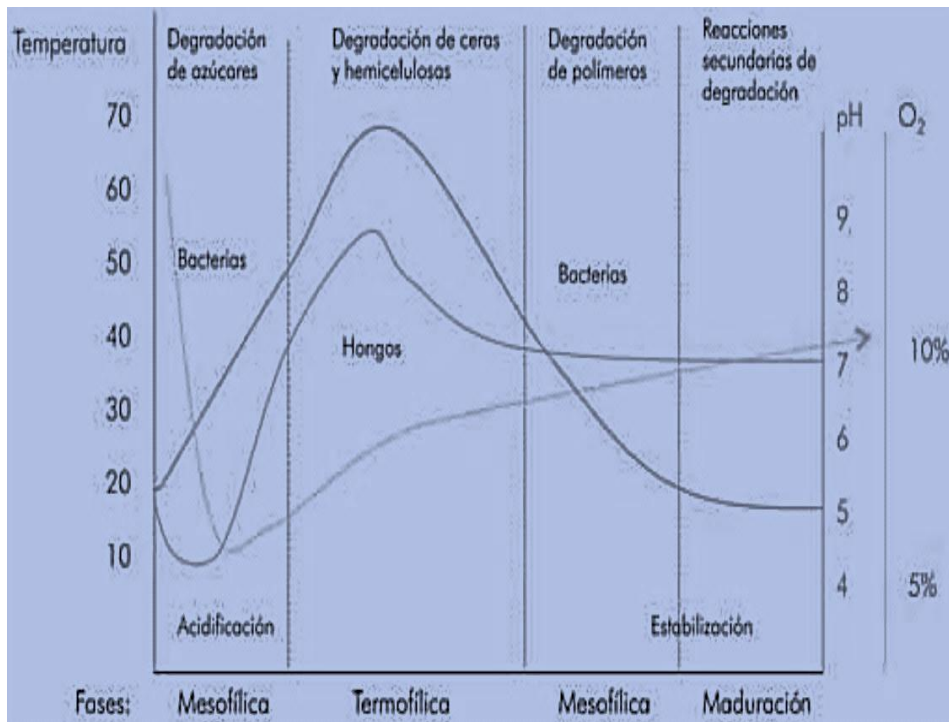


Figura 1. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje

2.5. Factores que condicionan el proceso de compostaje

TCHOBANOGLOUS y THEISEN (1994) mencionan el proceso de compostaje está determinado por diversos factores, que en general varían según la naturaleza del material original, las condiciones bajo las cuales se lleve a cabo la operación del compostaje y la extensión (tiempo) de la descomposición.

2.5.1. Tamaño de las partículas

El tamaño de las partículas influye en la densidad, la fricción interna las características del flujo y de la fuerza de arrastre de materiales; al disminuir el tamaño de las partículas aumenta la superficie donde pueden operar los microorganismos en el proceso de descomposición, sin embargo, el exceso de

partículas pequeñas puede llevar fácilmente a la compactación de los materiales y favorecer la putrefacción, lo que no es ideal para obtener un buen compost fermentado.

2.5.2. Relación carbono/nitrógeno

Es el factor químico más importante en el proceso de compostaje, la muestra de un residuo con un contenido alto en carbono y bajo en nitrógeno con un residuo alto en nitrógeno se utiliza para lograr relaciones óptimas para el compostaje. Con relaciones bajas de carbono/nitrógeno se emite amoníaco, y con relaciones altas el nitrógeno puede ser un nutriente limitante BONGCAM (2003). Se considera una relación C: N de 20 a 30 para el inicio del proceso, sin embargo, consideran una relación óptima de entrada, es decir, de material “crudo o fresco” a compostar de 25 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, por encima de este valor se retrasa innecesariamente el proceso. Si la relación no alcanza un balance óptimo, el sistema microbiano va a sufrir un desarrollo diferente del requerido para obtener la comunidad biológica óptima (DIOS, 2008). Los materiales con alto contenido de carbono deben mezclarse con materiales con alto contenido de nitrógeno.

Cuadro 8. Contenido de relación C/N de algunos materiales orgánicos.

Materiales	C (%)	N (%)	C / N
Aserrines	40	0.1	400
Paja de caña	40	0.5	80

Estiércol de equino	15	0.5	30
Césped de jardín	45	1.5	30
Estiércol de ovino	16	0.8	20
Heno	40	2	20
Hojas secas	20	1	20
Estiércol de vacuno	28	2	14
Estiércol de cerdo	8	0.7	12
Estiércol de gallina	15	1.5	10
Harina de sangre	35	15	2

Fuente: Programa de apoyo profesional para la inserción laboral en el Perú (2007).

Teniendo en cuenta que todo lo orgánico tarde o temprano va a compostar, preferiblemente en una pila no incluir: mantequilla, huesos, queso, aceite vegetal, pollos, pescado, aderezos, mayonesa, carne, mantequilla de maní, leche, yogur (Programa de apoyo profesional para la inserción laboral en el Perú, 2007).

Cuadro 9. Relación carbono – nitrógeno.

Material	C/N
Residuos de comida	15/1
Madera según la especie	700/1
Papel	170/1

Papel periódico	983/1
Revistas	470/1
Pasto fresco	470/1
Pasto seco	19/1
Hojas según el tipo	Entre 40/1 y 80/1
Desechos de fruta	35/1
Estiércol de vaca	20/1
Estiércol de caballo	25/1
Estiércol de cerdo	20/1
Estiércol de ave	15/1
Estiércol de oveja	22/1
Tallos de maíz	60/1
Paja de trigo	128/1
Alfalfa	13/1
Humus	10/1
Trébol verde	16/1
Trébol seco	16/1
Leguminosas en general	25/1
Paja de avena	80/1

Aserrín	500/1
Lodos activados	15.7/1
Cartón	560/1

Fuentes: FAO (1991); AUBERT (1998); VANSCHOOR, *et al.*, (1990); BONGCAM (2003); RUEDA (2005); TCHOBANOGLOUS *et al.*, (1994); TREJO (1997).

2.5.3. Contenido de humedad

El contenido de humedad óptimo para el proceso de compostaje está entre 40 y 60%, por debajo de 40% la fermentación es lenta; cuando la humedad supera el 60% hay putrefacción, lo cual es indeseable (BONGCAM, 2003).

2.5.4. Mezcla/volteo

La mezcla inicial de los residuos orgánicos es esencial para incrementar o disminuir el contenido en humedad hasta un nivel óptimo. La mezcla se puede utilizar para distribuir más uniformemente los microorganismos y nutrientes. Es difícil establecer una única frecuencia de volteo, ya que esta depende del contenido de humedad, las características de los residuos y las necesidades de aire que requiera el compostaje (BONGCAM, 2003).

2.5.5. Temperatura

La temperatura está directamente ligada a la actividad microbiana.

2.5.6. pH

El control del pH es otro parámetro importante para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de residuos. El valor del pH, al igual que la temperatura varía con el tiempo de 5 a 9 dependiendo la etapa del proceso de compostaje. Sin embargo, no es fácil controlar el pH del material porque es una consecuencia del proceso (BONGCAM, 2003).

2.5.7. Dimensiones de la pila

Las dimensiones de la pila están determinadas por tres factores principales, el espacio con el que se cuenta para realizar el proceso de compostaje, el tipo de materiales con el que se va a realizar el volteo y la cantidad de residuos a compostar (BONGCAM, 2003).

2.6. Microbiología del proceso de compostaje

El compostaje debe generarse en un entorno apropiado para el ecosistema de descomposición. El entorno no solo mantiene a los agentes de la descomposición, sino también a otros que se alimentan de ellos los residuos de todos ellos pasan a formar parte del compost. Los agentes más efectivos de la descomposición son las bacterias y otros microorganismos.

También desempeñan un importante papel los hongos, protozoos y actinobacterias (o actinomycetes, aquellas que se observan en forma de blancos filamentos en la materia en descomposición). A nivel macroscópico se encuentran las lombrices de tierra, hormigas, caracoles, babosas, milpiés,

cochinillas, etc. que consumen y degradan la materia orgánica (NAVARRO, 2006). Los microorganismos aerobios, se alimentan de materia orgánica y desarrollan tejido celular, a partir del nitrógeno, fósforo, carbono y otros micronutrientes. Gran parte del carbono es fuente de energía para los organismos, se quema y se expulsa como dióxido de carbono (CO₂). Como el carbono orgánico puede servir como fuente de energía para los microorganismos, es decir, como carbono celular se requiere más carbono que nitrógeno en el proceso.

2.6.1. Las bacterias

Las bacterias en el proceso de compostaje tienen una gran importancia por su papel en la degradación de la materia orgánica. Las bacterias se pueden clasificar según su actividad fisiológica. Estas pueden ser autotróficas, las cuales no requieren el carbono de compuestos orgánicos y lo toman del CO₂ del aire y su energía la obtienen de la oxidación de compuestos orgánicos o inorgánico simples. Estas bacterias son muy importantes en procesos como la nitrificación y oxidación del S, entre otros (LORA, 1980). La segunda clase de bacterias son las heterotróficas, que son aquellas que derivan tanto el carbono como la energía de compuestos orgánicos.

2.6.2. Los hongos

Son los encargados de realizar los procesos en los cuales, las bacterias tienen poca o ninguna importancia en la descomposición de la lignina; juegan un papel importante también en la descomposición de celulosa y en la

producción de antibióticos. Pero la característica más importante de los hongos, es la habilidad de formar micorrizas, sin las cuales no se pueden desarrollar algunas especies vegetales (MUNÉVAR, 1982).

2.6.3. Actinomicetos

Desde el punto de vista evolutivo, los actinomicetos se encuentran entre las bacterias y los hongos. Son organismos unicelulares que producen micelios no adaptados, muy finos y ramificados. Su función en el suelo es variada, desde la descomposición de la materia orgánica hasta la producción de antibióticos y la fijación de nitrógeno; son de gran importancia en la formación de simbiosis con algunas especies forestales que pueblan suelos muy pobres y degradados (MUNÉVAR, 1982).

2.7. Métodos para la producción de compost

NAVARRO (2006) menciona las tecnologías de compostaje. Entre las formas de compostaje que se promueven y utilizan están el compostaje casero y el centralizado. El casero es el compostaje de desechos hogareños y de jardín y el centralizado, composta grandes cantidades de desechos en 3 métodos: Pila estática, filas y en contenedor.

- **Pila estática.** Una gran pila de material orgánico.
- **Filas.** El compostaje se hace en largas filas las cuales deben ser aireadas dándoles vuelta.
- **Contenedores.** Son grandes máquinas donde se controlan temperatura y

oxígeno para procesar grandes cantidades de material orgánico, de este método hay muchos tipos. Según BONGCAM (2003) menciona otras técnicas conocidas y aplicadas en el siguiente:

- **Compostaje en montón.** Es la técnica más conocida y se basa en la construcción de un montón formado por las diferentes materias primas, y en el que es importante:

Realizar una mezcla correcta. Los materiales deben estar bien mezclados y homogeneizados, se recomienda una trituración previa de los restos de cosecha leñosos, ya que la rapidez de formación del compost es inversamente proporcional al tamaño de los materiales. Cuando los restos son demasiado grandes se corre el peligro de una aireación y desecación excesiva del montón lo que perjudica el proceso de compostaje.

Es importante que la relación C/N esté equilibrada, ya que una relación elevada retrasa la velocidad de humificación y un exceso de N ocasiona fermentaciones no deseables. La mezcla debe ser rica en celulosa, lignina (restos de poda, pajas y hojas muertas) y en azúcares (hierba verde, restos de hortalizas y orujos de frutas). El nitrógeno será aportado por el estiércol, el purín, las leguminosas verdes y los restos de animales de mataderos. Se mezclará de manera tan homogénea como sea posible, materiales pobres y ricos en nitrógeno, y materiales secos y húmedos (BONGCAM, 2003).

Formar la pila con las proporciones convenientes. El montón debe tener el suficiente volumen para conseguir un adecuado equilibrio entre

humedad y aireación y deber estar en contacto directo con el suelo. Para ello se intercalarán entre los materiales vegetales algunas capas de suelo fértil.

La ubicación del montón dependerá de las condiciones climáticas de cada lugar y del momento del año en que se elabore. En climas fríos y húmedos conviene situarlo al sol y al abrigo del viento, protegiéndolo de la lluvia con una lámina de plástico o similar que permita la oxigenación. En zonas más calurosas conviene situarlo a la sombra durante los meses de verano. Se recomienda la construcción de montones alargados, de sección triangular o trapezoidal, con una altura de 1.5 metros, con una anchura de base no superior a su altura. Es importante intercalar cada 20 - 30 cm de altura una fina capa de 2 - 3 cm de espesor de compost maduro o de estiércol para la facilitar la colonización del montón por parte de los microorganismos (BONGCAM, 2003).

Manejo de la pila de compostaje. Una vez formado el montón es importante realizar un manejo adecuado del mismo, ya que de él dependerá la calidad final del compost. El montón debe airearse frecuentemente para favorecer la actividad de la oxidasa por parte de los microorganismos descomponedores. El volteo de la pila es la forma más rápida y económica de garantizar la presencia de oxígeno en el proceso de compostaje, además de homogeneizar la mezcla e intentar que todas las zonas de la pila tengan una temperatura uniforme. La humedad debe mantenerse entre el 40 y 60%. Si la pila está muy apelmazada, tiene demasiada agua o la mezcla no es la adecuada se pueden producir fermentaciones indeseables que dan lugar a sustancias tóxicas para las plantas. El manejo de la pila dependerá de la estación del año,

del clima y de las condiciones del lugar (BONGCAM, 2003).

