



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**CO-COMPOSTAJE DE RESIDUOS VEGETALES PROVENIENTES
DE LA FINCA AGROPECUARIA LA INMACULADA CON
ESTIÉRCOL DE CUY, VACA Y GALLINAZA.**

Tipo: Proyecto de investigación

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: CRISTIAN ERNESTO BASANTES CASCANTE

TUTORA: DRA. IRENE GAVILANES TERÁN, PhD.

Riobamba – Ecuador

2018

© 2018, Cristian Ernesto Basantes Cascante

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Investigación: **“CO-COMPOSTAJE DE RESIDUOS VEGETALES PROVENIENTES DE LA FINCA AGROPECUARIA LA INMACULADA CON ESTIÉRCOL DE CUY, VACA Y GALLINAZA.”**, de responsabilidad del señor Cristian Ernesto Basantes Cascante, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dra. Irene Gavilanes Terán, PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO

DE TITULACION

Dr. Julio Idrovo Novillo.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Cristian Ernesto Basantes Cascante soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

Cristian Ernesto Basantes Cascante

C.I. 060381316-3

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Cristian Ernesto Basantes Cascante declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 08 de junio del 2018

.....
Cristian Ernesto Basantes Cascante
C.I. 0603813163

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado en primera instancia a Dios, por haber iluminado y guiado mi camino en el transcurso de la carrera y de mi vida.

Mis padres Ernesto y Marthita quienes junto a mi hermana Mónica jamás me abandonaron en los momentos más difíciles de mi vida estudiantil, aportándome siempre conocimientos, enseñadas y el apoyo incondicional el cual me ayudo a salir de los momentos difíciles con aquella confianza depositada en mí.

Cristian Basantes Cascante

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido conseguir un logro más en mi vida, siempre guiándome en el camino correcto hacia el éxito.

A mis padres quienes me permitieron con su esfuerzo tener la dicha de estudiar, brindándome siempre su apoyo, cariño, compañía; gracias a ellos he podido convertirme en un profesional.

A mi hermana que siempre estuvo pendiente de mí apoyándome, brindándome su tiempo para aconsejarme y guiarme con su experiencia.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, principalmente a Escuela de Ciencias Químicas, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental por las enseñanzas recibidas, las cuales me han convertido en un profesional para así poder brindar mis conocimientos a la sociedad.

A mi abuelita Rosita y mis tíos por su preocupación, por sus consejos, por su apoyo especialmente en el trabajo de investigación.

A Marcela quien fue la persona que me acompañó en el transcurso de la carrera, siendo un pilar fundamental de apoyo.

Agradezco a la Dra. Irene Gavilanes y al Dr. Julio Idrovo quienes con sus conocimientos y experiencias supieron guiarme correcta y eficazmente con la realización del presente trabajo de titulación.

Agradezco a mis amigos, compañeros quienes a lo largo de la carrera aportaron con sus conocimientos, apoyo; para cumplir el sueño de ser profesional.

Cristian Basantes Cascante

TABLA DE CONTENIDOS

	Pp.
RESUMEN	xx
SUMMARY	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	7
1.1. Agroindustria	7
1.2. Residuos	7
<i>1.2.1. Residuos de origen vegetal</i>	<i>8</i>
<i>1.2.1.1. Problemas generados por los residuos de origen vegetal</i>	<i>8</i>
<i>1.2.2. Residuos de origen animal</i>	<i>9</i>
<i>1.2.2.1. Problemas generados por los residuos de origen animal</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3. Tratamientos para la gestión de los residuos</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3.1. Incorporación de aditivos</i>	<i>11</i>
<i>1.2.3.2. Separación sólido-líquido</i>	<i>11</i>
<i>1.2.3.3. Compostaje</i>	<i>12</i>
<i>1.2.3.4. Digestión anaerobia</i>	<i>12</i>
<i>1.2.3.5. Nitrificación – Desnitrificación</i>	<i>12</i>
<i>1.2.3.6. Lombricultivo</i>	<i>13</i>
<i>1.2.3.7. Aprovechamiento térmico</i>	<i>13</i>
1.3. Compostaje	14
<i>1.3.1. Sistemas de compostaje</i>	<i>15</i>

<i>1.3.1.1. Sistemas Abiertos</i>	16
<i>1.3.1.2. Sistemas cerrados</i>	18
<i>1.3.2. Bioquímica del Compostaje:</i>	19
<i>1.3.3. Etapas del proceso de compostaje</i>	20
<i>1.3.4. Microorganismos presentes en el proceso de compostaje</i>	22
<i>1.3.5. Parámetros de control en el proceso de compostaje</i>	23
<i>1.3.5.1. Temperatura</i>	23
<i>1.3.5.2. Humedad</i>	23
<i>1.3.5.3. Potencial Hidrógeno</i>	24
<i>1.3.5.4. Aireación</i>	24
<i>1.3.5.5. Sustrato</i>	25
<i>1.3.5.6. Nutrientes</i>	26
<i>1.3.6. Calidad de compostaje</i>	26
<i>1.3.7. Propiedades de compost</i>	28
<i>1.3.7.1. Propiedades Físicas</i>	28
<i>1.3.7.2. Propiedades Químicas</i>	29
<i>1.3.7.3. Pruebas biológicas</i>	32
<i>1.3.7.4. Propiedades microbiológicas</i>	33
1.4. Marco legal para el manejo de los residuos sólidos y compost	34
<i>1.4.1. Marco Legal para el uso del compost en la actividad agrícola</i>	34
 CAPÍTULO II	
2. MARCO METODOLOGICO	37

2.1. Zona de estudio.....	37
2.2. Diseño Experimental.....	37
<i>2.2.1. Tipo de la investigación.....</i>	<i>37</i>
<i>2.2.2. Unidad de análisis</i>	<i>37</i>
<i>2.2.3. Población de estudio.....</i>	<i>38</i>
<i>2.2.3.1. Tamaño de la muestra</i>	<i>38</i>
<i>2.2.3.2. Selección de la muestra</i>	<i>38</i>
<i>2.2.4. Técnicas de Recolección de Datos.....</i>	<i>38</i>
<i>2.2.5. Hipótesis e identificación de variables</i>	<i>39</i>
<i>2.2.5.1. Variables.....</i>	<i>39</i>
<i>2.2.5.2. Hipótesis</i>	<i>39</i>
<i>2.2.6. Diseño experimental.....</i>	<i>39</i>
<i>2.2.6.1. Tipo de diseño</i>	<i>39</i>
<i>2.2.7. Materiales, equipos utilizados en la elaboración y monitoreo de las pilas.....</i>	<i>40</i>
2.3. Técnicas.....	41
<i>2.3.1. Levantamiento de información</i>	<i>41</i>
<i>2.3.2. Toma de muestra para análisis inicial</i>	<i>42</i>
<i>2.3.3. Elaboración de las pilas de co-compostaje.....</i>	<i>44</i>
<i>2.3.3.1. Riego de la pila</i>	<i>47</i>
<i>2.3.3.2. Control de temperatura, temperatura ambiental, humedad, humedad relativa y pH.....</i>	<i>47</i>
<i>2.3.3.4. Volteo de las pilas</i>	<i>48</i>
<i>2.3.3.5. Inicio de etapa de maduración.....</i>	<i>50</i>
<i>2.3.3.6. Obtención de compost</i>	<i>51</i>

2.3.4. Análisis de las características físico-químicas, químicas, biológicas del proceso de compostaje	51
2.3.4.1. <i>Determinación de la humedad</i>	52
2.3.4.2. <i>Molida de la muestra</i>	54
2.3.4.3. <i>Preparación de la muestra para análisis</i>	55
2.3.4.4. <i>Determinación del pH</i>	56
2.3.4.5. <i>Determinación de la conductividad eléctrica (CE)</i>	58
2.3.4.6. <i>Determinación del porcentaje de materia orgánica</i>	59
2.3.4.7. <i>Determinación del índice de germinación</i>	61
2.3.4.8. <i>Determinación de polifenoles solubles</i>	63
2.3.4.9. <i>Determinación de micro y macronutrientes y metales pesados</i>	65
2.3.4.10 <i>Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico</i>	67
2.3.4.11. <i>Determinación de Iones</i>	70
2.3.4.12. <i>Determinación de Cloruros</i>	71
2.3.4.13. <i>Determinación de Sulfatos</i>	74
2.3.4.14. <i>Determinación de Nitratos</i>	76
2.3.4.15. <i>Determinación de la densidad aparente</i>	78
2.3.4.16. <i>Determinación de la densidad aparente compactada</i>	81
2.3.4.17. <i>Determinación del espacio poroso total, capacidad de retención de agua, capacidad de aireación y contracción del volumen</i>	83

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	87
--	-----------

3.1. Localización de la experimentación	87
3.2. Lugar de Muestreo	87
<i>3.2.1. Caracterización de la materia prima a compostar</i>	<i>88</i>
<i>3.2.2. Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje</i>	<i>90</i>
<i>3.2.3. Caracterización de las muestras recolectadas durante el proceso de co- compostaje.....</i>	<i>92</i>
<i>3.2.4. Pérdidas de materia orgánica durante el proceso de compostaje</i>	<i>95</i>
<i>3.2.5. Caracterización de elementos en el compost maduro</i>	<i>96</i>
<i>3.2.6. Parámetros físicos e hidricos del compost</i>	<i>98</i>
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES.....	101
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pp.
Figura 1-1. Pilas estáticas mediante aireación pasiva.....	167
Figura 2-1. Pilas estáticas mediante aireación activa.....	177
Figura 1-2. Dimensiones de la pila de compostaje.....	455
Figura 2-2. Composición de la pila de compost	466

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Pp.