– **Compostaje en silos**

Es un cajón hecho de cualquier tipo de material con una altura de 2 o 3 metros y un volumen suficiente, ya sea redondo o cuadrado, para contener todos los residuos orgánicos que se vayan produciendo durante al menos cuatro meses. No tiene fondo ya que es fundamental el contacto directo entre la tierra y los restos; deberá tener orificios de ventilación por todas sus caras. La parte superior se cubre para controlar mejor la humedad aunque también conviene que tenga pequeños orificios de ventilación y entrada de algo de humedad ambiental; por esta parte se verterán los residuos (BONGCAM, 2003). Los cajones se han diseñado para controlar la humedad, aireación y temperatura. Estos no son necesarios para el compostaje pero sirven para hacer la pila más manejable y controlada, pueden hacerse de tela de gallinero, madera, también de ladrillos y tambos con chimenea para el aire. Un método eficiente es tener 2 cajones, uno para material fresco y el otro para el material que se está secando. El compostaje en un cajón requiere la misma estratificación, humedad, aireación y volteo como en una pila (NAVARRO, 2006).

- **Compostaje en superficie.** Consiste en esparcir sobre el terreno (nunca enterrar, ni envolver), una delgada capa de material orgánico (de menos de 10 cm.) dejándolo descomponerse y penetrar poco a poco en el suelo. Según se va dando el proceso natural de incorporación al suelo se esparcen nuevos restos en un proceso continuo. Cuanto más desmenuzado esté más rápida

será la absorción pero también más rápidamente se perderán algunos nutrientes. Este material sufre una descomposición aerobia y asegura la cobertura y protección del suelo, sin embargo las pérdidas de N^+ son mayores, pero son compensadas por la fijación de nitrógeno atmosférico. En situaciones de menor humedad ambiental y precipitaciones o altas temperaturas es mejor cubrirlos con una delgada capa de paja picada, hierba, coníferas, etc. Este compostaje se emplea fundamentalmente en los huertos y sirve de acolchado de la tierra que a su vez impide la evaporación de humedad y el nacimiento de hierbas no deseadas e incluso protege de heladas en épocas frías (BONGCAM, 2003).

2.8. Organismos patógenos en el compost

En el compost se pueden encontrar muchas variedades de microorganismos patógenos que pueden ser eliminados cuando la temperatura en las pilas de compostaje se encuentra entre 55 °C y 70 °C, en intervalos de tiempo que pueden ir de tres a 60 minutos. La destrucción de patógenos durante la etapa termofílica hace que se obtenga un abono orgánico que no sea contaminante (BONILLA Y MOSQUERA, 2007). Entre los microorganismos patógenos que pueden abundar más en el proceso de compostaje y que representan un riesgo para los animales, plantas y para el hombre mismo se encuentran la *Salmonella sp.* y el *Escherichia coli*.

Cuadro 10. Microorganismos patógenos asociados al compost.

Microorganismos	Temperatura (°C)	Tiempo de exposición (min)
<i>Salmonella typhosa</i>	56	60
<i>Salmonella sp</i>	55	60
<i>Escheria coli</i>	55	60
<i>Micrococcus aureus</i>	50	10
<i>Streptococeus pyogenes</i>	54	10
<i>Corynebacterium diphtheriare</i>	55	45
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	66	20
<i>Shigella sp</i>	55	60
<i>Brucella abortus</i>	61	3
<i>Taenia saginata</i>	71	5
<i>Trichinella spiralis</i>	50	60
<i>Necator americanus</i>	45	50

Fuente: BONILLA Y MOSQUERA (2007).

2.9. Aplicaciones del compost

CESTA (2007) menciona según la época en la que se aporta a la

tierra y el cultivo, pueden encontrarse dos tipos de compost:

2.9.1. Compost maduro

Es aquel que está muy descompuesto y puede utilizarse para cualquier tipo de cultivo pero para cantidades iguales tiene un valor fertilizante menos elevado que el compost joven. Se emplea en aquellos cultivos que no soportan materia orgánica fresca o poco descompuesta y como cobertura en los semilleros. Es el material que podemos extraer de la compostera al cabo de los entre 6 y 9 meses dependiendo de la correcta elaboración y periodo del año. La materia orgánica está del todo descompuesta, tiene color y olor de tierra del bosque, de humus y se deshace entre los dedos sin ensuciarlos se usara como fertilizante mezclado con tierra. Este compost presenta estabilización en las propiedades químicas, tales como, capacidad de intercambio catiónico, pH y materia orgánica; tiene bajo contenido de ácidos fulvicos, relación C/N menor a 20.

2.9.2. Compost joven

Está poco descompuesto y se emplea en el abonado de plantas que soportan bien este tipo de compost (papa, maíz, tomate, pepino o calabaza), es el material que podemos extraer de la compostera al cabo de dos o tres meses. Se caracteriza por el hecho que la materia orgánica no está del todo descompuesta, todavía le falta la intervención de los microorganismos para transformarla en un compost más deshecho. Es bueno para utilizarlo como mulching y así proteger el suelo de la erosión, las heladas, la desecación y las

malas hierbas (CESTA, 2007). Este compost presenta inestabilidad en las propiedades químicas, tales como, capacidad de intercambio catiónico, pH y materia orgánica; tiene alto contenido de ácidos fulvicos y relación C/N mayor a 20.

2.10. Propiedades y ventajas del compostaje

Según PORTA *et al.*, (1994) las propiedades y ventajas del compostaje son los siguientes:

- **Mejora las propiedades físicas del suelo.** La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.
- **Mejora las propiedades químicas.** Aumenta el contenido en macronutrientes N⁺, P⁺, K⁺, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.
- **Mejora la actividad biológica del suelo.** Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.
- Se obtiene en corto tiempo un producto final fértil, de gran utilidad y a un bajo costo.
- No se producen gases tóxicos ni olores ofensivos.

- Fácil de manejar, almacenar y transportar.
- El proceso desactiva agentes patógenos perjudiciales para los cultivos.
- Mejora gradualmente la fertilidad de los suelos asociada con los microorganismos.
- Estimulan el ciclo vegetativo de cultivos hortícola, haciéndolo más corto.
- Mayor rendimiento de número de plantas por hectárea.
- Fuente constante de materia orgánica.
- Se incorporan macro y micronutrientes en los abonos.
- No afectan negativamente la fauna y la flora.
- Costos bajos si se comparan con los abonos químicos.
- Mejoran la textura y permeabilidad.

2.11. El compost como producto final

El compost no es considerado un fertilizante, pero puede ser comparado como un suelo de alta calidad, dado que cuenta con un contenido de nitrógeno, fósforo y potasio suficientes para la mejora de tierras pobres, por lo que aporta materia orgánica, retiene el agua y libera gradualmente los nutrientes, trayendo grandes beneficios a largo plazo con la mejora de los cultivos (CANTANHEDE *et al.*, 1993). Cuando se agrega el compost al suelo, éste lo renueva y aumenta su vida, al promover la proliferación de microorganismos que participan en los procesos de humificación, incrementando la retención de agua, ayudando a optimizar los sistemas de riego y evitando que pueda haber sequías.

El compost también favorece a la porosidad del suelo, permite el mejoramiento de la aireación, mejorando la capacidad de intercambio iónico y reduciendo la contaminación (CANTANHEDE *et al.*, 1993).

2.11.1. Índices de calidad del compost

El compost como producto final debe estar basado en unos rangos permisibles de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, que puedan asegurar el uso y la comercialización de éste, por lo que deben de cumplir con estándares de calidad que puedan proteger el ambiente y la salud pública. Puede darse el caso que algunos sustratos orgánicos que han sido sometidos a un proceso de compostaje contengan metales pesados, ocasionando una variación significativa en la calidad final del producto, ya que estos elementos pueden penetrar en la cadena alimenticia a través de las plantas, aumentando el grado de toxicidad en humanos y animales (CANTANHEDE *et al.*, 1993).

Hay que resaltar que la calidad del compost está determinada por los materiales iniciales que han sido acopiados para ser procesados en las pilas, sobre todo por el contenido de la materia orgánica y los nutrientes que estos puedan aportar. Se han usado tradicionalmente parámetros físico - químicos y microbiológicos como índices o requerimientos de calidad del compost, este último es de vital importancia, dado que es utilizado como medida de garantía higiénica y sanitaria para el uso del compost. El contenido de nutrientes en el compost puede ser muy variado, porque depende de los nutrientes iniciales de los materiales que se han utilizado (CANTANHEDE *et al.*, 1993).

Cuadro 11. Especificaciones referenciales de la calidad física - química del compost.

Parámetro	Rango permisible
Humedad (%)	40 - 60
Tamaño de partículas (mm)	5 - 10
Materia orgánica (%)	25 - 50
Carbono orgánico (%)	8 - 50
Nitrógeno total (%)	0,4 - 3,5
Fósforo como P ₂ O ₅ (%)	0,3 - 3,5
Potasio como K ₂ O (%)	0,5 - 1,8
Cenizas (%)	20 - 65
Calcio como CaO (%)	20 - 65
Relación C:N	25:1 - 30:1
pH	6,5 - 8

Fuentes: CANTANHEDE *et al.*, (1993).

2.12. La tecnología de los microorganismos eficientes

2.12.1. Historia

El Profesor Higa usaba grandes cantidades de químicos y fertilizantes para la agricultura y por el contacto con estos sufrió de enfermedades como urticaria y alergias. Estos antecedentes lo hicieron iniciar

investigaciones sobre alternativas para el uso de los productos químicos (RODRÍGUEZ, 2009). Para su investigación, recogió 2,000 especies de microorganismos, excluyendo microorganismos dañinos u olorosos, logró encontrar 80 microorganismos eficaces beneficiosos a los seres humanos y que no tuvieran efectos dañinos al medio ambiente. Higa empezó a investigar las mejores combinaciones hasta que en 1982 hizo la presentación formal del EM, como acondicionador del suelo, catorce años después de haber comenzado su investigación (CORREA, 2005).

2.12.2. Generalidades de los microorganismos eficaces

El EM es una combinación de varios microorganismos naturales benéficos encontrados en alimentos. Contiene organismos benéficos de tres géneros principales: bacterias fototrópicas, bacterias del ácido láctico y levadura.

Estos microorganismos eficaces secretan sustancias benéficas tales como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales y antioxidantes cuando entran en contacto con la materia orgánica (CORREA, 2005). El EM consiste en cultivos mixtos de microorganismos benéficos y naturales que coexisten en un medio líquido. Cuando se aplican inoculadores microbianos a la basura orgánica o se introducen en el medio ambiente, su efecto benéfico individual se multiplica en forma sinérgica. El cultivo consiste sobre todo de bacterias lácticas, bacterias fotosintéticas y levaduras, contiene más de 80 diferentes microorganismos en total. Las especies principales de los microorganismos eficaces incluyen:

- **Bacterias del ácido láctico.** Es un fuerte esterilizador, suprime

microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica. Las bacterias ácido lácticas aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa, transformando esos materiales sin causar influencias negativas en el proceso. Ayuda a solubilizar la cal y el fosfato de roca entre ellos encontramos: *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactics* (BIOSCA, 2001).

- **Bacterias Fotosintéticas.** Son bacterias autótrofas que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuente de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Encontramos los géneros: *Rhodopseudomonas plastrus*, *Rhodobacter spaeroides* (BIOSCA, 2001).
- **Levaduras.** Útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división celular activa. Sus secreciones son sustratos útiles para microorganismos eficientes como bacterias ácido lácticas y actinomiceto, encontramos los géneros: *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis* (BIOSCA, 2001).
- **Actinomicetes.** Funcionan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos,

benefician el crecimiento y actividad del *Azotobacter* y de las micorrizas entre los géneros encontramos: *Streptomyces albus*, *Streptomyces griseus* (APNAN, 2003).

- **Hongos de fermentación.** Actúan descomponiendo rápidamente la materia orgánica para producir alcohol, esteroides y sustancias antimicrobianas. Esto es lo que produce la desodorización y previene la aparición de insectos perjudiciales entre los géneros encontramos: *Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis* (APNAN, 2003).

Los hongos, las bacterias, los actinomicetos y la levadura se encuentran en todos los ecosistemas. Los utilizan ampliamente en el sector alimenticio y estas especies desempeñan un papel vital en agricultura para mantener y también para realzar la productividad (CORREA, 2005). Las especies utilizadas para la mezcla se aíslan de sus respectivos ambientes donde el EM se utiliza extensivamente y se combinan en un medio a base de azúcar. El azúcar usada comúnmente es melaza o azúcar cruda, y la solución se mantiene a un pH bajo que se extiende entre 3.0 - 4.0. Cabe anotar, que la mezcla no contiene ningún organismo importado de Japón, ni contiene organismos genéticos modificados. Es un cultivo mixto de bacterias comunes, bacterias fotosintéticas, levaduras y actinomicetos (CORREA, 2005).