Gráfico 1-3. Evolución de la temperatura en la pila 1 (gallinaza + residuos vegetales), pila 2 (estiércol de cuy + residuos vegetales) y pila 3 (estiércol de vaca + residuos vegetales).....90

Gráfico 2-3. Perdidas de materia orgánica durante el proceso de compostaje en la pila 1 (gallinaza + residuos vegetales), pila 2 (estiércol de cuy + residuos vegetales) y pila 3 (estiércol de vaca + residuos vegetales).95

ÍNDICE DE TABLAS

	Pp.
Tabla 1-1. Ventajas y desventajas de los sistemas de compostaje	199
Tabla 2-1. Condiciones deseables durante el proceso de compostaje	255
Tabla 3-1. Marco legal para el manejo de residuos sólidos	344
Tabla 4-1. Límites máximos de metales pesados y polifenoles para considerar un buen compost en base a la Norma Chilena.	355
Tabla 5-1. Valoración de la estabilidad-madurez de un compost.	366
Tabla 1-2. Levantamiento de información de producción, residuos generados y tratamiento de los residuos en la finca agropecuaria “LA INMACULADA”	411
Tabla 2-2. Parámetros analizados en los sustratos a compostar "FINCA AGROPECUARIA LA INMACULADA"	433
Tabla 3-2. Ensayos en estudio	444
Tabla 4-2. Análisis del contenido de carbono orgánico total y nitrógeno en las muestras obtenidas a lo largo del proceso	511
Tabla 5-2. Parámetros analizados en laboratorios de la ESPOCH.....	511
Tabla 6-2. Parámetros analizados en laboratorios de la UMH.....	522
Tabla1-3. Caracterizacion fisico quimica y quimica de los residuos.....	88
Tabla 2-3. Caracterización físico química y biológica durante el proceso.....	922
Tabla 3-3. Parámetros para determinar la perdida de materia orgánica	955
Tabla 4-3. Concentración de parámetros físico-químicos, aniones, nutrientes y metales pesados en el compost maduro.	967
Tabla 5-3. Pruebas físicas en el compost maduro	988

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pp.
Fotografía 1-2. Incineración de Residuos.....	422
Fotografía 2-2. Muestra de estiércol de vaca.....	422
Fotografía 3-2. Toma de muestra de residuos vegetales.....	433
Fotografía 4-2. Recolección y Picado de residuos vegetales	455
Fotografía 5-2. Construcción de la pila de compostaje	466
Fotografía 6-2. Riego de agua.....	477
Fotografía 7-2. Monitoreo diario de temperatura, humedad y pH	488
Fotografía 8-2. Volteo de la pila	499
Fotografía 9-2. Toma de muestra durante el volteo.....	50
Fotografía 10-2. Inicio etapa de maduración.....	51
Fotografía 11-2. Pesaje de la muestra húmeda	53
Fotografía 12-2. Ingreso de la muestra a la estufa.....	53
Fotografía 13-2. Molida de muestras	555
Fotografía 14-2. Secado a 105 °C.....	566
Fotografía 15-2. Almacenado en recipientes estériles	566
Fotografía 16-2. Determinación del pH	577
Fotografía 17-2. Determinación de la conductividad eléctrica	588
Fotografía 18-2. Pesaje de crisol vacío y muestra	59
Fotografía 19-2. Ingreso de muestras a la mufla	60
Fotografía 20-2. Desecador.....	60
Fotografía 21-2. Pasaje de muestra calcinada	60

Fotografía 22-2. Conteo y medición de semillas germinadas.....	62
Fotografía 23-2. Determinación de Polifenoles Solubles	64
Fotografía 24-2. Medición de la absorvancia en espectrofótopmetro.....	655
Fotografía 25-2. Digestión de las muestras	666
Fotografía 26-2. Análisis de Sodio y Potasio en fotómetro de llama.....	67
Fotografía 27-2. Análisis de fosforo total por espectrometría.	67
Fotografía 28-2. Lavado del precipitado con HCL 1:1.....	69
Fotografía 29-2. Pesaje de muestra para determinción de iónes.....	71
Fotografía 30-2. Titulación con nitrato de plata.....	72
Fotografía 31-2. Medición de la absorvancia en el fotometro	75
Fotografía 32-2. Medición de la concentración de nitratos en el fotómetro	77
Fotografía 33-2. Humectación de la muestra	79
Fotografía 34-2. Baño de arena.....	80
Fotografía 35-2. Determinación de pesos.....	80
Fotografía 36-2. Determinación de la densidad compactada.....	82

ABREVIATURAS

C	Contracción DE Volumen
Cd	Cadmio
CE	Conductividad eléctrica
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
CP1	Compostaje pila 1
CP2	Compostaje pila 2
CP3	Compostaje pila 3
Cr	Cromo
CRA	Capacidad de retención de agua
Cu	Cobre
DA	Densidad aparente
DAC	Densidad aparente compactada
DR	Densidad relativa
dS/cm	decisiemens por centímetro
EPA	United States Environmental Protection Agency
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
ETP	Espacio poroso total
Fe	Hierro
H	Humedad
IG	Índice de Germinación
K	Potasio

kg/día	Kilogramo por día
kg/Hab*día	Kilogramo por habitante día
m ²	metro cuadrado
meq/100	miliequivalente sobre 100 g
Mn	Manganeso
MO	Materia orgánica
Na	Sodio
Ni	Níquel
N _T	Nitrógeno total
P	Fósforo
Pb	Plomo
pH	Potencial hidrógeno
RSU	Residuos sólidos urbanos
Se	Selenio
tn/año	Tonelada por año
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
UMH	Universidad Miguel Hernández
Zn	Zinc

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la finca agropecuaria “LA INMACULADA” ubicada en el cantón Guano provincia Chimborazo; donde se generan residuos sólidos orgánicos de origen vegetal provocando contaminación. El objeto de esta investigación fue reciclar los residuos sólidos orgánicos generados en la finca antes mencionada a través de la técnica del compostaje para elaborar un abono orgánico que puede ser utilizado como enmienda del suelo. Se realizó la caracterización inicial de los materiales a compostar ajustando una adecuada relación C/N (entre 25 -30), humedad y tamaño de partícula para asegurar un adecuado proceso de compostaje. Posteriormente se elaboraron 3 pilas de una tonelada con dimensiones (2 metros de altura, 3 de ancho y 2 de largo) por sistema de volteo (windrow); las cuales fueron P1(residuos vegetales + gallinaza), P2 (residuos vegetales + estiércol de cuy) y P3 (residuos vegetales + estiércol de vaca) en proporciones de 76% y 24% para residuos vegetales y residuos de origen animal respectivamente. Se monitoreó el pH, humedad y temperatura como principales parámetros de control del proceso, registrándose 5 volteos durante el mismo con un total de 21 muestras recolectadas en las cuales se analizó parámetros físico-químicos, químicos y biológicos tales como: pH, CE, %MO, Corg, N_T, relación C/N, polifenoles solubles e IG para determinar la evolución del proceso, mientras que para la caracterización del compost final se determinó la CIC, contenido de macro, micronutrientes y metales pesados. En general los resultados mostraron valores de pH alcalinos, CE dentro del rango, %MO altos, en relación al grado de estabilidad todos los compost mostraron valores de C/N, CEC apropiados para un compost maduro. Mientras que los micro y macronutrientes y metales pesados presentaron contenidos adecuados, siendo todos los compost obtenidos de clase A por lo cual son adecuados para su uso agrícola.

Palabras clave: <CO-COMPOSTAJE>, <RESIDUOS SOLIDOS VEGETALES>, <COMPOST>, <SISTEMA DE VOLTEO>, <GALLINAZA>, <ESTIERCOL DE CUY>, <ESTIERCOL DE VACA >.