Estos microbios beneficiosos sintetizan y consumen las sustancias que causan la putrefacción, malos olores y enfermedades, eliminando la mayoría de microbios patógenos por medio de la exclusión competitiva (CORREA, 2005), el EM se hace inactivo por el oxígeno, así que prospera en la contaminación y

muere en condiciones limpias. Es auto reductor, lo cual significa que (especialmente en purificación de aguas) los microbios mismos, son consumidos en el proceso por las enzimas naturalmente presentes dentro de ellos, por lo tanto no hay acumulación del lodo microbiano. No existe contaminación secundaria asociada a usar el EM (CORREA, 2005).

2.12.3. Mecanismos de los microorganismos eficaces

Para entender el mecanismo se emprendieron nuevos experimentos e investigaciones y revelaron que el factor dominante es la emisión ácida de microorganismos. Los microorganismos anaeróbicos producen los ácidos para protegerse contra el oxígeno. En el proceso de la fermentación anaeróbica, esos microorganismos producen una variedad de ácidos con varios efectos. Las ventajas de la tecnología del EM derivan de los efectos de los ácidos que previenen la descomposición, el deterioro o la corrosión de la oxidación, creando un ambiente hospitalario para los seres vivos” (RODRÍGUEZ, 2009).

2.12.4. La inoculación de la pila o compostera

La inoculación de la pila de compostaje con microorganismos, tiene el objetivo de disminuir el tiempo de elaboración del abono orgánico, obtener un material microbiológico y nutricionalmente mejorado (CORREA, 2005). Entre las ventajas de la adición de microorganismos al compostaje están:

- Aceleración del incremento de las temperaturas, manteniéndose en la etapa termofílica el proceso, independiente de la aireación y las condiciones

ambientales.

- Promueve la transformación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando la descomposición de la materia orgánica por oxidación en la que se liberan gases generadores de olores molestos (sulfurosos, amoniacaes y mercaptanos). Adicionalmente, evita la proliferación de insectos vectores, como moscas, ya que estas no encuentran un medio adecuado para su desarrollo.
- Incrementa la eficiencia de la materia orgánica como fertilizante, ya que durante el proceso de fermentación se liberan, sintetizan sustancias y compuestos como: aminoácidos, enzimas, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles, que al ser incorporados al suelo a través del abono orgánico, mejoran sus características físicas, químicas y microbiológicas.
- Acelera el proceso de compostaje a una tercera parte del tiempo de un proceso convencional (5 - 8 semanas).

2.12.5. Aplicaciones del EM

CORREA (2005) menciona las aplicaciones de los microorganismos eficientes en:

2.12.5.1. Medio ambiente

- Tratamiento de residuos orgánicos de las cocinas para fermentarlas en fertilizante orgánico natural.

- Tratamiento de aguas negras para recircularlas al sistema general de aguas para uso normal en limpieza.
- Tratamiento de aguas contaminadas en lagos y lagunas reviviendo la fauna y la flora.
- Aumento de la eficiencia para la combustión de motores de vehículo, mayor millaje y disminución de la emisión de gases.

2.12.5.2. Agricultura

- Aumento en la productividad de los cultivos tratados con métodos tradicionales.
- Se requiere menos mano de obra con mayor productividad. Sin arar, ni deshierbar y siembra directa para el cultivo de arroz.
- En la producción de frutales se obtiene más alto nivel de azúcar así como mayor rendimiento.
- Bajos costos de cultivos, una quinta parte del actual costo de producción agrícola.
- Productos más seguros pues no contienen químicos.
- Promueve la germinación, florecencia y maduración de los frutos.
- Mejora los ambientes físicos, químicos y biológicos de la tierra y disminuye los patógenos y pestes en ella.
- Mejora la capacidad fotosintética de los cultivos.

- Asegura mejor germinación y establecimiento de las plantas.
- Incrementa la eficacia de la materia orgánica como fertilizante.

2.12.5.3. Ganadería

- Reducción de malos olores asociados con los animales de fincas.
- Reducción de stress, infección y enfermedades en los animales.
- Mejoramiento en la calidad de la carne.
- Mayor fertilidad en la inseminación artificial.
- Reducción de mortalidad de recién nacidos.
- Boñiga como fertilizante y ausencia de malos olores.
- La orina animal es fácilmente tratada para pasar el criterio de descarga.

2.12.5.4. Salud

- Reducción de emisiones de vapores tóxicos.
- Mejoramiento de la calidad de vida.
- Disminución de enfermedades por intoxicación con productos químicos.

2.13. Antecedentes de investigación

BEJARANO Y DELGADILLO (2007) evaluó un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá “la modelo” por medio de la utilización de microorganismos eficientes (EM) concluyó que los EM son una

buena alternativa para hacer compostaje cuando no se tienen materiales ricos en microorganismos y nutrientes, como lo son el estiércol, la gallinaza, la conejina entre otros.

MENDOZA (2012) realizó una “Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura”. Concluyendo que el pH es uno de los indicadores que permite controlar el proceso de compostaje, especialmente en la etapa final del mismo (6.8 – 8). Se ha verificado que el pH del compost en todo el proceso debe ser lo más cercano a 7. Si se aleja de este valor, el proceso se torna lento o puede detenerse, debido a que los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica no toleran valores muy ácidos ni muy alcalinos. Los materiales que se procesaron mantuvieron el pH dentro del rango permisible, a excepción de las ramillas de algarrobo que inicialmente registró un valor de 6.36.

NIEVES (2005) determinó la cuantificación de la composición microbiológica de cuatro abonos orgánicos usando microorganismos eficaces como índice comparativo”. Consiguió cuantificar solamente colonias de hongos, debido a que en el recuento de bacterias sólo hubo una formación de una masa bacterial poco aislada, no se cuantificaron bacterias. Los procedimientos metodológicos indistintamente funcionaron para cuantificar ambos tipos de microorganismos

VICENTE Y VIGIL (2012) realizó la evaluación físico – química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost. Concluyó observando lo tres periodos que se deben cumplir en un

compost, las fases son: mesofílica que duro tres días, termofílica que duro cincuenta y ocho días y maduración que duro sesenta días, para la cual utilizó fibras de coco desmenuzada como estructurante.

VENTO (2000) efectuó un estudio sobre la preparación del compost estático y su calidad. Obteniendo un resultado beneficioso al emplear como inoculante microbiano capas alternas de 5 cm de estiércol de vacuno y no usar ningún tipo de labor posterior de mezclado y humedecimiento aun cuando se requiere entre 5 y 6 meses para la obtención de un producto con características físicas, químicas y microbiológicas de buena calidad, afirma que es una manera fácil, sencilla y económica de alto valor.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona en estudio

3.1.1. Lugar de ejecución

La investigación se ejecutó en el P.P. J.J. Nueve de Octubre (Asociación Las Lomas del Señor de los Milagros), distrito de Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, región Huánuco. La accesibilidad a la zona de estudio es vía terrestre, siguiendo la carretera Tingo María Mapresa, desviándonos a la entrada de la margen derecha con destino a Supte San Jorge, a unos 0.6 km frente a la Asociación Loiset Reátegui; posteriormente se camina unos 0.2 km por la parte alta de la mencionada asociación.

Cuadro 12. Ubicación en coordenadas UTM de la zona en estudio.

Zona de estudio	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	E	N	
Área de compostaje	391242	8972975	681

3.1.2. Zona de vida

HOLDRIDGE (1986) establece en su diagrama bioclimático que ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida; P.P. J.J. Nueve

de Octubre (Asociación las Lomas del Señor de los Milagros) corresponde a la formación vegetal de bosque muy húmedo Pre - montano Subtropical (bmh – PMST), habiendo existido anteriormente vegetación exuberantemente y tupida que fue ocupada para formar pueblos jóvenes, asociaciones, etc.

3.1.3. Clima

En el ámbito del distrito de Rupa Rupa - P.P. J.J. Nueve de Octubre (Asociación las Lomas del Señor de los Milagros) presenta un clima tropical, muy lluvioso, con temperaturas promedio máxima de 30 °C y mínima 21 °C; precipitación promedio anual de 3867.3 mm/año (ESTACIÓN METEOROLÓGICA: JOSÉ ABELARDO QUIÑONES, 2013).

3.2. Materiales, insumos y equipos

3.2.1. Materiales y herramientas

Wincha de 5 m, libreta de campo, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, machete, pala, botas, papel periódico, plumón indeleble, etiquetas, capa para la lluvia, carretilla, fumigadora, costales de yute de 50 kg., zarandas, mascarilla, cascos de protección, tachos, galones.

3.2.2. Insumos

Estiércol de vacuno, dolomita, agua de manantial, microorganismos eficientes.

3.2.3. Equipos de campo

Termómetro digital, cámara fotográfica, GPS (marca Garmin).

3.2.4. Reactivos y equipos de laboratorio

Alcohol, agua destilada, peachímetro, balanza digital y estereoscopio.

3.3. Diseño de la investigación

El diseño que se empleó para la investigación, fue tomado en consideración de: (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006). Es de carácter transversal, los datos recolectados fueron en un tiempo determinado, mediante la evaluación del proceso de compostaje, luego fueron analizados tanto físicas, químicas, microbiológicas y las biológicas se realizaron in situ.

3.4. Variables en estudio

Se realizó la evaluación de las siguientes variables.

Cuadro 13. Parámetros físicos, químicos y biológicos del compost.

Parámetros físicos	Método de su determinación
Temperatura del compost	Método directo (termómetro)
Contenido de humedad	Por peso húmedo y seco
Parámetros químicos	
pH	Potenciómetro

Materia orgánica	Método de Walkley y Blakc
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl
Calcio	Método del versenato
Magnesio	Método del versenato
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
Fósforo disponible	Método de Olsen
Hierro	Método de espectrofotometría de absorción atómica (Longitud de onda (nm): 248,3)
Cobre	Método de espectrofotometría de absorción atómica (Longitud de onda (nm): 324,8)
Manganeso	Método de espectrofotometría de absorción atómica (Longitud de onda (nm): 279,5)
Zinc	Método de espectrofotometría de absorción atómica (Longitud de onda (nm): 213,9)
<hr/>	
Parámetros biológicos	
<hr/>	
Macrofauna	Método por recolección de especies
<hr/>	
Parámetros microbiológicos	
<hr/>	
Bacterias	Aislamiento de microorganismos aerobios viables
Actinomicetos	Aislamiento de actinomicetos
Mohos y levaduras	Aislamiento de mohos y levaduras
<hr/>	

3.5. Metodología

3.5.1. Construcción de las camas de compostaje

Se acondicionó la cama de compostaje con medidas de 0.90 x 2.00 x 1.10 m de alto aproximadamente y su manejo fue manual (FUNDASES, 2007).

Cuadro. 14. Distribución de materiales en cada cama.

N° Camas	Insumos	Tto.	N° Capas	Combinaciones por capas
	Estiércol de vacuno		1	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con microorganismos eficientes.
Cama 4	Microorganismo s eficientes 1 L + 19 L H ₂ O	T ₃	2	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con microorganismos eficientes.
			3	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con microorganismos eficientes
	Estiércol de vacuno		1	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con microorganismos eficientes + 33.30 kg de dolomita.

Cama 1	Microorganismos eficientes 3 L + 17 L H ₂ O	T ₂	2	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con microorganismos eficientes + 33.30 kg de dolomita.
	Dolomita		3	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con microorganismos eficientes + 33.30 kg de dolomita.
Cama 2	Estiércol de vacuno		1	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con agua + 33.30 kg de dolomita.
	Agua 20 L	T ₁	2	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con agua + 33.30 kg de dolomita.
	Dolomita		3	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con agua + 33.30 kg de dolomita.
Cama 3	Estiércol de vacuno		1	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con agua.
	Agua 20 L	T ₀	2	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con agua.
			3	125 Kg, estiércol de vacuno + inoculación con agua

3.5.2. Metodología para determinar las variables en estudio

La metodología que se realizó para determinar los parámetros

físicos, químicos y biológicos presentes en el proceso de compostaje fueron:

- Toma de temperaturas que consistía en evaluar diariamente colocando el termómetro a 15 cm aproximadamente en cada cama compostera según (Cuadro 14).
- La macrofauna presente en el proceso de compostaje consistió en recolectar las especies observadas en los días evaluados (volteos, toma de temperaturas, inoculación con M.E. y muestreo), guardados en un frasco de vidrio con una solución de alcohol al 95%, que posteriormente fueron identificadas en el Laboratorio de Entomología de la UNAS.
- El pH fue evaluada semanalmente durante el proceso de compostaje de cada cama y fue analizada en el Laboratorio de suelos de la UNAS (Cuadro 14).
- La identificación y cuantificación de los microorganismos eficientes presentes en el proceso de compostaje fueron evaluados a través de los muestreos por cada cama a 0 días (T0, T1, T2, T3), 15 días (T0, T1, T2, T3), 25 días (solo T2), 35 días (solo T3), 43 días (solo T1) y 46 días (solo T0) luego fue llevado al Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su respectivo análisis (bacterias, actinomicetos, mohos y levaduras).
- La identificación y cuantificación de microorganismos eficientes en forma líquida (1 litro), se tomó muestras a 0, 15, 25, 35, 43, 46 días, que fueron analizadas en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional

Agraria de la Selva.

- El análisis de (contenido de humedad, materia orgánica, nitrógeno total, calcio, magnesio, potasio disponible, hierro, cobre, manganeso y zinc) se realizó al final del proceso de compostaje, se tomó 1 kg del compost y fueron llevados al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.6. Análisis de datos

La interpretación de los análisis fueron emitidos por el Laboratorio de Análisis de Suelos y el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Para la correlación de los microorganismos presentes en el compost con los parámetros químicos se usó la prueba estadística r (coeficiente r de Pearson) (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006).

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos en la producción de compost

4.1.1. Parámetros físicos

4.1.1.1. Temperatura

El Cuadro 15, temperaturas generadas por cada tratamiento evaluado, donde T2 alcanzó el mayor incremento de temperatura a los 15 días con 61.4 °C, descendiendo hasta los 28.3 °C a los 25 días, seguido del T3 con 50 °C, descendiendo a 28.4 °C, el T1 tuvo una temperatura moderada de 32.7 °C a 28 °C, el T0 conservó una temperatura de 32.8 °C y 27.3 °C, estos incrementos en la temperatura están ligados a la actividad microbiana que existe en el proceso de compostaje.

Cuadro 15. Temperaturas generadas en cada tratamiento durante las mediciones.

Días representativos	Tratamiento			
	T2	T3	T1	T0
0 días	33.7	34	32.7	32.8

8 días	48.3	42.5	35.1	33.7
15 días	61.4	50	37.2	34.4
22 días	38.3	43	41	36.3
25 días	28.3	40.7	41.7	38.3
29 días	-	38.3	38	38.7
35 días	-	28.4	36	35.7
36 días	-	-	32	36
43 días	-	-	28	30
46 días	-	-	-	27.3

4.1.1.2. Humedad y contenido de materia orgánica en base seca

En el Cuadro 16, contenido de humedad y materia orgánica en base seca de los cuatro tratamientos evaluados, el tratamiento 2 presentó mayor contenido de humedad con 12.20% y altos contenido de materia orgánica con 43.32%, seguido del tratamiento 3 con 10.24% de contenido de humedad y 42.40% de materia orgánica, y el menor porcentaje de humedad lo registra el tratamiento 1 con 5.05% y 22.74% de materia orgánica, mientras el tratamiento 0 fue superior al tratamiento 1 presentando una humedad del 8.96% y un contenido de materia orgánica del 24.46%.

Cuadro 16. Humedad y materia orgánica en base seca evaluados en cuatro tratamientos de compost.

tratamiento	Humedad %	Materia orgánica en base seca %
0	8.96	24.46
1	5.05	22.74
2	12.20	43.32
3	10.24	42.4

4.1.2. Parámetros químicos

4.1.2.1. pH

Los resultados de las mediciones cada 7 días, Cuadro 17, T2 (8.2), T3 (8.15), T1 (8), T0 (8.1) acidez del estiércol en forma natural (sin proceso de compostaje) constituyéndose el inicio de la evaluación, posteriormente el proceso desciende T2 (5.5), T3 (5.8), T1 (5.7) y T0 (5.9) a los 8 días, el valor del pH evaluado al producto final de cada tratamiento a los 25 días T2 (8.4), 35 días T3 (8.5), 43 días T1 (8.6) y 46 días T0 (8.4), encontrándose el pH del compost en rangos permisibles.

Cuadro 17. Valores de pH generados en cada tratamiento por semana durante las evaluaciones.

Días evaluados	Tratamiento			
	T2	T3	T1	T0
0 días	8.2	8.15	8	8.1

8 días	5.5	5.8	5.7	5.9
15 días	6.5	6.4	6.1	6.2
22 días	8.3	7.3	7.4	7
25 días	8.4	-	-	-
29 días	-	8.4	7.5	7.4
35 días	-	8.5	-	-
36 días	-	-	7.6	8.2
43 días	-	-	8.6	8.4
46 días	-	-	-	8.4

4.1.2.2. Macronutrientes

El Cuadro 18, muestra los resultados referenciales de la calidad química de los macronutrientes en el compost; el T2 presenta alto contenido de N⁺ (2.35%), contenido medio de Ca²⁺ (6.79 %), bajo en Mg²⁺ , K⁺ (0.70% y 0.27%) y P⁺ (0.78%) proporción adecuada del compost y asimilable para la planta, seguido T3 contenido de N⁺ (2.30%), Ca²⁺ (6.65%), Mg²⁺ , K⁺ (0.68% y 0.26%) y P⁺ rango aceptable (0.70%), T0 y T1, rangos permisibles de N⁺ (1.41% y 1.12%), bajo contenido de Ca²⁺ (3.35% y 4.53%), bajo en Mg²⁺ (0.10% y 0.64%), bajo en K⁺ (0.13% y 0.10%) y bajo en P⁺ (0.27% y 0.15%) respectivamente.

Cuadro 18. Parámetros químicos evaluados en porcentaje en cuatro tratamientos de compost.

Tto.	(%) N ⁺ en base seca	Ca ²⁺ (%)	Mg ²⁺ (%)	K ⁺ (%)	P ⁺ (%)
0	1.41	3.35	0.10	0.13	0.27

1	1.12	4.53	0.64	0.10	0.15
2	2.35	6.79	0.70	0.27	0.78
3	2.30	6.65	0.68	0.26	0.70

4.1.2.3. Micronutrientes

El Cuadro 19, resultados referenciales en ppm de los micronutrientes presentes en el compost los cuatro tratamientos presentan un alto contenido de Fe^{2+} , mayor proporción el T2 con 2895.31 ppm, seguido T3 con 2890.33 ppm y en menor proporción el T0 con 1352.29 ppm, alto contenido de Cu^{2+} con mayor proporción el T2 con 11.96 ppm, seguido el T3 con 11.94 ppm y en menor proporción el T0 con 5.40 ppm, alto contenido en Mn^{2+} en T2 con 549.90 ppm, seguido el T3 con 547.94 ppm, finalmente Zn^{2+} T2 con 92.67 ppm y T3 con 92.63 ppm respectivamente.

Cuadro 19. Parámetros químicos evaluados en ppm en cuatro tratamientos de compost.

Tto.	Fe^{2+} (ppm)	Cu^{2+} (ppm)	Mn^{2+} (ppm)	Zn^{2+} (ppm)
0	1352.29	5.40	300.66	55.29
1	2158.01	6.47	293.17	48.13
2	2895.31	11.96	549.90	92.67
3	2890.33	11.94	547.94	92.63

4.1.3. Parámetros biológicos

El Cuadro 20, resultados de macrofauna y microfauna con su

respectiva clasificación en los T1, T2, T3 y T0, macrofauna (clase insecta, clitellata, myriápoda y malacostraca); esto mediante observación directa, microfauna (bacterias, actinomicetos, mohos y levaduras) mediante análisis microbiológico.

Cuadro 20. Macro y microfauna encontrados en los cuatro tratamientos de compost.

Macrofauna		Microfauna
Insecta	Malacostraca	Bacterias
Clitellata		Actinomicetos
Myriápodo		Mohos y
		Levaduras

4.2. Identificación y cuantificación de los microorganismos presentes en la producción de compost

4.2.1. Identificación de microorganismos

El Cuadro 21 muestra los resultados de los microorganismos identificados en cada uno de los tratamientos, para el T0 se identificaron 3 géneros (*Bacillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Botrytis sp.*), en el tratamiento T1 4 géneros (*Pseudomonas sp.*, *Geotrichum sp.*, *Bacillus sp.*, *Nocardia Sp.*), para el T2 4 géneros (*Trichoderma sp.*, *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Mucor sp.*), mientras que para T3 solo se encontraron 3 géneros (*Bacillus sp.*, *Mucor sp.*, *Aspergillus sp.*).

Cuadro 21. Identificación de microorganismos en cuatro tratamientos de compost

N° género	T0	T1	T2	T3
1	<i>Bacillus sp</i>	<i>Pseudomonas sp</i>	<i>Trichoderma sp</i>	<i>Bacillus sp</i>
2	<i>Fusarium sp</i>	<i>Geotrichum sp</i>	<i>Aspergillus sp</i>	<i>Mucor sp</i>
3	<i>Botrytis sp.</i>	<i>Bacillus sp</i>	<i>Penicillium sp</i>	<i>Aspergillus sp</i>
4	-	<i>Nocardia sp.</i>	<i>Mucor sp</i>	-

El Cuadro 22, muestra la identificación de los microorganismos eficientes (liquido) en los tratamientos evaluados, los géneros (*Rhodopseudomonas*, *Mucor sp*, *Saccharomyces sp*), se registraron en todos los tratamientos, siendo los más dominantes, mientras (*Aspergillus sp.*) solo se registraron en los T1 y T2 y el género (*Trichoderma sp.*) solo se registró en T2, siendo el T2 donde se reportó un mayor número de microorganismos eficientes.

Cuadro 22. Identificación de microorganismos eficientes (liquido) en los tratamientos.

N° clase	T0	T1	T2	T3
1	<i>Rhodopseudomonas</i>	<i>Rhodopseudomonas</i>	<i>Rhodopseudomonas</i>	<i>Rhodopseudomonas</i>
2	<i>Mucor sp</i>	<i>Mucor sp</i>	<i>Mucor sp</i>	<i>Mucor sp</i>

3	<i>Saccharomyces</i> <i>sp</i>	<i>Saccharomyces</i> <i>sp</i>	<i>Saccharomyces</i> <i>sp</i>	<i>Saccharomyces</i> <i>sp</i>
4	-	<i>Aspergillus sp</i>	<i>Aspergillus sp</i>	-
5	-	-	<i>Trichoderma sp</i>	-

4.2.2. Cuantificación de microorganismos

El Cuadro 23, cuantificación de colonias por gramo de compost de microorganismos evaluados, el tratamiento 0 evidenció el menor desarrollo de colonias de microorganismos, la abundancia se registró en los T2 y T3, superando al tratamiento 0 y 1, asimismo se evidenció que las bacterias presentaron el mayor incremento en colonias por gramo de compost elevándose durante las evaluaciones, seguido de actinomicetos, con un menor tamaño de colonias estuvo mohos y levaduras. Para los microorganismos eficientes (ME) el crecimiento de colonias por gramo de compost no se evidenció en grandes cantidades llegando hasta los 60×10^4 col. g/compost para las bacterias, 75×10^4 col. g/compost para actinomicetos y finalmente 18×10^4 col. g/compost para mohos y levaduras en la última evaluación.

Cuadro 23. Cuantificación de microorganismos colonias por gramo de compost evaluados mediante análisis microbiológico.

Evaluaciones	Mo.	T0	T1	T2	T3	ME
0 días	NMAV	28×10^4	38×10^4	45×10^4	40×10^4	46×10^4
	NACT	36×10^4	48×10^4	52×10^4	51×10^4	68×10^4

	NML	14×10^4	13×10^4	18×10^4	16×10^4	12×10^4
	NMAV	140×10^4	350×10^4	400×10^4	350×10^4	50×10^4
15 días	NACT	70×10^4	86×10^4	120×10^4	100×10^4	69×10^4
	NML	50×10^4	55×10^4	75×10^4	65×10^4	13×10^4
	NMAV	148×10^4	365×10^4	488×10^4	475×10^4	52×10^4
25 días	NACT	76×10^4	88×10^4	136×10^4	130×10^4	70×10^4
	NML	54×10^4	59×10^4	89×10^4	80×10^4	14×10^4
	NMAV	157×10^4	380×10^4	-	490×10^4	55×10^4
35 días	NACT	81×10^4	90×10^4	-	145×10^4	71×10^4
	NML	57×10^4	66×10^4	-	90×10^4	15×10^4
	NMAV	-	408×10^4	-	-	58×10^4
43 días	NACT	-	100×10^4	-	-	73×10^4
	NML	-	70×10^4	-	-	17×10^4
46 días	NMAV	164×10^4	-	-	-	60×10^4

NACT	85 x 10 ⁴	-	-	-	75 x 10 ⁴
NML	60 x 10 ⁴	-	-	-	18 x 10 ⁴

4.3. Correlación de los parámetros químicos con los microorganismos presentes en el compost

Se concluye con un nivel de significancia de 0.10 existe correlación positiva (0.99) entre la numeración de bacterias y el magnesio con un valor (0.094454), asimismo para numeración de actinomicetos, mohos y levaduras con el calcio con una correlación fuertemente positiva (1.00) y un valor (0.034432) y (0.001285) respectivamente, es decir que las variables evaluadas son directamente proporcionales, mientras una se incrementa la otra variable tiende a subir o viceversa, Cuadro 24.

Cuadro 24. Correlación de Pearson entre las variables químicas con los microorganismos del compost.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	P valor
NMAV	magnesio	3	0.99	0.094454
NACT	calcio	3	1.00	0.034432
NML	calcio	3	1.00	0.001285

Análisis de correlación con un nivel de significancia $\alpha = 0.10$, y una probabilidad del 90% encontrándose correlación entre las variables evaluadas.