SUMMARY

The present research work was carried out in the agricultural farm "LA INMACULADA" located in Guano Canton province of Chimborazo: where organic solid waste of vegetal origin is generated causing pollution. The object of this investigation was to recycle the organic solid waste generated in the aforementioned farm through the composting technique to develop an organic fertilizer that can be used as soil amendment. The initial characterization of the materials to be composted was carried out adjusting an adequate C / N ratio (between 25-30) humidity and particle size to ensure an adequate composting process. Subsequently, 3 one ton batteries with dimensions were elaborated dimensions (2 meters high, 3 wide and 2 long) by windrow system, which were P1 (vegetable waste + chicken), P2 (vegetable waste + guinea pig dung) and P3 (vegetable waste + manure cow) in proportions of 76% and 24% for plant residues and residues of animal origin respectively. The PH, humidity and temperature are monitored as the main control parameters of the process, registering 5 turns during the same with a total of 21 samples collected in which analyzed physical-chemical, chemical and biological parameters such as: pH, EC,% MO, Corg, Nr, C / N ratio, soluble polyphenols and IG to determine the evolution of the process, while for the characterization of the final compos was determined the CIC, content of macro, micronutrients and heavy metals. In general, the results showed alkaline pH values, CE within the range, high MO% in relation to the degree of stability, all the compost showed C / N values, CEC suitable for a mature compost, while the micro and macronutrients and heavy metals they presented adequate contents, all the compost being obtained from class A, which is therefore suitable for agricultural use.

Keywords:<CO COMPOSTING>, <SOLID VEGETABLE RESIDUES>, <COMPOST>, <VOLTEO SYSTEM>, <GALLINAZA>, <STYLE OF CUY>, <STYLE OF COW >.

INTRODUCCIÓN

Identificación del Problema

La inadecuada gestión de los residuos sólidos de naturaleza orgánica en una finca agropecuaria del barrio la Inmaculada, perteneciente al cantón Guano, provincia de Chimborazo produce contaminación visual, formación de malos olores y contaminación por lixiviados. El estiércol de diferentes especies animales como cuyes, pollos y ganado son utilizados en las huertas como abono orgánico sin ningún control lo cual es inapropiado para el recurso suelo por las elevadas cargas bacterianas que contienen, las cuales se van a proliferar ocasionando contaminación a los cultivos y acidificación del suelo. La inadecuada relación C/N también es otro problema ocasionado por el uso directo de estos estiércoles sobre el suelo, pues se generan pérdidas considerables de nitrógeno ocasionando la volatilización del amoníaco y efecto invernadero, además de la inmovilización de nitrógeno inorgánico sobre los suelos con graves problemas edáficos en los ciclos productivos del cultivo.

Antecedentes

La finca agropecuaria LA INMACULADA se encuentra situada en la parroquia Ilapo - Cantón Guano que es uno de los principales Cantones de la provincia de Chimborazo, conocida como la Capital Artesanal del Ecuador que se dedica a la producción agrícola a gran escala.

La sociedad realiza diferentes actividades productivas de las cuales generan inevitablemente una serie de desechos sólidos, líquidos o gaseosos que pueden causar efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana (Castells, 2012). De entre ellos, los residuos vegetales producidos por la actividad agrícola en la finca La Inmaculada requieren importancia ya que pueden tener efectos tóxicos significativos y frecuentemente se utilizan como abono o se depositan en lugares donde la población humana puede estar expuesta sin ningún tratamiento previo.

El inadecuado manejo de residuos vegetales contribuye a la contaminación de suelos, aguas y aire, al deterioro del paisaje natural, afectando a la salud pública por la proliferación de vectores transmisores de enfermedades (Iza, 2011, p.6).

Las actividades agroindustriales han aumentado la generación de residuos vegetales, sin desarrollar estrategias para la atención de los problemas ambientales con la optimización del uso

de recursos naturales y tecnología, y la puesta en marcha de programas de modernización y reconversión industrial orientados a aumentar la eficiencia ambiental (Gómez, 2000, p.45).

Lamentablemente la finca agropecuaria La Inmaculada carece de un sistema de gestión de residuos sólidos que permita una disposición final adecuada y el tratamiento y valorización correctos de dichos residuos que garanticen la protección del ambiente, provocando una contaminación visual y paisajística.

El vertido en espacios baldíos y la incineración, en lugar del reciclaje, siguen siendo las prácticas predominantes en la disposición de residuos vegetales dentro de la finca (Usca y Susana, 2011, p.19).

En relación al tema propuesto, se han planteado varias investigaciones que han arrojado resultados satisfactorios vinculados con el proceso del co-compostaje de residuos agroindustriales con diferentes residuos de origen animal y la evaluación de la calidad del compost obtenido. Algunos de los cuales se describen brevemente a continuación.

En la Universidad de Murcia German Tortosa Muñoz se realizó un estudio con la finalidad de obtener abonos orgánicos tanto sólidos y líquidos por medio del proceso de co-compostaje, utilizando orujo de oliva con estiércol avícola y de origen ovino, se añadió un aditivo mineral ácido rico en hierro y otro en fósforo para rebajar la alcalinidad de los sustratos; se utilizó un sistema de compostaje abierto de volteos mecánicos periódicos elaborando 6 mezclas y se obtuvo como resultado que todos los compost obtenidos cumplieron con los requisitos es decir tuvieron una alta cantidad de microorganismos, nitrógeno y hierro (Tortosa Muñoz, G. 2011)

En el estudio realizado por López, R y otros., (2013) en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla se utilizaron productos de cultivo de vivero y forestales para los procesos de co-compostaje, para ello se prepararon tres tipos de compost mixtos usando biosólidos, fracción orgánica de RSU y restos municipales de poda de jardines y parques; los resultados obtenidos indicaron que el compost obtenido tuvo un enorme potencial de uso ya que las plantas mostraron mejor nutrición sin necesidad de fertilización suplementaria y en los árboles aumento el desarrollo tanto en diámetro como en altura (López y otros., 2003)

Un estudio realizado por Valentina Zurcan en la Universidad de Montevideo utilizó residuos agroalimentarios para el proceso de co-compostaje en el cual se obtuvo como resultado que las características físico-químicas, su alto grado de madurez, estabilidad e higienización del compost lo hacen óptimo para su aplicación como enmienda orgánica del suelo además de que el co-compostaje es una alternativa efectiva para el tratamiento de residuos agroalimentarios ya que disminuye el volumen de estos generando un producto útil (Musetti, 2005, p.4).

En la Universidad de Alicante Valdecantos, A y col., (2002), se realizó un estudio para aprovechar los purines de cerdo y realizar un co-compostaje utilizando corteza de árboles para obtener una relación C/N inicial de la mezcla adecuada y tuvieron como resultado un producto con alto valor fertilizante susceptible a ser utilizado de manera satisfactoria en el cultivo de plantas (Valdecantos y otros., 2002, p.10).

Un estudio realizado en la Universidad de Alicante por D. Fuentes y otros colaboradores utilizaron los purines de cerdo, mezclados con paja de cereal, restos de poda de viñas, restos de roza, poda de pinares y bosques mixtos y tuvieron como resultados composts con propiedades físico-químicas y biológicas positivas, tales como: alto contenido de nutrientes e hidrofilia o grado de estabilidad las cuales son relevantes para la utilización del compost como sustrato de cultivos en medios secos (Fuentes y otros., 2002, p.6).

El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Portoviejo (Ecuador), realizó un estudio de las áreas cafetaleras que se caracterizan por presentar en sus suelos una pobre disponibilidad de nutrientes, en las fincas cafetaleras se encuentra grandes cantidades de residuos vegetales y animales que son fuente de materia orgánica y que pueden ser utilizados. El Proyecto Integral Cafetalero Nacional, con auspicio de la GTZ realizó investigaciones para adaptar el método de compostaje tipo Bocashi Modificado, aprovechando los desechos del beneficiado de café. Cumplido el proceso que dura alrededor de 10 a 14 semanas se obtuvo el humus, material que puede ser comercializado, constituyéndose en una actividad altamente rentable (Alarcón y Castillo, 2002, p.3).

En la Universidad Central del Ecuador, se realizó un estudio para aprovechar los residuos de origen agrícola y estiércol de cuy en mezclas de 50% respectivamente con la finalidad de elaborar compost para su aplicación en la Comuna Lumbisí, Parroquia de Cumbayá, Cantón Quito. Finalizado el proceso de compostaje se caracterizó física y químicamente el producto obtenido, dando como resultados niveles adecuados de N_T , P, K y Ca los mismos que se encontraron dentro rango establecido por la norma de fertilizantes agrícolas. (Quishpe ,2017).

En el estudio realizado por Brito, H y col., (2016) se realizó un proceso de compostaje para tratar los residuos sólidos orgánicos que se generan en el Mercado Mayorista perteneciente al cantón Riobamba, elaborando una pila de 1 tonelada compuesta en mayor proporción por residuos sólidos orgánicos del mercado Mayorista, mezclados con residuos de poda de árboles y poda de palma ornamental, ajustando una apropiada relación C/N. Finalizado el proceso se evaluó la calidad del compost a través de análisis físico-químicos, químicos y biológicos los cuales dieron como resultado adecuadas concentraciones de nutrientes para su uso como abono orgánico. (Brito y otros., 2016, pp. 77-78).

En el estudio realizado por Gavilanes, I, (2015) se caracterizó los residuos orgánicos generados por la actividad agroindustrial en la provincia de Chimborazo (Ecuador), en los cuales se analizaron parámetros físico-químicos, químicos y biológicos. En los cuales se obtuvo resultados que mostraron en general niveles de pH ácidos, valores bajos de CE, altos contenidos de materia orgánica. Los contenidos de micro y macronutrientes y metales pesados fueron más altos para los desechos de origen animal en comparación a los de origen vegetal, sin embargo; todos los residuos se encuentran dentro de los límites permisibles para su uso como enmiendas del suelo. La relación C/N, IG y Chidro mostraron valores que indicaron una baja estabilidad de la materia orgánica, por lo tanto, este hecho hace necesario la implementación de tratamientos como el compostaje que ayuden a mejorar el grado de madurez y estabilidad antes de su utilización como enmiendas del suelo. (Gavilanes, 2015, p. 51).

Justificación

Al no existir un aprovechamiento o reutilización de los residuos orgánicos y al no realizar una adecuada disposición final de los estiércoles de cuyes, pollos y ganado de la finca agrícola, estos se convierten en contaminantes para los suelos, fuentes de agua y el aire.

Los residuos generados en la Finca agropecuaria “La Inmaculada” generalmente son incinerados produciendo una grave contaminación ambiental por lo cual se pretende emplear un tratamiento biotecnológico para generar un sustrato óptimo para el uso agrícola.

El compostaje es una técnica amigable con el ambiente de bajo costo y fácil utilización, y se constituye en una alternativa segura, sostenible y rentable que permite reciclar los nutrientes presentes en los residuos orgánicos dándoles un valor agregado al producto final llamado compost. Este producto contiene materia orgánica estabilizada, elevado grado de humificación e higienización además de un elevado poder fertilizantes.

La implementación de esta técnica permitirá disminuir la contaminación producida por malos olores, la generación de lixiviados, la presencia de factores que provocan enfermedades y el deterioro del paisaje ocasionado por la acumulación de basura.

En esta investigación se desea comparar, si el tipo de residuo de origen animal (gallinaza, estiércol de cuy y estiércol de vaca) mezclado con residuos de origen vegetal influye en los parámetros de calidad del compost al utilizar un sistema de pilas windrow.

Esta investigación está enmarcada dentro de las líneas de investigación y del perfil profesional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias químicas, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

General:

Elaborar compost a través del proceso de co-compostaje de residuos vegetales provenientes de la finca agropecuaria “LA INMACULADA” con estiércol de cuy, vaca y gallinaza a través de pilas por volteo.

Específicos:

- Realizar la caracterización físico-química, química y biológica de los residuos orgánicos de origen animal y vegetal procedentes de la finca agropecuaria “LA INMACULADA”.
- Elaboración de las pilas windrow ajustando una correcta relación C/N, tamaño de la partícula y humedad.
- Controlar el proceso de co-compostaje a través de la medición del pH, la temperatura, humedad y parámetros químicos.
- Determinar la calidad del compost obtenido a través de su análisis físico-químico, químico y biológico, para determinar su uso como enmienda para el suelo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Agroindustria

La agroindustria es una actividad que reúne los procesos de producción primaria en áreas como la forestal, pecuaria o agrícola, además del proceso de conversión y de comercialización del producto, incluyendo también aspectos relacionados con la parte administrativa, de financiación y mercadotecnia. Es decir, es una actividad económica que adopta el proceso industrial con el productivo para la generación de bienes de consumo semielaborados para los distintos mercados (Saval, 2012, p.15).

Esta actividad genera una gran variedad de residuos, sus características cualitativas y cuantitativas van a depender de los diferentes tipos de materias primas y de los métodos industriales utilizados, las características de los productos que se obtienen y la intensidad de su elaboración. La mayoría de estos residuos son nuevamente utilizados como abonos para el suelo y para la alimentación de animales, por el contrario, existen otro tipo de residuos con características específicas para los cuales no se tiene opciones viables para su reutilización (Rochels, 2010, p.13).

1.2. Residuos

Residuo o desecho, es todo material o restos de materiales que se han generado en las diferentes actividades de consumo y producción, mismos que no tienen ningún uso. En función de los recursos utilizables, los desechos vienen a ser materiales que se encuentran fuera de lugar y por otro lado desde el punto de vista económico son el resultado del uso ineficaz de la materia prima en la generación de servicios y bienes; residuo también se define como cualquier objeto o sustancia del cual se desase su dueño, específicamente hablando de los residuos agrícolas se los denomina como todo material residual que se ha producido en el área agropecuaria, estos por lo general son reutilizables y se le considera como un recurso, al ser utilizado como materia prima para ciertos procesos, adoptando un valor en el mercado (Valderrama, 2013, pp14-15).

1.2.1. Residuos de origen vegetal

Los residuos de origen vegetal son los materiales inutilizables, sean estos líquidos o sólidos, resultado de las prácticas agrícolas, estas conforman actividades básicamente agrarias (pastos, cultivos de cereales, frutales, entre otros) y ganaderas (cría intensiva y/o extensiva), y en algunos casos actividades de conversión de productos agrarios (producción de aceite de oliva, alimentos en conserva, entre otros) (Moreno y Moral, 2008, p.491).

En el contenido de la producción vegetal, el concepto de residuo agrícola con designación de residuo de cosecha, se lo emplea a una parte o partes de un cultivo, el cual no forma parte de la cosecha como tal, así como también ha aquella porción de la cosecha que no haya cumplido con los requerimientos de calidad mínimos para su comercialización (Martínez, 2006, p.62).

Las características y constitución de los desechos vegetales varían dependiendo del estado de crecimiento de las plantas cultivadas en la época de cosecha, la parte vegetal u órgano de que se trate, y el origen o naturaleza del residuo, por esta razón los residuos poseen un contenido hídrico cambiante, un contenido elevado de materia orgánica, constitución mineral variable, y una alta relación carbono nitrógeno (C/N); aunque con diferencias notables dependiendo de la composición y el origen del residuo (Martínez, 2006, p.62).

La mayor parte de producción de restos agrícolas pertenece al sector de los cereales, seguido por los cultivos de hortalizas. Con lo que respecta al primer caso, los residuos tienen poca humedad (10-15%), un elevado porcentaje de celulosa (30-50%), aproximadamente el 10% de lignina, y presentan una relación muy alta de C/N (80-100). En el segundo caso, al tratarse de restos de cultivos que se recolectan antes de la senescencia vegetal, estos muestran un contenido elevado de humedad y por lo general son fácilmente biodegradables, a pesar de tener un alto contenido de carbono, éstos muestran una relación baja de C/N (15-30), esto se debe a su elevado contenido de nitrógeno; por otro lado el contenido de hemicelulosa fluctúa entre el 5 y 15%, mientras que la celulosa varía entre el 10 y 40%, conformándose con un contenido de lignina más reducido en comparación con el resto de los residuos agrícolas (Moreno y Moral, 2008, p.500).

1.2.1.1. Problemas generados por los residuos de origen vegetal

Las consecuencias que estos residuos ocasionan sobre el ambiente es provocado principalmente por la acumulación de los mismos, en los alrededores de los invernaderos, en las áreas de cultivo o áreas productivas en general, transformándose en fuente de gases y lixiviados, vectores de enfermedades y focos de plagas, así como una fuente de olores desagradables (ocasionados por

procesos fermentativos), debido a su depósito y abandono, por lo que es necesaria una correcta gestión de éstos con el propósito de disminuir el impacto vinculado a su producción (De Jesus, 2010, p.6).

En las zonas agrícolas de producción intensiva, una de las practicas más habituales es amontonar los restos vegetales al aire libre, con el propósito de facilitar su secado y reducción de volumen previo a un proceso de incineración, en contraposición esta técnica de manejo crea graves problemas al ambiente, al acumularse, los restos que se encuentran en la superficie se desecan con gran rapidez, pero, por la alta humedad y temperatura presentes, se producen procesos de pudrición en aquellos residuos que no se encuentran en contacto con el aire, por lo cual se convierten en un foco de plagas e insectos transmisores de enfermedades que logran propagarse por los cultivos aledaños (De Jesus, 2010, p.10).

En algunos casos, los restos se hallan contaminados por residuos de productos plaguicidas y fertilizantes, por lo que su ignición puede disipar a la atmósfera compuestos altamente dañinos, esta práctica también se la utiliza para eliminar otro tipo de desechos como plásticos de invernadero, envases de productos químicos, entre otros, esto aumenta aún más los riesgos al ambiente. Otra manera de aprovechar estos residuos es utilizarlos para la alimentación del ganado, a pesar de tener en cuenta el peligro sanitario que esta acción trae para el ganado y para las personas que consumen del mismo (De Jesus, 2010, p.10).