V. DISCUSIÓN

5.1. Parámetros físicos, químicos y biológicos evaluados en la producción de abonos orgánicos

5.1.1. Parámetros físicos

La temperatura es un factor determinante en el proceso de compostaje, los promedios generados por los tratamientos evaluados alcanzaron a los 15 días valores de 61.40 °C, descendiendo a los 25 días en 28.3 °C; SILVA *et al.*, (2008) menciona que cuando existe una liberación de calor genera un aumento de temperatura, que descompone algunos compuestos como azúcares, almidones y grasas, cuando la temperatura alcanza los 60 °C a 70 °C, se puede garantizar la eliminación de semillas de malezas y muchos agentes patógenos que pueden estar presentes. SILVA *et al.*, (2008) hace referencia que el equilibrio ideal de la humedad generalmente se encuentra en el rango de 50% y 60%, dependiendo de los materiales y el método de compostaje. Mientras que el contenido de humedad fue de 12.20% y 5.05%, debido a que su evaluación se realizó al producto final.

5.1.2. Parámetros químicos

Los tratamientos presentan altos contenidos de materia orgánica en

base seca que oscilan entre 43.32% y 22.74%. LÓPEZ *et al.*, (2001) afirma que la composición química del compost es muy variada ya que depende en gran medida de la edad, según su procedencia, manejo y contenido de humedad. El pH obtenido durante la evaluación oscilo de 5.5 a 8.6. LÓPEZ *et al.*, (2001) hace referencia que el pH baja debido a la formación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular, a medida que el proceso avanza el valor del pH aumenta hasta valores aproximados entre 6.5 a 8.5.

Los macronutrientes registrados, se observó que el nitrógeno en los cuatro tratamientos oscilan entre 2.35% y 1.12%; tal como lo menciona CANTANHEDE *et al.*, (1993) que el rango permisible del nitrógeno es de (0.3 – 3.5) especificaciones referenciales de calidad física – química del compost, las plantas necesitan para su normal crecimiento siendo elementos indispensables, mientras que los demás macronutrientes como es el caso del calcio, magnesio, potasio y fósforo no se encuentran dentro de los rangos que menciona el autor. CORPOICA (2002) hace referencia la función de los macronutrientes en las plantas con sus respectivas cantidades, donde con una cantidad de 1 – 2% de nitrógeno las plantas son resistentes a las plagas y tiene un crecimiento aéreo, con 0.8 – 2.5% de fósforo las plantas tiene un buen desarrollo de raíces, una buena maduración de flores, semillas y frutos, con 1 – 1.5% de potasio existe una buena fortaleza en las raíces y tallos, con 2 – 8% de calcio las plantas obtienen una buena formación de las paredes celulares, > 1% de magnesio formara parte de la clorofila y actúa en el metabolismo del fósforo, según los resultados obtenidos de la calidad química del compost, el nitrógeno y el calcio

se encuentran dentro de estos rangos y los demás cumplen con estos rangos.

Los micronutrientes presentes en ppm de Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} y Zn^{2+} en los cuatro tratamientos presentan concentraciones superiores, GUZMAN (2007) menciona que los macronutrientes y micronutrientes son los elementos químicos que sirven a los vegetales como fuente importante de alimento; macronutrientes son los que las plantas necesitan en mayor proporción, por otro lado, los micronutrientes también son necesarios pero en muy pequeñas cantidades, su presencia en las plantas es mucho más reducida que en el caso de los macronutrientes.

Los parámetros biológicos evaluados en la descomposición del compost se obtuvieron la macrofauna, clase insecta, clitellata, myriápoda y malacostraca; esto mediante observación directa, en la microfauna se registraron las bacterias, actinomicetos, mohos y levaduras. CEGARRA (1996) menciona que el cambio gradual de los factores químicos, físicos y microbiológicos va generando distintos “nichos ecológicos” y los integrantes de la macrofauna aparecerán en determinados momentos, ajustándose a los distintos sitios, con condiciones afines a sus necesidades. Mientras que GROSSI 1993; TCHOBANOGLIOUS (1994) afirman que los microorganismos de interés en el compostaje son organismos heterótrofos que utilizan compuestos orgánicos como fuente de energía y desarrollan tejido celular a partir de nitrógeno, fósforo, carbono y otros nutrientes necesarios, los organismos responsables de la transformación biológica de los materiales orgánicos en el compost son los hongos, las bacterias y actinomicetos, los que se registraron en

los resultados.

5.2. Identificación y cuantificación de los microorganismos presentes en la producción de compost

5.2.1. Identificación de microorganismos

Los resultados de microorganismos identificados en los cuatro tratamientos fueron los géneros *Bacillus sp.*, en T0, T1 y T3, seguido del *Aspergillus sp.*, en T2 y T3 y *Fusarium sp.*, *Botrytis sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Geotrichum sp.*, *Nocardia Sp.*, *Trichoderma sp.*, *Penicillium sp.*, *Mucor sp.*, y *Aspergillus sp.*, distribuidos en los tratamientos. ALVAREZ (2009) menciona que el compostaje es un proceso donde intervienen microorganismos que atacan a los residuos orgánicos. El 95% de estos microorganismos lo conforman las bacterias y los hongos, que son los responsables de la actividad microbiológica para descomponer los materiales, seguidos de los actinomicetos y los protozoos. Los microorganismos eficientes identificados en medio líquido en el tratamiento (0, 1, 2 y 3) fueron los géneros de *Rhodopseudomonas*, *Mucor sp.*, *Saccharomyces sp.*, *Aspergillus sp.*, se registró en T1 y T2 y el género *Trichoderma sp.*, en T2.

5.2.2. Cuantificación de microorganismos

La cuantificación de colonias por gramo de compost evaluados en los tratamientos se evidenció que el menor desarrollo de colonias fue en tratamiento 0, la abundancia lo registró T2 y T3 superando al tratamiento 0 y 1,

las bacterias presentaron mayor incremento de colonias durante las evaluaciones, seguido de actinomicetos, mohos y levaduras con una menor proporción de colonias, superando los índices de calidad microbiológica con rangos aproximados que puedan estar presentes las poblaciones de microorganismos en el compost para su aplicación tanto en suelos como en plantas propuestos por (ALVAREZ, 2009).

5.2.3. Correlación de los parámetros químicos con los microorganismos presentes en el compost

Existe una correlación positiva (0.99) entre la numeración de bacterias y el magnesio con un valor (0.094454), la correlación y numeración de actinomicetos, mohos y levaduras con el calcio también es fuertemente positiva (1.00), un valor (0.034432) y (0.001285) respectivamente, es decir que las variables evaluadas son directamente proporcionales, mientras una se incrementa la otra variable tiende a subir o viceversa. VICENTE Y VIGIL (2012) realizó la evaluación físico – química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost. Concluyó observando tres periodos que debe cumplir un compost, las fases son: mesofílica que duro tres días, termofílica que duro cincuenta y ocho días y maduración que duro sesenta días, utilizó fibras de coco desmenuzada como estructurante.

VI. CONCLUSIONES

1. Los parámetros físicos, químicos y biológicos fueron: temperatura 61.40 °C, humedad de 12.20%, materia orgánica de 43.32% , pH (8.6), altos contenidos (N^+ y Ca^{2+}), bajo contenido (K^+ , P^+ y Mg^{2+}); alto contenido (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} y Zn^{2+}), macrofauna (clase insecta, clitellata, myriápoda y malacostraca), microfauna (bacterias, actinomicetos, mohos y levaduras).
2. Los microorganismos identificados en el tratamiento (0, 1,2 y 3) fueron los géneros *Bacillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Botrytis sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Geotrichum sp.*, *Nocardia Sp.*, *Trichoderma sp.*, *Penicillium sp.*, *Mucor sp.*, seguido de *Aspergillus sp.* (T2 y T3).
3. Existe correlación positiva (0.99) entre la numeración de bacterias y el magnesio con un valor (0.094454), la correlación y numeración de actinomicetos, mohos y levaduras con el calcio es fuertemente positiva (1.00), (0.034432) y (0.001285), las variables evaluadas son directamente proporcionales, mientras una se incrementa la otra variable tiende a subir o viceversa.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar la misma investigación con otros tipos de residuos orgánicos y diferentes especies
2. Realizar los análisis físicos químicos de acuerdo al incremento de temperatura induciendo a un análisis a detalle con relación al aporte de energía en la degradación que realizan los microorganismos eficientes.
3. Realizar cultivos in vitro a partir del compost obtenido para separar microorganismos de acuerdo al rango de efectividad en la agricultura.
4. Continuar con la misma investigación detallando las características fisiológicas, químicas, biológicas y el impacto que genera con el medio ambiente de cada microorganismo presente en el compost.
5. Plasmar la investigación a partir del compost para la aplicación en la fertilización de cualquier cultivo.

VIII. ABSTRACT

EVALUATION OF THE PRODUCTION OF COMPOST WITH EFFICIENT MICROORGANISMS DISTRICT OF RUPA RUPA

The research was conducted in the PPJJ Nueve de Octubre, Rupa Rupa District, Leoncio Prado province; September to March 2015. The purpose was to determine the physical, chemical and biological parameters, identify, quantify and correlate the microorganisms in the compost with chemical parameters. Four composting was developed using as inputs cattle manure and dolomite of which two were inoculated with (3 and 2 L of efficient microorganisms) during composting (46 days). To determine the relationship of the variable under study r Pearson correlation was used.

Physical, chemical and biological parameters were: temperature (61.40 ° C), humidity (12.20%), organic matter (43.32%), pH (8.6), N⁺ (2.35%), Ca²⁺ (6.79%), low (Mg²⁺, P⁺ and K⁺). High contents (Fe²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺ and Zn²⁺), macrofauna (Insecta class, Clitellata, Myriapoda and Malacostraca), microfauna (bacteria, actinomycetes, molds and yeasts).

The genera *Bacillus* sp, treatment (0, 1 and 3), *Aspergillus* sp, treatment (2 and 3), *Fusarium*, *Botrytis* sp, *Pseudomonas* sp, *Geotrichum* sp, *Nocardia* Sp., *Trichoderma* sp, *Penicillium* sp, *Mucor* sp identified and *Aspergillus*

sp., treatment (0, 1, 2 and 3), effective microorganisms (Rhodopseudomonas, Mucor, Saccharomyces sp, treatment (0, 1, 2 and 3), Aspergillus sp, treatment (1 and 2) and Trichoderma sp, in treatment 2.)

A positive correlation (0.99) between the numbers of bacteria and magnesium with a value (0.094454), correlation and number of actinomycetes, molds and yeasts with calcium is strongly positive (1.00), as (0.034432) and (0.001285) evaluated variables are directly proportional, one variable increases while the other tends to rise and vice versa.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (EPA) .1999. Biosolids Generation, Use, and Disposal in the United States. Norma 503 de la EPA. [En línea]: (<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/biosolidos.pdf>. Doc. 15 Ago. 2014).

ÁLVAREZ, J. 2009. Tesis: “La calidad del suelo y del compost del parque de Itchimbía en su proceso de recuperación”. Escuela politécnica del ejército – Departamento de ciencias de la vida ingeniería en biotecnología. Quito – Ecuador. p. 14.

ANDFIASS, A.C. 1998. ¿Cómo elaborar una composta? Fertilización alternativa. México. p. 1 – 10

APNAN. 2003. Red de Agricultura natural de para la Región Asia/Pacifico. Manual de Aplicación. [En línea]: (www.apnam.com., Doc., 18 de Set. 2014).

AUBERT, C. 1998. El huerto biológico. Ed. Integral. Barcelona. 252 p.

BEJARANO, B. E. P., DELGADILLO, A. S. M. 2007. Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá “la modelo” por medio de la utilización de microorganismos

eficientes (EM). Para optar el título de Ing. Ambiental y Sanitaria, Bogotá, Colombia. Universidad de la SALLE Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 96 p.

BIOSCA, A. 2001. ¿Qué son microorganismos eficientes? [En línea]: (<http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080731132cultivo%20de%20cebolla%20de%20rama%20o%20larga.pdf>., Doc., 10 de Set. 2014).

BONGCAM V., E. 2003. Guía para compostaje y manejo de suelos. Convenio Andrés Bello. CAB. Bogotá.

BONILLA, M., MOSQUERA, M. 2007. Tesis: “Seguimiento de la presencia de rotavirus a un proceso de compostaje realizado a partir de residuos orgánicos domiciliarios y contenido ruminal”. Pontificia Universidad Javeriana – Facultad de ciencias. Bogotá - Colombia. [En línea]: (<<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis97.pdf>>. Doc. 16 Ago. 2014) 50 p.

CANTANHEDE, A., MONGE, G., WHARWOOD, G. 1993. Proyecto de investigación: “Compostificación de residuos de mercado”. Lima - Perú. [En línea]: (<<http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/composti.pdf>>. 11 Nov. 2014) 29 p.

CARRIÓN, M., COMPANIONI, N., GONZÁLEZ, R. 1999. Efectos de diferentes fertilizantes orgánicos – minerales sobre el rendimiento y calidad de algunas hortalizas. Convención Trópico’99. Geografía, Meteorología y

Agricultura Tropical. INIFAT. Resúmenes. p. 351.

CEGARRA, J. 1996. Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del compost. En Memorias del curso master internacional de aprovechamiento de Residuos Orgánicos. Palmira.

CEPEDA, D. 1991. Química de suelos. 2 ed. México, Editorial Trillas S.A.

CESTA, 2007. Amigos de la Tierra. Tipos de Abono. San Salvador. [En línea]: (http://www.tierra.org/spip/IMG/pdf/AdT_Manuel_abonado-compost-2.pdf. Doc. 12 Oct. 2014). 3 p.