1.2.2. Residuos de origen animal

Los residuos de origen animal están conformados por excrementos sólidos, semisólidos y líquidos, purines, cadáveres, desechos de faena, restos de leche y suero, entre otros. Es la clase de los semisólidos se ubican los purines y estiércoles; el estiércol es cualquier mezcla de heces, orines en conjunto con material vegetal como el heno, la paja, o cualquier material que sirve como cama para el ganado.

Hay una gran variación en la composición de las deposiciones ganaderas que impide prever los efectos que pueden ocasionar sobre los procesos de tratamiento a los que serán sometidos y en el ambiente. Esta variación es ocasionada por el efecto de parámetros tan variables como es el lugar de origen del animal, raza, especie, alimentación, cría, materiales utilizados, el tipo de aguas de lavado, entre otros. Se puede decir que las deyecciones ganaderas poseen contenidos elevados de elementos minerales y de materia orgánica, así como también porciones poco relevantes de contaminantes como metales pesados, restos de antibióticos y compuestos orgánicos, además presentan una elevada actividad biológica. En las deposiciones frescas en su mayoría el nitrógeno

se halla en forma orgánica, mientras que el elemento fósforo (P), muestra relaciones muy inestables entre sus forma orgánica y mineral (Blanco, 2011, p.7).

El excremento fresco del ganado vacuno o bovino contiene materia seca que fluctúan entre el 16% y el 26%, teniendo como promedio un 20%. El contenido de sólidos gaseosos se encuentra entre el 74% y el 85% en base seca, teniendo como promedio un 79%. Por su parte con lo que respecta a la gallinaza dependiendo de la forma de recolectar y del método de almacenamiento se tiene tres tipos en función de su humedad: húmeda cuando se considerada hasta un 20% de material seco, provenientes de ponedoras en batería y retirada diaria; semiseca cuando se considerada hasta un 45% de material seco, originario de ponedoras en batería en el cual se aplica presecado o de naves donde existe una buena aireación y una adecuada temperatura que promueve la pérdida de humedad antes de su recolecta; y seca cuando se tiene entre el 50% y 80% de materia seca, originaria de naves con agujero profundo. La consistencia del estiércol de gallina es sensible a la humedad y muy inestable (Blanco, 2011, p.8).

1.2.2.1. Problemas generados por los residuos de origen animal

Las excreciones ganaderas originan impactos en el ambiente permanentes, entre los más importantes tenemos la generación de olores, emisión de gases de efecto invernadero y son acidificantes del suelo, además de la emisión de microorganismos como aerosol. Dentro de los gases de efecto invernadero que genera la ganadería se encuentran el óxido nitroso y el metano, como los más importantes. Las deposiciones provocan también impactos en el agua. Los vertidos de granjas a vertientes públicas lo hacen sin someterse a un proceso de purificación para lograr parámetros aptos que no afecten el ambiente. Las escorrentías originadas en los suelos en donde se acumulado el excremento son una potencial fuente de contaminación de aguas superficiales. Se pueden originar contaminación en las aguas subterráneas debido al lavado de nutrientes u otras sustancias por medio del perfil de los suelos en el cual se han ejecutado aplicaciones agrícolas de las deposiciones sin un tratamiento previo (Canet, y otros., 2006, p.23).

1.2.3. Tratamientos para la gestión de los residuos

Si existe una adecuada gestión de residuos se consigue en la mayoría de los casos un desarrollo limpio de las actividades agrarias, así se evita la contaminación puntual y los problemas que se generan de la misma, por lo que esta es una práctica necesaria en cualquier actividad

agroindustrial, requiriendo una planificación sobre la gestión de los residuos (Valverde, 2015, p.8).

En la gestión de los residuos se debe cumplir con tres objetivos, los cuales son:

- a) Disminución de los residuos en la fuente.
- b) Aplicar tratamientos con la finalidad de otorgar una calidad adecuada a los residuos, que este acorde con el destino final de los mismos.
- c) Planificar y controlar el destino y uso del producto.

La tendencia actualmente en el mundo es considerar a los residuos generados en las actividades agroindustriales como subproductos y no como desechos, como es en el caso de los desechos hospitalarios. Uno de los principales destinos para los subproductos es la alimentación del ganado, para el compostaje o para la generación de biol o biogás, para llevar a cabo esto es necesario realizar un tratamiento a los residuos, las cuales son un conjunto de operaciones que modificaran las características fisicoquímicas o biológicas de los mismos, con la finalidad de reducir o suprimir toda sustancia peligrosa que contenga (Valverde, 2015, p.8).

Los tratamientos que se pueden dar a los residuos se describen a continuación

1.2.3.1. Incorporación de aditivos

Esta práctica consiste en adicionar un producto biológico o químico, a la parte líquida del material orgánico para poder cambiar las características de sus efluentes, disminuir las emisiones de gases contaminantes, como preparatorio para la fase posterior de tratamiento o para aplicar al suelo. Se pueden utilizar distintas variantes de aditivos como por ejemplo microbiológicos, bloqueantes, agentes enmascaradores, absorbentes y adsorbentes, aditivos químicos, entre otros. La desventaja principal de este tratamiento es que algunos aditivos son efectivos para algo en específico, pero al mismo tiempo llegan a ser perjudiciales en otras áreas (Valverde, 2015, p.8).

1.2.3.2. Separación sólido-líquido

Este es un proceso físico donde los residuos se separan en dos partes: una sólida y una líquida, por lo general en este tipo de tratamiento se agrega un componente floculante con el fin de mejorar significativamente la separación. Este proceso permite obtener una disminución en la generación de malos olores, facilitando también el transporte de la parte sólida, aun así, este proceso presenta

problemas relacionados a los costos de operación y los requerimientos de manejo (Valverde, 2015, p.9).

1.2.3.3. Compostaje

Proceso de descomposición biológico con presencia de aire (aerobio), el cual genera energía, donde parte de la fracción orgánica de los residuos se convierte en dióxido de carbono (CO_2) y agua, por la acción de los microorganismos sobre el mismo. En este tratamiento se extiende la calidad del material inicial, se disminuye su peso y su volumen, y a la vez es desinfectado (Jaramillo y Zapata, 2008, p.20).

1.2.3.4. Digestión anaerobia

Este es un proceso de descomposición biológica sin la presencia de oxígeno (anaerobia) que como resultante se obtiene tres productos: biosol, biol y biogás; siendo el biogás uno de los más importantes, mismo que está compuesto principalmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), los cuales son aprovechables para la producción de energía, en el proceso la fracción orgánica se mineraliza y estabiliza, se controla la producción de gases perjudiciales y olores desagradables. A este proceso se lo considera caro y al mismo tiempo económico, ya que, en función a la metodología utilizada, el proceso requerirá de un control constante, además que puede llegar a ser inestable, debido a que es sensible a la presencia de varios compuestos tóxicos o inhibidores, y las poblaciones microbianas necesarias para el proceso pueden llegar a ser desequilibradas con pequeños cambios en el mismo (Valverde, 2015, p.9).

1.2.3.5. Nitrificación – Desnitrificación

La nitrificación y la desnitrificación son procesos microbiológicos, donde el amonio primero se oxida a nitrito y en la segunda fase se oxida a nitrato, esto lo realiza en presencia de carbono inorgánico y oxígeno (nitrificación), después de esto el nitrato se reduce a nitrógeno molecular, sin la presencia de oxígeno y carbono orgánico (desnitrificación). Se descarta la fracción orgánica y el nitrógeno de la misma sin necesidad de oxígeno, donde se logran reducir gases con efecto invernadero y olores desagradables. Presenta desequilibrio y costos altos en su implementación, a este proceso no se le identifica como un proceso de recuperación ya que no se cierra por

completo el ciclo del nitrógeno, produciendo fangos que requieren de otro tratamiento específico (Valverde, 2015, p.9).

1.2.3.6. Lombricultivo

Es una biotecnología en la cual se usa una especie domesticada de lombriz, como un instrumento de trabajo que recicla cualquier variedad de materia orgánica llegando a obtener como resultado el abono orgánico denominado humus, además, de la harina de lombriz y carne. Se trata de una alternativa interesante generalmente aplicada en el área zootecnistas que permite mejorar cualquier sistema de producción agraria. La lombricultura es una industria que se está ampliando de a poco, misma que en un futuro cercano será el medio más eficaz y veloz para recuperar los suelos degradados en las zonas rurales (Jaramillo y Zapata, 2008, p.43).

La lombricultura como tal es una técnica mediante la cual se cría y produce lombrices en cautiverio, alcanzando una mayor producción y crecimiento en pequeños espacios, el alimento básico es material biodegradable proveniente de la actividad agraria, industrial, pecuaria y casero, obteniendo como producto final de la transformación de los desechos el abono orgánico (biomasa y humus) que resulta ser de excelente calidad. La lombricultura también produce una importante cantidad de lombrices que varían alrededor de 60% de proteínas en peso seco. Las heces de las lombrices conocidas como humus son altamente ricas en nutrientes, debido a que poseen cinco veces más nitratos que el suelo, once veces más potasio y siete veces más fósforo intercambiable siendo esta una de las características más importantes, además de tres veces más magnesio intercambiable, lo que beneficia notablemente la asimilación de los nutrientes por parte de las plantas (Jaramillo y Zapata, 2008, p.43).

1.2.3.7. Aprovechamiento térmico.

Desde la perspectiva física y química, los procesos de transformación energéticos se establecen en la degradación de las moléculas orgánicas con la intervención del calor. Las tecnologías que procesan los residuos de forma térmica tienen como objetivo la disminución de su volumen y al mismo tiempo poder recuperar la energía a partir de los gases, sólidos y líquidos que se forman. Esta serie de procesos térmicos se dividen en base a los requerimientos de oxígeno. Los que

demandan de oxígeno conocidos como incineradores o calderas y los que no requieren de oxígeno denominados como termólisis y pirólisis (Milena, y otros., 2008, p.4424).

➤ Incineración.

Alternativa conocida como la solución definitiva, al problema de los residuos sólidos, donde se aprovecha la energía generada, debido a que la combustión generada produce gases calientes, los cuales mediante una transferencia de calor por convección convierte el agua que se encuentra en los tubos en vapor, el cual puede ser utilizado para la generación de energía. En el transcurso de este proceso se forman sustancias perjudiciales conocidas como furanos y dioxinas, que son compuestos organoclorados de características químicas análogas las cuales se caracterizan por su permanencia en el medio ambiente y porque son difíciles de degradar. No es recomendable la incineración sin aprovechar la energía producida, debido a que se origina dióxido de carbono el cual contribuye con el calentamiento global y al efecto invernadero (Milena, y otros., 2008, p.4424).

➤ Pirólisis.

Es la descomposición de la fracción orgánica por calentamiento hasta alcanzar al punto de degradación de las sustancias que contiene carbono, la temperatura varía entre 400 y 800°C, sin presencia alguna de oxígeno y presión controlada. Esta técnica puede disminuir el volumen de los residuos hasta aproximadamente un 95%. La pirólisis teórica para una molécula de celulosa produce oxido de carbono (CO), dihidrógeno (H₂) y carbono (C), además de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua, entre otros, los cuales ocasionan serios problemas ambientales. En el momento que un residuo es pirolizado se consigue una mezcla en forma de gas, sólido y líquido esto según su origen y la tecnología que se utilice (Milena, y otros., 2008, p.4425).

1.3. Compostaje

Es un proceso biotecnológico en el cual se da una degradación oxidativa que es el resultado de una combinación de residuos orgánicos, es una descomposición biológica que necesita de la presencia de oxígeno, misma que se produce en un rango de temperatura termofílico, el proceso

da como resultado final el bioabono denominado compost, mismo que no contiene patógenos, tiene estabilidad, se puede utilizar como abono orgánico el cual va ayudar a mejorar las características fisicoquímicas y biológicas del suelo. Se necesita la presencia del oxígeno porque en el transcurso del proceso se ven beneficiadas las transformaciones (fisicoquímicas y/o biológicas) de tipo aeróbico al realizarse operaciones que le permiten al oxígeno ingresar al material en degradación (Jiménez y Barral, 2008, p.245).

Estas transformaciones suceden de manera más acelerada que cuando las condiciones son anaeróbicas y son exotérmicas, por lo tanto, el proceso de degradación es más ágil que en ausencia de dicho elemento, generándose complementariamente energía calórica, aumentando la temperatura en el material compostado. Este incremento de temperatura, vinculado a las transformaciones en presencia de aire da lugar a la aceleración del proceso, impide la producción de malos olores y ayuda a la higiene del compost reduciendo o eliminando agentes patógenos, semillas de malas hierbas, entre otros (De Jesus, 2010, p.15).

Finalmente, se indica que sucede bajo situaciones controladas, principalmente de temperatura, aireación y humedad, para poder distinguir el proceso de compostaje de uno de putrefacción. Este proceso va encaminado principalmente a los residuos sólidos o semisólidos biodegradables, mismos que componen la fase sólida orgánica, facilitando la actividad biológica al servir como medio de intercambio de gases y de soporte físico, al contribuir con nutrientes orgánicos e inorgánicos y agua, aporta con microorganismos nativos, acumulan los residuos metabólicos y actúan como aislante térmico (De Jesus, 2010, p.15).

1.3.1. Sistemas de compostaje

Los principales sistemas implementados para el compostaje son los de tipo abiertos y cerrados, esto va a depender del clima, del sitio en el cual se realice el proceso, del origen del material con el que se esté trabajando, de la factibilidad del terreno o de la necesidad de sintetizar el proceso, tomando en cuenta todo lo antes mencionado se pueden manejar el proceso dependiendo del sistema. Los sistemas abiertos son económicos, ya poseen una instalación y manejo más simple, por otro lado, los sistemas cerrados son económicamente más caros ya que poseen una infraestructura más compleja, esto debido a que hay que realizar una instalación cerrada y utilizar una maquinaria más compleja (Andalucía, 2000).

1.3.1.1. Sistemas Abiertos

➤ Pilas estáticas

La tecnología para la realización del compostaje en pilones es relativamente simple, es el sistema más utilizado y económico. Todos los materiales se acumulan en el suelo o pavimento, sin prensar demasiado, teniendo en cuenta la forma y la medida de la pila (Andalucía, 2000, p.2).

- Pilas estáticas con aireación pasiva.

Este sistema se lo considera apropiado al analizar la relación costo/beneficio, en comparación con otros métodos como pilas con volteo o aireación forzada. Para ayudar a ventilar naturalmente la pila, se debe emplear estructuras que permiten un flujo adecuado de la masa de aire que va desde la parte inferior hacia la parte superior de la pila. Las pilas son aireadas por una convección natural. La ventilación caliente que asciende desde el centro de la pila forma un vacío que aspira el aire de los alrededores (Andalucía, 2000, p.3).

El tamaño y la forma adecuada de la pila van a depender del tamaño de la partícula, el nivel de descomposición, el contenido de humedad, y la porosidad todo esto puede variar la movilización del aire hacia la mitad de la pila. El compostaje en pilones simples es un proceso muy variable con casi nada de complicaciones, esta técnica es utilizada para compostar residuos sólidos urbanos, restos de poda, estiércol y fangos. Este proceso consigue excelentes resultados para una extensa variedad de residuos orgánicos, funciona favorablemente mientras se mantengan las condiciones aerobias y el porcentaje de humedad. Los procesos de compostaje pueden seguir incluso en la época invernal, pero el tiempo de finalización del proceso es más largo debido al frío (Andalucía, 2000, p.3).



Figura 1-1. Pilas estáticas mediante aireación pasiva.

Fuente: (Andalucía, 2000, p.3).

- Pilas estáticas con aireación forzada

En este tipo de sistema se puede realizar un mayor control de la acumulación de oxígeno y permite mantenerlo en un porcentaje adecuado del 15% al 20 %, para beneficiar la actividad metabólica de los microorganismos que se desarrollan en presencia de oxígeno los cuales son la base del proceso. La aportación de oxígeno se puede realizar por insuflado o succión, así como las variantes que encierran a los dos tipos mencionados. La aportación de oxígeno puede darse de forma continua, o estar ligada a intervalos dados por un termostato que llegada a una determinada temperatura aproximadamente de 60°C se active el mecanismo de inyección de aire para que la temperatura disminuya hasta alcanzar el valor requerido. Una vez construida la pila, no se debe tocar, hasta que el período activo de compostaje se complete (Andalucía, 2000, p.4).



Figura 2-1. Pilas estáticas mediante aireación activa

Fuente: (Andalucía, 2000, p.3).

- Pilas estáticas con volteo.

Es un sistema muy sencillo y económico, en esta técnica de compostaje la pila se voltea de manera periódica con el fin de homogeneizar la mezcla y la temperatura, con la finalidad de disminuir la cantidad de calor, controlar el porcentaje de humedad y acrecentar la porosidad de la pila para así mejorar la aireación (Andalucía, 2000, p.4).

Luego de realizar el volteo, la temperatura va descendiendo hasta llegar a un rango que va de los 5 °C o a los 10 °C, incrementándose de nuevo en el caso que el proceso aun no haya culminado. La periodicidad de volteos durante el proceso dependerá de las características del material, el contenido de humedad y de cuán rápido queramos cumplir el proceso, siendo usual realizar este procedimiento cada 6 o 10 días. Regularmente se efectúan monitoreos permanentes de temperatura, concentración de oxígeno, y contenido de humedad para determinar el tiempo adecuado para realizar cada volteo (Andalucía, 2000, p.4).