CORBELLA, R., FERNANDEZ, J. 2009. Materia orgánica del suelo. Universidad Nacional de Tucumán. Cátedra de edafología. Argentina. 10 p.

CORPOICA. 2002. Producción de abonos orgánicos de buena calidad. Boletín Técnico. Promomedios Impresiones. Bogotá, Colombia. 29 p.

CORREA, M. 2005. ¿Cuál es la Tecnología de Microorganismos Eficaces? ¿Cómo nos puede ayudar? .Publicado en Material del Curso Resistencia: Lecciones de Civilidad. Bogotá. 4 p.

CURRY, J. 1987. The invertebrate fauna of grassland and its influence on productivity. III. Effects on soil fertility and plant growth. Grass and Forage Science 42 (4) 325-341.

DIOS, M. 2008. Tesis doctoral: "Estudio y desarrollo de técnicas respirométricas

para el control de la estabilidad del compost”. Universidad de Córdoba - Facultad de ciencias – Departamento de química inorgánica e ingeniería química. Córdoba – Argentina. 60 p.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA: JOSÉ ABELARDO QUIÑONES. 2013. Gabinete de Climatología y Meteorología. Tingo María.

FAO. 1991. Manejo del suelo. Producción y uso del compost en ambientes tropicales y subtropicales. Roma. 312 p.

FAO. 2002. Soil biodiversity and sustainable agriculture. In International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture. Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja. no.182. 1 - 68 p.

FRIONI, L. 1990. Ecología Microbiana del Suelo. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. Montevideo. 519 p.

FUNDASES. 2007. Factores Importantes para Realizar Compostaje con EM. [En línea]: (<http://www.fundases.com/p/pub-compostaje03.html>. Doc. 10 Oct. 2014).

GLIESSMAN, S. R. 2000. Agroecosistem sustainability. Developing Practical Strategies. Ed. Edwads, CA. US. , 210 p.

GLIESSMAN, S.R. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, CR., 359 p.

- GÓMEZ, J., ESTRADA, I. 2005. II congreso sobre residuos biodegradables y compost. "Índices de la calidad de suelos y compost desde la perspectiva agro ecológica". Sevilla – España. [En línea]: (<http://www.bpeninsular.com/pdfs/Ponencia_ISR_Sevilla.pdf>. Doc. 10 Oct. 2014). 6 p.
- GROSSI, M. L. 1993. Evaluación de la calidad de los productos de las usinas de compostaje de Brasil de residuos sólidos domésticos a través de metales pesados y sustancias orgánicas. Universidad de Sao Paulo.
- GUERRERO, J. 2000. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Segunda reimpresión. Aedos. S.A., España
- GUZMÁN, R.N.I. 2007. The compost vegetal as an alternative to reduce yard wastes in the Sanitary Landfill System of Guayama. Pro Quest Editores. Puerto Rico. 139 p.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, P. 2006. Metodología de investigación. 4 ed. McGraw-Hill Interamericana. México. 736 p.
- HOLDRIDGE, L. 1986. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- INN (Instituto Nacional de Normalización, CH). 2003. Proyecto de Norma NCH2880. C2003. Compost y requisitos. [En línea]: (<http://www.indap.gob.cl/Docs/Documentos/Org%C3%A1nicos/compost/002.Compost.NCh2880-2003.pdf>. Doc. 15 Ago. 2014).

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. (ICONTEC). 2003. Norma Técnica Colombiana NTC 5167: Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas del suelo editado por ICONTEC. Bogotá. Colombia. 96 p.
- LINDEN, D., HENDRIX, P., COLEMAN, D., VAN VILET, P. 1994. Faunal indicators of soil quality. In Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable Environment. SSSA. Special Publication no. 35. 91 - 106 p.
- LÓPEZ, M.J.D., DÍAZ, E.A., MARTÍNEZ, R.E., VALDÉZ, C.R. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra 19 (4), p. 293 - 299.
- LORA, S. R. 1980. Disponibilidad en el Suelo de Micronutrientes Esenciales para la Planta. En: Suelos y Fertilización de Cultivos. ICA. Medellín. 66 p.
- MATSUZAKI, H. 2001. Suelo, compost y materia orgánica. 9 ed. Editorial La luz de casa, JP. 189 p.
- MAYEA, S. S. 1995. Efectividad de la inoculación artificial y con estiércol vacuno en la elaboración del compost. (Biotierra). Centro agrícola. Revista del MES. Cuba. UCLV. p. 28 – 33.
- MENDOZA, J. M. A. 2012. “Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura”. Para optar el título de Ing.

Industrial y de Sistemas, Piura, Perú. Universidad de Piura Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas. 115 p.

MINAZ. 1991. Instructivo para la elaboración de compost a partir de la agroindustria azucarera. ICIDCA. Dirección de agrotecnia. La Habana. 40 p.

MUNÉVAR, M. 1982. Fernando. Principales procesos microbiológicos en el suelo y su función en la productividad agropecuaria. En: Fertilidad de suelos y fertilizantes, Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá (Colombia). Serie Compilación de curso - Instituto Colombiano Agropecuario (Colombia). Bogotá.

NAVARRO, R., CESTA. 2006. Amigos de la tierra. Manual para hacer composta aeróbica. San Salvador. [En línea]: ([http:// www.cesta-foe.org/recursos/guias.html](http://www.cesta-foe.org/recursos/guias.html). Doc. 15 Nov. 2014).

NIEVES, J. L. 2005. Cuantificación de la composición microbiológica de cuatro abonos orgánicos usando EM (microorganismos eficaces) como índice comparativo". Para optar el título de Ing. Agrónomo, Guácimo, Costa Rica. Universidad EARTH Facultad de Agronomía. 120 p

PACHECO, F. 2009. Tesis magistral: "Evaluación de la eficacia de la aplicación de inóculos microbiales y de Eissenia fétida en el proceso de compostaje doméstico de desechos urbanos". Universidad pública de Navarra. – Máster en agro biología ambiental. Navarra – España. [En línea]: (<http://www.rapaluruguay.org/.../PRACTICUM_FABIAN_PACHECO.pdf

>. Doc. 10 Set. 2014.) 12 p.

PAÉZ, O. M., CHENIQUE, R. B. 1999. Bioabonos. Uso alternativo de residuales orgánicos sólidos y líquidos. CIC – DECAP. Ciudad de la Habana. p. 8 – 9 – 14 – 43.

PNUD, INIFAT. 2002. “Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana”.

PORTA, J., LÓPEZ, ACEVEDO, M., ROQUERO, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi - Prensa. Madrid. 807 p.

PROGRAMA DE APOYO PROFESIONAL PARA LA INSERCIÓN LABORAL EN EL PERÚ. 2007. “Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces”. 13 p.

RODRÍGUEZ, M. 2009. Microorganismos eficientes (EM). [En línea]: (http://aia.uniandes.edu.co/documentos/articulo%20em%20_manuel%20r.pdf. Doc., 5 Set. 2014).

RUEDA, P.P.A. 2005. Fundación de Asesorías para el Sector Rural (FUNDASES). Compostaje con EM. Bogotá. [En línea]: (<http://www.fundases.com/p/publicaciones.html>. Doc. 12 Oct. 2014).

SILVA, J., LÓPEZ, P., VALENCIA, P. 2008. Tesis: “Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje”. Escuela de ingeniería de los recursos naturales y del ambiente (EIDENAR). Universidad del Valle - Facultad de ingeniería. Cali – Colombia. [En línea]:

(<<http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compostaje.pdf>>. Doc. 8 Set. 2014) p 4.

STOFFELLA, P.J., KHAN, B.A. 2004. Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola. Grupo Mundi. Prensa. Madrid, España, 360 p.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. 1994. Gestión integral de residuos sólidos. Vol. II McGraw – Hill. Madrid.

THE ECONOMIST. 1993. A survey of wastes and the environment. May, 29 th. The Economist Newspaper Group. Inc. p. 3 – 18.

TREJO, V. R. 1997. Procesamiento de la basura urbana. Segunda edición. Ed. Trillas. México.

UOZUMI, M. 2002. Pensamiento sobre agricultura orgánica: guía para agricultura orgánica: desde preparación de suelo hasta la comida. Grupo de agricultura orgánica en Japón. J. P. Tokio, 352 p.

VANSCHOOR, M.J., SMITH, I.E., DAVIS, C.L. 1990. Preparation and utilization of pine bark as a growing medium for plants. University of Natal. Department of Horticultural Science. Pietermaritzburg.

VENTO, P. M. 2000. Estudio sobre la preparación del compost estático y su calidad. Para optar el título de Master en Fertilidad del Suelo, Camagüey, Cuba. Universidad de Camagüey, Instituto de Suelos. 55 p.

VICENTE, M. M., VIGIL, S. J. A. 2012. Evaluación físico - química y

microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost. Para optar el título de Ing. Agrónomo, ciudad universitaria, Centro América. Universidad de el Salvador Facultad de ciencias Agronómicas. 98 p.

ZERBINO, M., MORÓN, A. 2003. Macrofauna del suelo y su relación con propiedades físicas y químicas en rotaciones cultivo - pastura. In Morón, A.; Díaz, R. (Eds. técnicos). Simposio "40 años de rotaciones agrícolas – ganaderas". Montevideo, Uruguay. Serie Técnica no. 134. 45 - 53 p.

ANEXO

Anexo 1. Cuadro de evaluaciones de los tratamientos

Cuadro 25. Evaluación In Situ del proceso de compostaje del tratamiento 3.

Monitoreo de variables del proceso de compostaje de la cama 4.									
N° días	T° en el proceso de compostaje			\bar{X}	pH	Volteos	T° Ambiente	Presencia de macroorganismos	Clase
1	33.5	34.3	34.3	34.0	8.15		27	si	Insecta - clitellata
2	34.4	35.1	35.3	34.9			27	si	Insecta - clitellata
3	34.3	33	34.4	33.9			25	si	Insecta - clitellata
4	31.8	32.7	32.5	32.3			27	si	Insecta - clitellata
5	35	38	40	37.7			25	si	Insecta - malacostraca
6	35	41	42	39.3			27	no	
7	35.2	47	45	42.4		1°	27	no	
8	43.6	41.8	42	42.5	5.8		26	no	
9	46	41	42.4	43.1			28	no	
10	46	47	42.4	45.1			28	si	Insecta - malacostraca
11	46	47.8	46.4	46.7			26	no	
12	50	49	50	49.7			26	no	
13	51	49	48	49.3			28	no	
14	50	51	48	49.7		2°	27	si	Insecta
15	50	45	55	50.0	6.8		30	no	
16	50	52	53	51.7			30	no	

17	50	53	53	52.0		27	no	
18	51	55	50.4	52.1		26	no	
19	52.4	54.6	50.7	52.6		27	no	
20	51	55	60	55.3		30	no	
21	45	50	46	47.0	3°	26	si	Insecta
22	48	41	40	43.0	7.3	28	no	
23	47	40	39	42.0		28	no	
24	42	44	38	41.3		28.4	no	
25	40	43	39	40.7		27	no	
26	40	39	42	40.3		29	no	
27	39	41	40.4	40.1		25	no	
28	41	40	39	40.0	4°	28	si	Insecta
29	39	38	38	38.3	8.4	26	no	
30	36	37.4	39	37.5		26.5	no	
31	37	37.2	38	37.4		27.5	no	
32	36	36	36	36.0		30	no	
33	36	37	35	36.0		28	no	
34	31	33	34	32.7		26	no	
35	28	29.6	27.5	28.4	8.5	28	no	

Cuadro 26. Evaluación In Situ del proceso de compostaje del tratamiento 2.

Monitoreo de variables del proceso de compostaje de la cama 1.									
N° días	T° en el proceso de compostaje			\bar{X}	pH	Volteos	T° Ambiente	Presencia de macroorganismos	Clase
1	31	35	35	33.7	8.2		27	si	Insecta - clitellata

2	38	36.5	32	35.5		27	si	Insecta
3	39.8	36	33.4	36.4		25	si	Insecta
4	46	45	44	45.0		27	no	
5	40	50	47	45.7		25	no	
6	49	51	32	44.0		27	no	
7	44	41	50	45.0	1°	27	si	Insecta
8	50	47	48	48.3	5.5	26	no	
9	48	49	51	49.3		28	no	
10	48	47	52	49.0		28	no	
11	51	50	49	50.0		26	no	
12	49	50	51	50.0		26	no	
13	52	55	50	52.3		28	no	
14	51	52	53	52.0	2°	27	si	Insecta
15	60	62.8	61.4	61.4	6.5	30	no	
16	65	64	64	64.3		30	no	
17	68	65	66.4	66.5		27	no	
18	70	69.3	68.4	69.2		26	no	
19	56	57	50	54.3		27	no	
20	55	51	53	53.0		30	no	
21	48	49	50	49	3°	26	si	Insecta
22	39	38	38	38.3	8.3	28	si	Myriapoda
23	30	30.4	33	31.1		28	no	
24	30	31	30	30.3		28.4	no	
25	28	29	28	28.3	8.4	27	no	

Cuadro 27. Evaluación In Situ del proceso de compostaje del tratamiento 1.

Monitoreo de variables del proceso de compostaje de la cama 2.										
N° días	T° en el proceso de compostaje				\bar{X}	Ph	Volteos	T° Ambiente	Presencia de macroorganismos	Clase
1	32.6	34.6	30.8	32.7		8		26.5	si	Insecta - clitellata
2	33	32	32.6	32.5				26	si	Insecta - clitellata
3	35.4	34.5	35.3	35.1				27	si	Insecta - clitellata
4	34.9	35.6	35	35.2				27.5	si	Insecta
5	35.3	32.5	31.9	33.2				28	si	Insecta
6	34	35.8	33.4	34.4				27	si	Insecta
7	35.6	33	35	34.5			1°	28	si	Insecta
8	34.4	35	36	35.1		5.7		28.5	si	Insecta
9	37.5	39	32.4	36.3				28	si	Insecta
10	34.4	32	36	34.1				27	si	Insecta
11	35.4	34	33.5	34.3				29	si	Insecta
12	34.7	37	35	35.6				29	no	
13	34.5	39	35	36.2				27	no	
14	38	33	39	36.7			2°	27	si	Insecta
15	38.8	35.9	36.8	37.2		6.1		29	no	
16	35	38	31	34.7				28	no	
17	39	45	40	41.3				28	no	
18	44	45	46	45.0				29	no	
19	38	41	40	39.7				30	no	
20	39	48	47	44.7				30	no	

21	48	47	47	47.3		3°	29	si	Insecta
22	40	42	41	41.0	7.4		28	no	
23	39	39	40	39.3			30	no	
24	38	39	44	40.3			27	no	
25	46	40	39	41.7			29	no	
26	40	42	40	40.7			27	no	
27	41	41	39	40.3			28	no	
28	40	40	40	40.0		4°	26	si	Insecta
29	39	38	37	38.0	7.5		24.5	no	
30	37	38	37	37.3			25	no	
31	36	38	36	36.7			27	no	
32	37	35	39	37.0			28	no	
33	38	38	38	38.0			29	no	
34	37	36	36	36.3			27	no	
35	37	35	36	36.0		5°	28	si	Insecta
36	32	33	31	32.0	7.6		26	no	
37	32	31	33	32.0			26	no	
38	30	30	31	30.3			26	no	
39	30	31	30	30.3			27	si	Insecta - myriapoda
40	31	30	31	30.7			28	si	Insecta - myriapoda
41	29	28	29	28.7			29	no	
42	28	28	29	28.3			29	no	
43	28	28	28	28.0	8.6		28	no	

Cuadro 28. Evaluación In Situ del proceso de compostaje del tratamiento 0.

Monitoreo de variables del proceso de compostaje de la cama 3.									
N° días	T° en el proceso de compostaje			\bar{X}	pH	Volteos	T° Ambiente	Presencia de macroorganismos	Clase
1	34.9	28	35.4	32.8	8.1		25	si	Insecta - clitellata
2	34.4	35.2	35.3	35.0			25	si	Insecta - clitellata
3	34.4	34.3	34.2	34.3			27	si	Insecta - clitellata
4	31.7	32.9	33.5	32.7			27	si	Insecta - clitellata
5	32.3	34.4	34.1	33.6			28	si	Insecta - malacostraca
6	34.1	34.2	35.3	34.5			26	si	Insecta - malacostraca
7	34.4	33.2	34.8	34.1		1°	27	si	Insecta - malacostraca
8	32.3	35.7	33.2	33.7	5.9		27	si	Insecta - malacostraca
9	37.7	34.3	36.4	36.1			26	si	Insecta - malacostraca
10	35.9	32	34.6	34.2			26	si	Insecta - malacostraca
11	35.4	33	34.3	34.2			28	si	Insecta - malacostraca
12	34.3	35.7	36.4	35.5			28	si	Insecta
13	33.9	35.4	34.8	34.7			27	si	Insecta
14	30.3	33.7	33.4	32.5		2°	29	si	Insecta

15	31.8	37	34.4	34.4	6.2		28	si	Insecta
16	35	36	34	35.0			27	si	Insecta
17	34	33	35	34.0			29	no	
18	35	36	35	35.3			30	no	
19	34	33	37	34.7			28	no	
20	38	38	38	38.0			29	no	
21	39	38	39	38.7		3°	27	si	Insecta
22	39	40	30	36.3	7		30	no	
23	38	39	40	39.0			28	no	
24	38	39	39	38.7			29	no	
25	38	39	38	38.3			27	no	
26	38	37	37	37.3			28	no	
27	37	38	39	38.0			29	no	
28	38	39	40	39.0		4°	27	si	Insecta
29	39	39	38	38.7	7.4		25	no	
30	37	37	36	36.7			26	no	
31	37	38	37	37.3			28	no	
32	38	37	36	37.0			29	no	
33	38	37	36	37.0			27	no	
34	36	36	37	36.3			28	no	
35	35	36	36	35.7		5°	27	si	Insecta
36	37	36	35	36.0	8.2		26	no	
37	36	35	35	35.3			28	no	
38	36	35	34	35.0			26	no	
39	35	34	34	34.3			27	no	
40	34	33	33	33.3			28	no	
41	33	32	31	32.0			29	no	

42	31	32	32	31.7		6°	29	si	Insecta - myriapoda
43	30	31	29	30.0	8.4		28	si	Insecta - myriapoda
44	31	31	32	31.3			29	si	Insecta - myriapoda
45	30	28	31	29.7			28	no	
46	28	27	27	27.3	8.7		27	no	

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 2. Inoculación con microorganismos.



Figura 3. Lectura de temperaturas diarias.



Figura 4. Volteo de camas.



Figura 5. Producto final.



Figura 6. *Callitroga* sp.



Figura 7. *Gryllotalpa gryllotalpa*.



Figura 8. *Lithobius sp.*



Figura 9. Realizando la cuantificación de microorganismos.

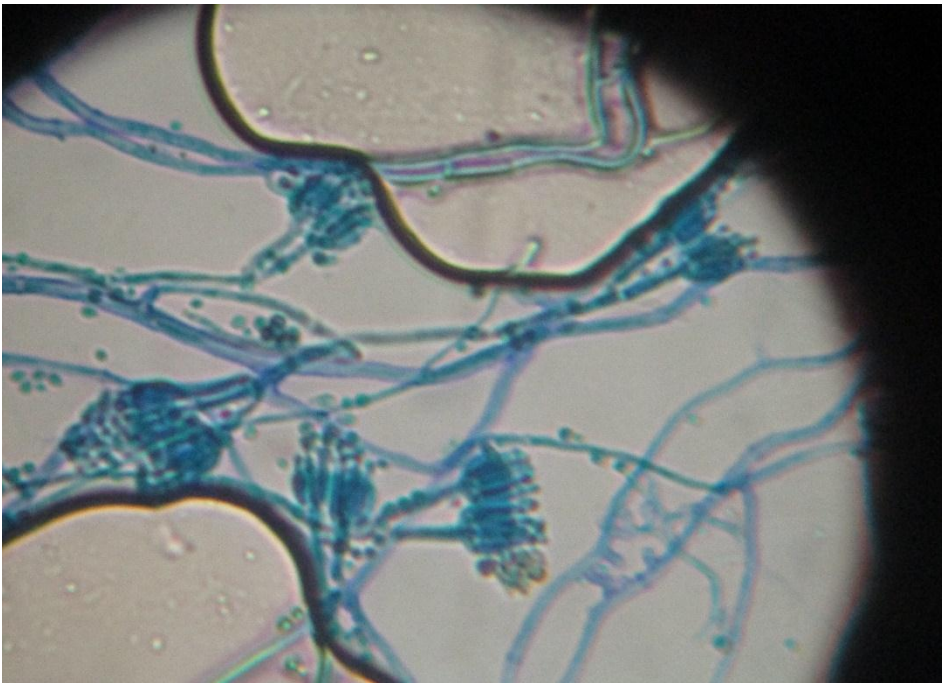


Figura 10. *Penicillium* sp.