Comúnmente los volteos se los realiza con una pala cargadora, recogiendo y arrojando el material para a continuación reconstruir la pila. Sin embargo, para realizar esta técnica de compostaje, hay una maquinaria concretamente diseñada para la obtención de un mezclado del compost de eficiencia. En las pilas estáticas, exista o no volteos tienen gran relevancia el volumen de las mismas, por una parte, porque permitir una correcta aireación y por otra porque no exista una excesiva pérdida de calor (Andalucía, 2000, p.5).

1.3.1.2. Sistemas cerrados

Son sistemas que permiten un excelente control de los diferentes parámetros que se monitorean lo largo del proceso, así como también un menor tiempo de residencia y la opción de efectuar un proceso continuo. Estos sistemas se caracterizan por realizar el proceso de compostaje en reactores cerrados, teniendo como inconveniente el costo elevado de inversión para su instalación. Se dividen entre reactores de flujo vertical y horizontal (Andalucía, 2000, p.7).

➤ Reactores de flujo vertical

Este tipo de reactores poseen alturas por encima de los 4 m y estos pueden ser discontinuos o continuos, siendo los discontinuos aquellos que poseen una altura de las pilas de 2 a 3 m complementado con un sistema de ventilación forzada o volteo hacia sus pisos menores. El inconveniente principal de este tipo de reactores es su elevado costo de construcción, sin embargo, aunque la inversión al inicio es más cara en comparación al sistema de pilas estáticas, posee una relación baja en cuanto al costo por unidad de volumen de trabajo (Andalucía, 2000).

➤ Reactores de flujo horizontal

Son aquellos que tienen un depósito rotatorio, dentro de ellos están los que carecen de un sistema de agitación y permanecen estáticos, y los que tienen un depósito de forma inestable con un dispositivo de agitación (Andalucía, 2000).

Tabla 1-1. Ventajas y desventajas de los sistemas de compostaje

Métodos de compostaje	Ventajas	Desventajas
Pilas Estáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Volteos no muy seguidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Compostaje lento • Mas generación de olores • Pequeño volumen de las pilas • Susceptibilidad a efectos climáticos
Pilas de volteo o en hileras	<ul style="list-style-type: none"> • Permite compostar gran cantidad de residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • Susceptibilidad a efectos climáticos • Volteos frecuentes • Generación de olores • Mayor disponibilidad superficie de terreno y maquinarias
Pilas estáticas aireadas pasivamente	<ul style="list-style-type: none"> • No necesita volteos • Más económica que la de aireación forzada 	<ul style="list-style-type: none"> • Susceptibilidad a efectos climáticos • Inapropiada para materiales de fácil compactación. • Mezcla inicial es crítica para mantener la aireación. • Disponibilidad de espacio para maquinarias
Pilas aireadas forzadamente	<ul style="list-style-type: none"> • No es indispensable máquinas volteadoras • Reduce el tiempo de compostaje • Temperaturas más elevadas(muerte de agentes patógenos) 	<ul style="list-style-type: none"> • El acceso de aireación puede secar la pila.
Reactor	<ul style="list-style-type: none"> • No influye el clima • Descomposición acelerada • Buena calidad del producto obtenido 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos iniciales y operacionales elevados.

Realizado por: Basantes, Cristian, 2017.

Fuente: Avendaño, (2003, p. 25)

1.3.2. Bioquímica del Compostaje:

La descomposición de la materia orgánica que forma parte de los residuos a ser compostados se produce por los microorganismos que forman parte de la pila, mismos que variaran durante todas las etapas del proceso. Esta materia se transforma a partir de reacciones de óxido-reducción catalizada por las enzimas que producen los microorganismos. Esta descomposición de los compuestos es conocida como mineralización, en palabras simples es una conversión de las macromoléculas en H₂O, NH₃, H₂SO₄, CO₂. (Sztern, 2009, p.17).

El proceso de descomposición está dado por acción de las enzimas producidas por los microorganismos, las cuales se accionan a nivel extracelular como intracelular. Algunos estudios

han determinado que la proporción de celulosa existente en los residuos a ser compostados se reduce abruptamente en el transcurso de los primeros treinta y cuatro días, también, se ha determinado que existe una gran cantidad de bacterias celulolíticas con este tipo de características en relación a los hongos. La celulosa es degradada por acción de las celulasas, las cuales son un complejo sistema enzimático.

Otra enzima que se degrada de manera semejante a la celulosa es la hemicelulosa que está conformada por una variedad de pentosas y hexosas, es decir, su proceso de degradación se produce a partir de la actividad de exoenzimas, las que generan 17 monómeros generados por cortes de los extremos del polímero, o endoenzimas, que originan cortes en la parte interna del polímero (Moreno, 2008, p.123).

La lignina es otra de las enzimas que se degrada en el proceso de compostaje, ya que tanto la celulosa como la hemicelulosa se encuentran formando parte de esta, siendo este último el polímero que actúa como una red de protección. El estudio de su descomposición aún no se ha estudiado de forma completa, pero se ha determinado que el hongo *Phanerochaete chrysosporium*, genera compuestos oxidantes que tienen la capacidad de fragmentar la lignina en variadas sub-unidades, esto liberan alcoholes aromáticos, ácidos y fenoles, los cuales después tienden a mineralizarse (Porrás, 2011, p.17).

1.3.3. Etapas del proceso de compostaje

➤ *Etapa de latencia*

Etapa donde los microorganismos inician con el proceso de adaptabilidad al medio en el que se encontraran durante todo el transcurso biológico, misma que se alarga hasta que exista una variación en la de temperatura, esta puede darse entre las primeras 24 y 72 horas. La etapa se puede acortar si se hace un procedimiento de suelo productivo, en el cual se puede combinar los desechos a compostar a razón de 0,5 kg/m², con un inóculo de suelo fértil, extendiéndose en capas que no van más allá de los 20 cm (Porrás, 2011, p.22).

➤ *Etapa mesófila 1 (10-40°C)*

Esta fase tiene una duración prolongada, más o menos hasta que la temperatura consigue llegar a los 40°C. Constan de procesos de nitrificación, además de los otros compuestos que se producen

en la etapa de la respiración aeróbica. La actividad metabólica ocasiona un incremento térmico, debido a la falta de disipación del calor generado, esto depende de los materiales que se estén usando para poder determinar la duración de esta fase (Porras, 2011, p.22).

➤ ***Etapa termófila (40-75°C)***

En esta etapa los microorganismos termófilos se encargan de sustituir a los mesófilos. La fase termófila dura hasta que el incremento del CO₂ proporcione condiciones anaeróbicas óptimas donde los microorganismos termófilos aerobios no tengan la capacidad de subsistencia. Temperaturas elevadas influyen en la disminución de la cantidad de microorganismos que son conocidos como dañinos este es el caso de la Salmonella o el Enterovirus entre otros (Porras, 2011, p.22).

➤ ***Etapa mesófila 2***

En esta etapa al reducir la actividad metabólica de los termófilos, inicia el descenso de la temperatura de la pila, entrando en proceso una segunda etapa mesófila. Las tres anteriores junto con esta etapa logra alcanzar aproximadamente una duración de dos meses, sin tener en consideración la etapa de maduración (Porras, 2011, p.23).

➤ ***Etapa de maduración***

En esta última fase se da el proceso de degradación de los compuestos más persistentes, la temperatura empieza a descender hasta llegar a un punto donde alcanza un equilibrio con el ambiente. Los actinomicetos (actinobacterias o bacterias filamentosas) y hongos durante esta fase son los microorganismos predominantes, mismos que llegan al material desde el entorno circundante, las esporas que lograron resistir la etapa termófila o los bordes de la pila. Los actinomicetos son los más relevantes por encargarse de producir micelios parecidos a los de los hongos, además de la participación que tiene en los procesos de humificación, los cuales se producen principalmente en esta fase (Sztern, 2009, p.19).

1.3.4. Microorganismos presentes en el proceso de compostaje

Caracterizar los microorganismos que se hallan durante el compostaje en todas sus etapas es muy complejo, debido a que hay varios hongos, virus y bacterias que se encuentran de manera activa en todas las fases del compostaje y su presencia está en función a particularidades de la materia orgánica que se encuentra dentro del proceso de degradación por ejemplo el pH. En cuanto al tipo de microorganismos que se puede localizar va en función de las condiciones tanto ambientales como nutricionales que tiene la pila en un determinado momento, esto se complementa con la capacidad que poseen de persistir a las condiciones existentes (Porrás, 2011, p.23).

Los microorganismos vinculados, en función de la actividad, pueden influir de manera negativa o positiva. La presencia de microorganismos indeseables es identificada por la presencia de malos olores. Hay que enfatizar, que los microorganismos que se tiene la expectativa que prevalezcan, sean los que tengan la capacidad de descomponer en presencia de oxígeno la materia orgánica, también denominados aeróbicos, compitiendo de manera directa con los patógenos (Porrás, 2011, p.23).