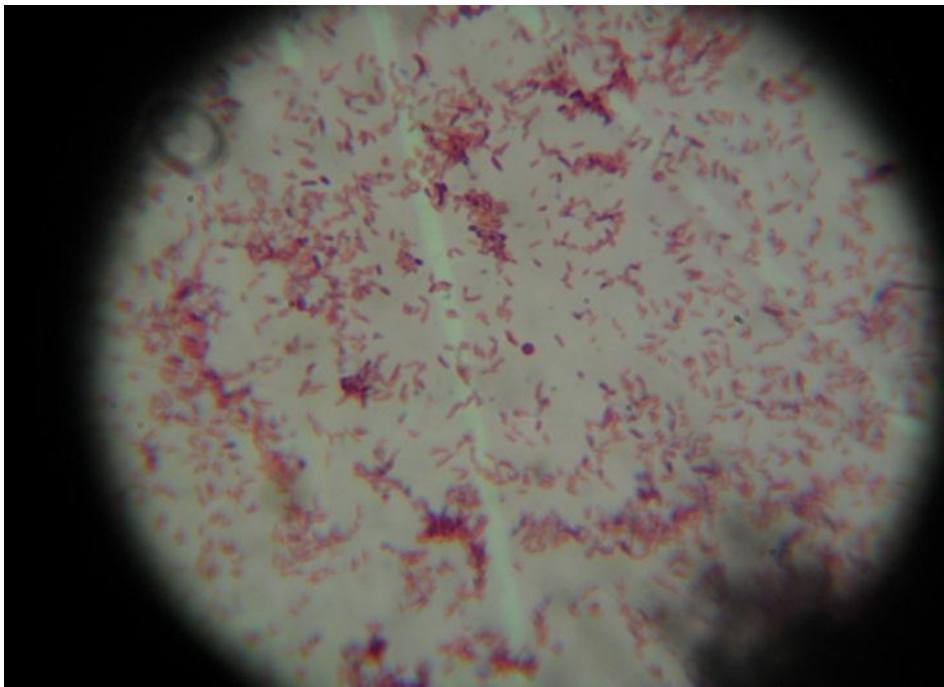


Figura 11. *Basillus Sp.*

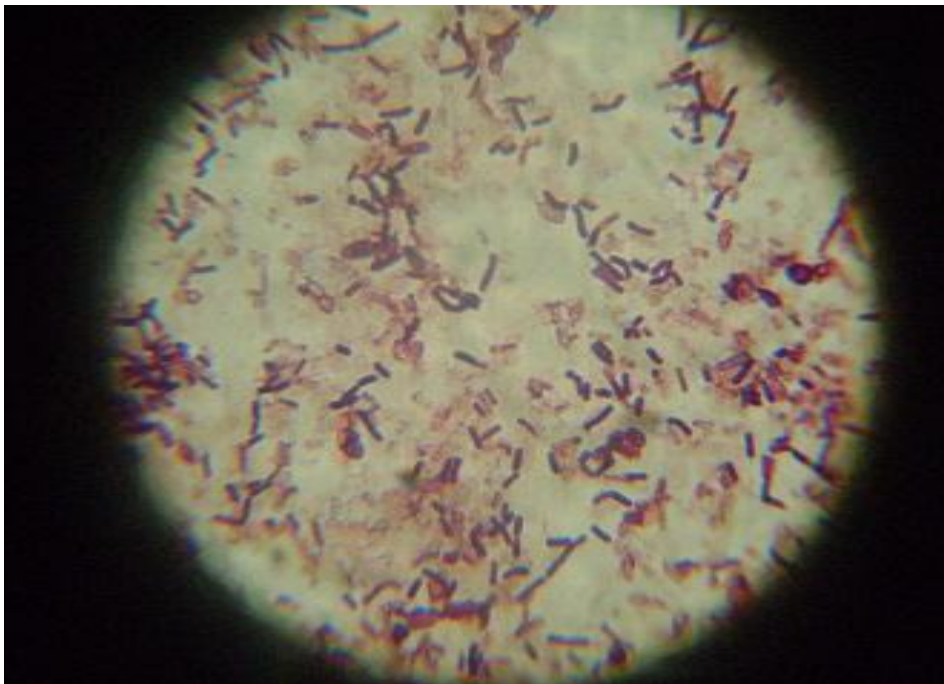


Figura 12. *Pseudomona Sp.*

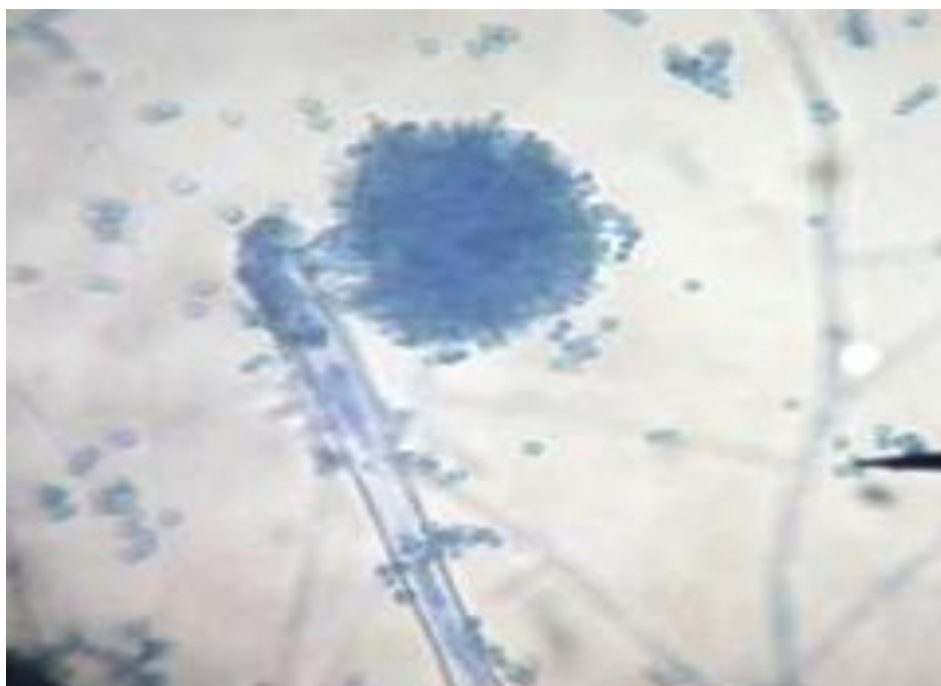


Figura 13. *Aspergillus sp.*

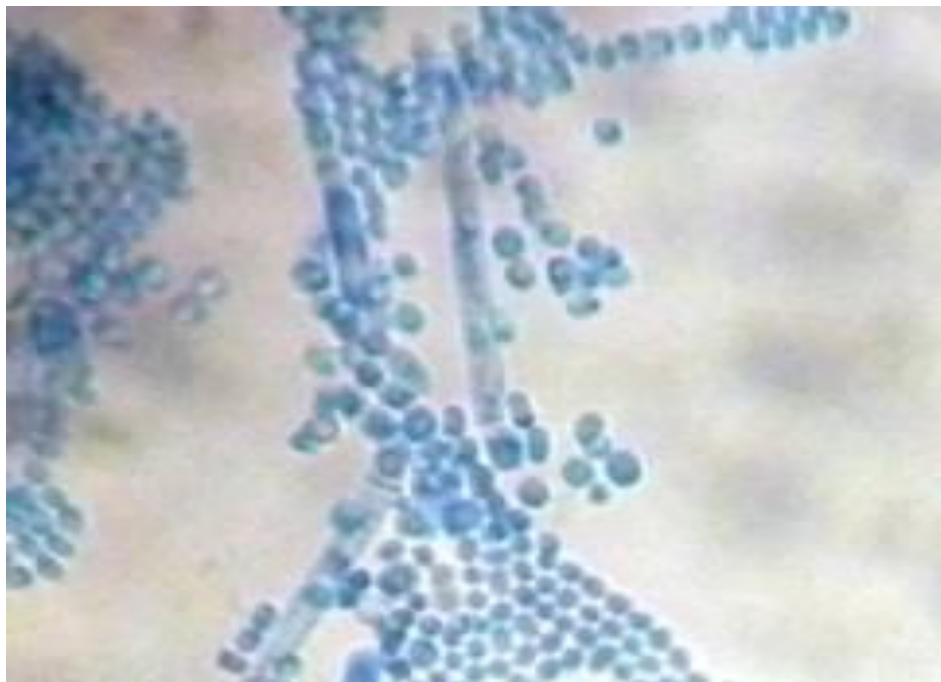


Figura 14. *Geotrichum sp.*

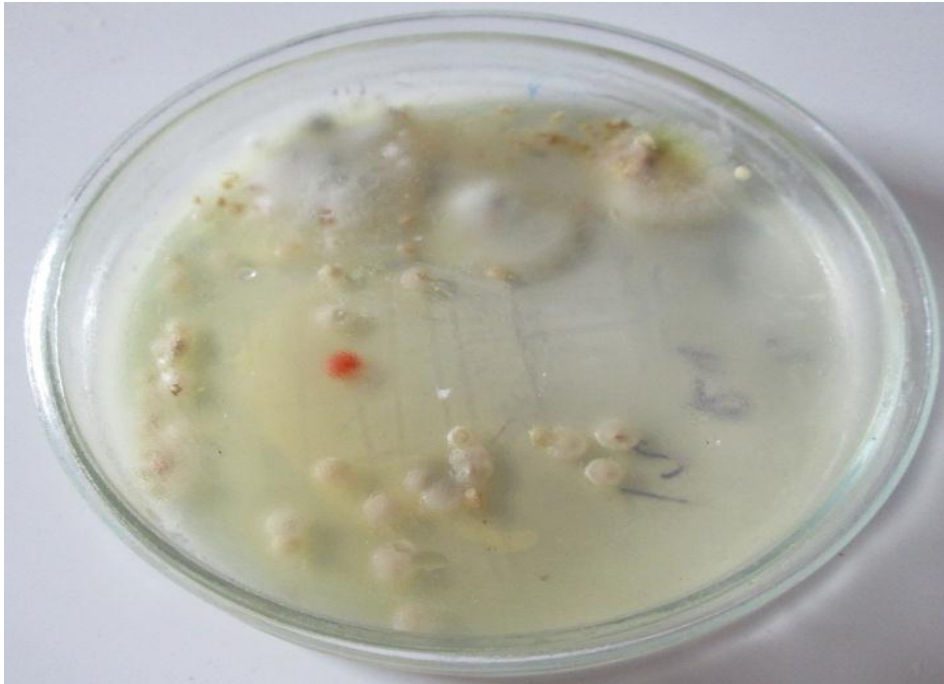


Figura 15. *Nocardia sp.* en placa Petri.



Figura 16. *Aspergillus sp.* en placa Petri.

Anexo 3. Diseño de la compostera

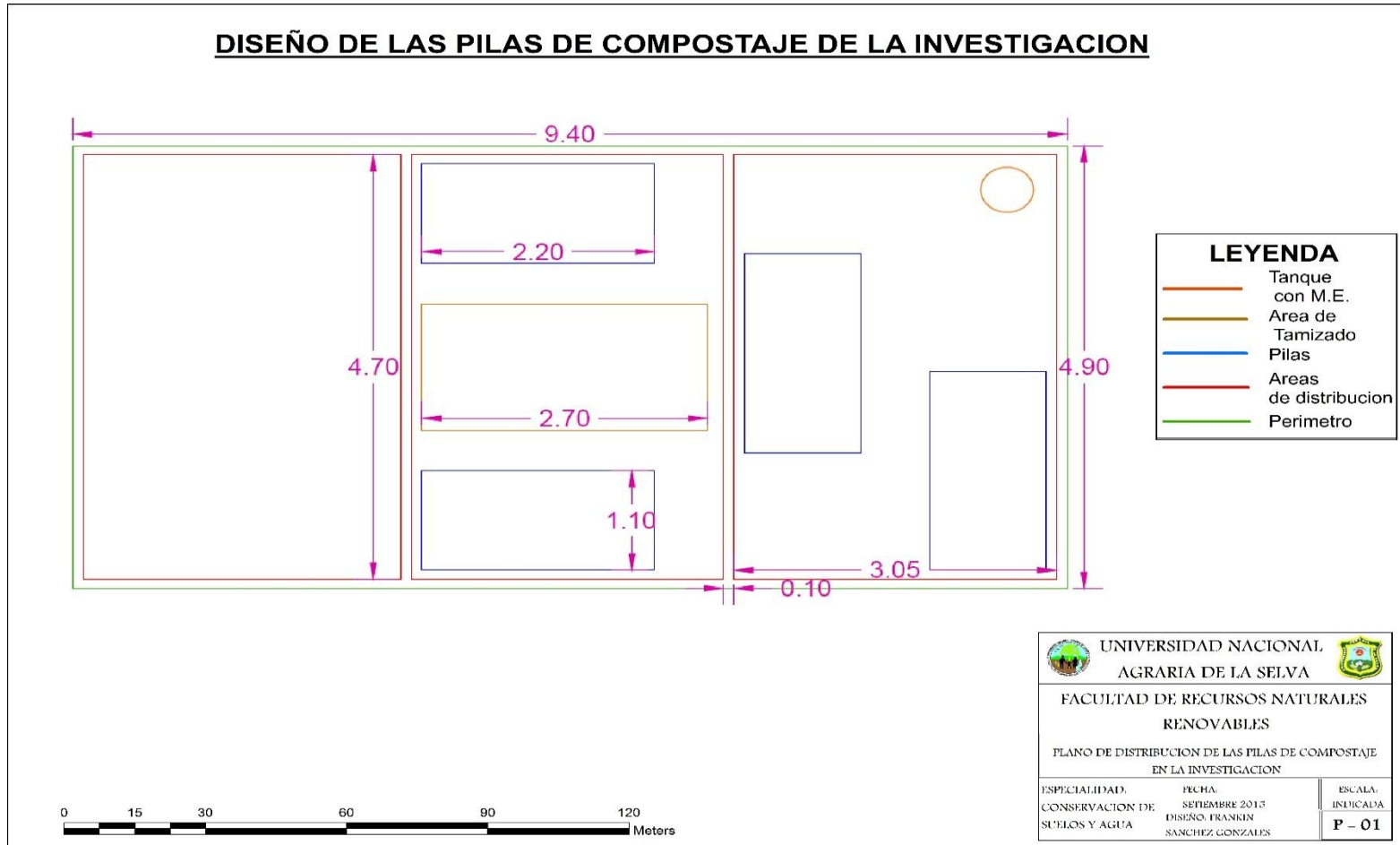


Figura 17. Plano de distribución de las pilas en la investigación.

Anexo 4. Planos de ubicación



Figura 18. Plano detallado de la investigación.



Figura 19. Plano de ubicación departamental de la investigación.

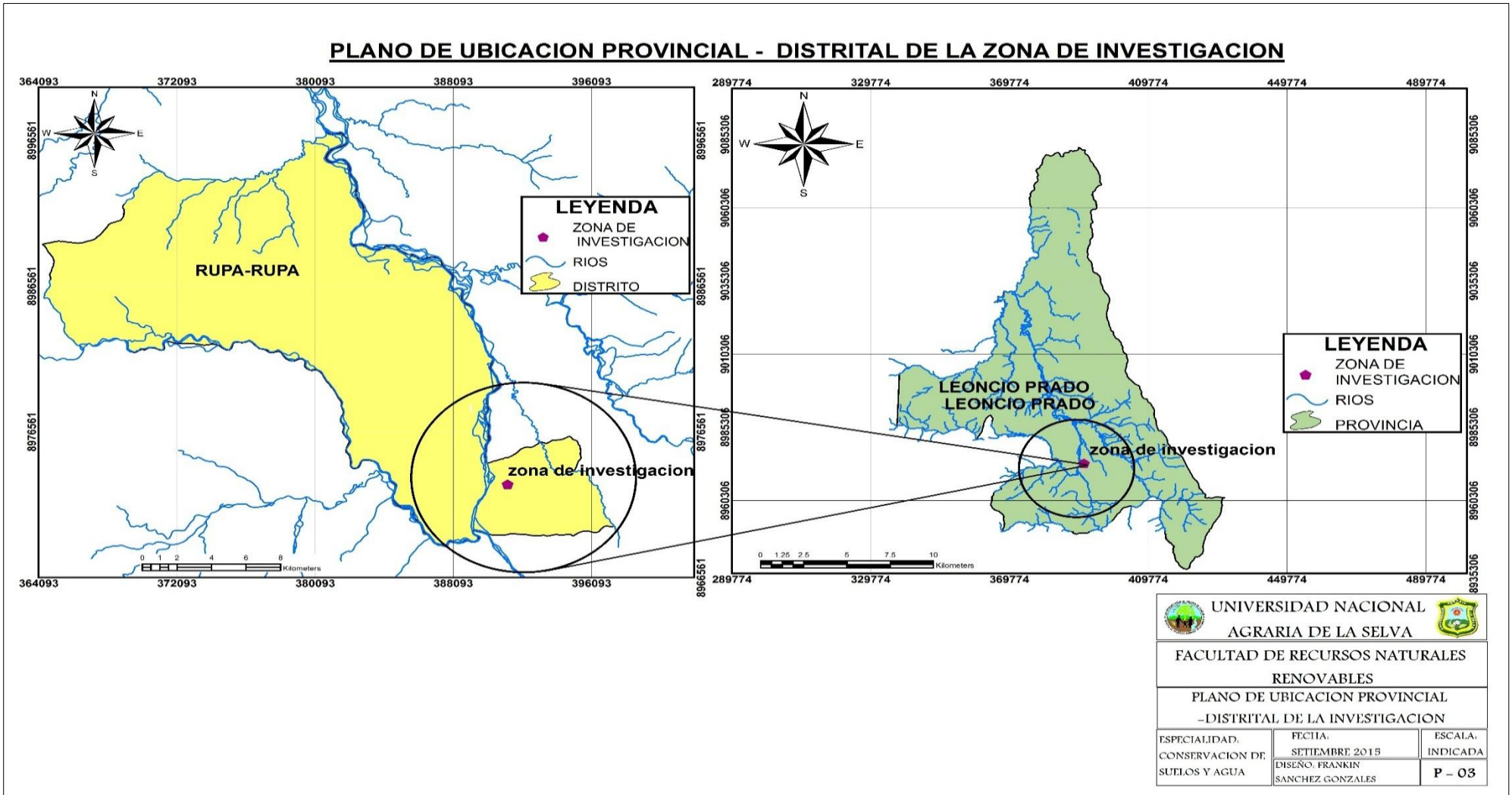


Figura 20. Plano de ubicación provincial - distrital de la investigación.