Las reacciones producidas con la influencia de oxígeno expulsan: dióxido de carbono, agua y energía que ha sido generada en la biodegradación catalizada por los microorganismos quimioheterótrofos, reacciones que se encargan de generar ATP por medio de diferentes rutas metabólicas que concurren en el ciclo de Krebs. La energía que se obtiene a manera de calor produce un incremento en la temperatura, esto si los compuestos que hayan sufrido una degradación se hallen sitiados para que por este efecto no se disipe. Los tipos de microorganismos que van a predominar durante cada etapa van a depender básicamente de la capacidad de subsistencia que posean en condiciones específicas, de manera objetiva se hace referencia a su resistencia a la temperatura, que se produce en el material (Epstein, 1997).

En lo que respecta a levaduras y hongos, se han podido identificar de las clases, Basidiomycetes, Zygomycetes, Ascomycetes y Saccharomycetes. Se tiene identificado tres tipos de hongos considerados como principales ya que influyen en la descomposición de la materia orgánica: pectinolíticos, hongos celulíticos y 28 hongos amilolíticos, que tienen como función principal la descomposición de las cadenas de polisacáridos del almidón en la glucosa con una reacción parecida a la descomposición de la celulosa, pero con un mecanismo totalmente diferente, esto provocado por la diferencia de estructura que existe entre la celulosa y el almidón (Heredia, 2008).

1.3.5. Parámetros de control en el proceso de compostaje

1.3.5.1. Temperatura

La actividad microbiana inicia una vez que se cuenta ya con el material que se va a compostar en un reactor o las pilas, si las condiciones son las propicias, en un comienzo todo el material se encuentra a la misma temperatura, esto va a empezar a variar debido a que al empezar el crecimiento de los microorganismos se produce calor lo que conlleva al incremento de la temperatura. El indicio más evidente de la actividad microbiana es el aumento de la temperatura en el material que está en proceso de compostaje, por esta razón la temperatura es tomada en cuenta tradicionalmente como una variable esencial en el manejo del compostaje. La temperatura se encarga de representar de manera correcta las fases de compostaje, ya que existen estudios donde se ha probado que mínimas diferencias de temperatura influyen mucho más en la actividad microbiana que cambios mínimos del pH, C/N o la humedad (Márquez, 2010, p.2).

Debido al progreso de la temperatura podemos analizar el grado de estabilización y la eficacia a la que se ha producido el compostaje, esto se da porque la magnitud de la descomposición de la materia orgánica y la temperatura están relacionadas directamente. También, se encuentra una relación directa entre el tiempo y la descomposición donde la temperatura influye de manera notoria. Varias veces la temperatura puede alcanzar altos niveles, esto es capaz de inhabilitar el desarrollo de los mismos microorganismos, a esta anomalía se la conoce como suicidio microbiano (Márquez, 2010, p.2).

1.3.5.2. Humedad

Por ser el compostaje una fase biológica de degradación de la materia orgánica, es fundamental condiciones óptimas por lo cual es importante la presencia de agua como nutriente esencial para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, esto debido a que el agua es el medio por donde se transportan sustancias solubles que son de alimento para las células y de los productos inservibles de aquellas reacciones que se generan en este proceso, esta es una variable de importancia dentro del proceso de compostaje y por ello se considera esencial dentro del criterios para un compostaje óptimo. El contenido de humedad que se considera apropiado para el desarrollo de la actividad microbiológica se encuentra en el rango (50-70%); la actividad biológica disminuye en gran medida cuando el contenido de humedad es menor al 30%; sobre el 70% el agua ocupa los espacios libres que existen entre las partículas, disminuyendo el traspaso de oxígeno y con ello provocando una anaerobiosis. Las condiciones cuando se hacen anaerobias

se identifican con la presencia de olores desagradables y decrecimiento de la velocidad del proceso (Márquez, 2010, p.2-3).

1.3.5.3. Potencial Hidrógeno

Dentro del proceso de compostaje el pH posee un predominio directo por la influencia que tiene en la dinámica de los procesos microbianos. Diversos trabajos utilizan esta variable para analizar de una manera más profunda el progreso del compostaje, existe una dependencia entre los cambios de aireación y el pH de la composición, llegándose a concluir que un proceso de compostaje con la aireación correcta se finaliza con productos terminados que tienen un pH entre 7 y 8; valores mínimos del pH son encargados de indicar que el material no ha llegado a su madurez y de fenómenos anaeróbicos. Existen estudios de las relaciones pH aireación-microorganismos en el proceso, en donde se demostró que a pH bajos la descomposición orgánica cesa, mientras tanto si el pH se encuentra sobre los 7,5 a lo largo del proceso es señal de una excelente degradación (Márquez, 2010, p.3).

1.3.5.4. Aireación

El desarrollo adecuado del compostaje depende necesariamente de mantener la presencia de oxígeno, debido a que los microorganismos que se encuentran interviniendo son aerobios. Las pilas del proceso de compostaje manifiestan porcentajes que van variando en el aire de sus espacios libres, desde la parte más externa de la pila, la cual contiene concentraciones de oxígeno similares al aire entre el 18-20%, ya hacia la parte interna el contenido de oxígeno va decreciendo, en tanto que el dióxido de carbono va incrementando, hasta llegar a un punto, donde a una profundidad mayor a los 60 cm el oxígeno puede oscilar entre 0,5 y 2% (Ekinci, y otros., 2004).

Una aireación obsoleta incita un reemplazo de los microorganismos aerobios por anaerobios, con la supeditada demora en la degradación, la visión de sulfuro de hidrógeno y la obtención de olores totalmente desagradables. Una ventilación excesiva lo que haría es inducir a la congelación de la masa y una elevada deshidratación con la respectiva disminución en lo que respecta al metabolismo de los microorganismos (Zhu, 2006).

Tabla 2-1. Condiciones deseables durante el proceso de compostaje

Características	Rango razonable	Rango Óptimo
Relación C:N	20:1	25:1-30:1
Contenido de Humedad	40-65%	50-60%
Concentración de Oxígeno	Mayor al 5%	Mucho Mayor al 15%
pH	5,5-9,0	6,5-8,0
Temperatura	45-66	55-60

Realizado por: Basantes, Cristian, 2017.

Fuente: Avendaño, (2003), p. 10

1.3.5.5. *Sustrato*

➤ *Tamaño de la partícula*

En la parte inicial del proceso, las partículas que forman la masa a compostar son una de las variables esenciales para que este sea óptimo, debido a que cuanto más grande sea la superficie que se tenga para el ataque realizado por agentes microbianos por unidad de masa, más completa y rápida será la reacción. Es por esto por lo que la desintegración del material ayuda al ataque de los microorganismos e incrementa la rapidez del proceso, así cuando se ha usado restos agroindustriales, la rapidez del proceso se aumentado al doble, cuando se ha molido el material. Un tamaño mínimo de la partícula incita una superficie amplia de contacto para la arremetida microbiana, además de ello se disminuye el espacio existente entre partículas y eleva las conocidas como las fuerzas de fricción, restringiendo la propagación del dióxido de carbono hacia dentro y de oxígeno hacia fuera, pudiendo llegar a colapsar la actividad microbiana al ser casi imposible el proceso aireación por convección natural. A pesar de esto un producto demasiado fino no se recomienda por el riesgo que pueda producirse compactación. Las dimensiones que se pueden llegar a considerar como inmejorables son totalmente variadas de acuerdo con las investigaciones realizadas, dependiendo de los criterios emitidos por varios autores, el tamaño puede estar entre 1 a 5 cm, 2 a 5 cm o 2,5 a 2,7 cm. (Tchobanologus, y otros., 1994).

➤ *Relación C/N*

Un adecuado proceso de compostaje mediante el cual se aproveche y mantenga el mayor porcentaje del C y N, debe tener una relación C/N del material al inicio del proceso conveniente. Los microorganismos ocupan de manera general por cada 30 partes de carbono una de nitrógeno; por este motivo se establece que el intervalo de relación C/N es el adecuado para el compostaje del material es de 25-35. la rapidez del proceso y la disminución de amonio a lo largo del proceso

de compostaje se debe a la relación C/N, así cuando se tiene una relación C/N mayor a 40 la actividad biológica se reduce y los microorganismos oxidaran de manera excesiva el carbono y consecuentemente esto ralentizara el compostaje, debido a la carencia de N para la síntesis proteica que realizan los microorganismos (Márquez, 2010, p.5).

La relación C/N eficaz para un compost maduro debe estar cercana a 10, es decir parecido al del humus. De manera general se puede decir que un compost es maduro o estable cuando la relación C/N es menor a 20, pero cabe mencionar que esta es una condición que se la considera como indispensable pero no es suficiente. Si existe una relación C/N baja en los productos que serán compostados (inferior a 18-19), el proceso de compostaje se lo realiza con mayor velocidad, pero se elimina como amoniaco el excedente de N, esto ocasiona que se dé una autorregulación de la relación C/N, esta pérdida no afectan de manera negativa al proceso de compostaje, pero es un derroche, debido a que el N es considerado como un nutriente esencial dentro de los cultivos, además de ser un problema medioambiental (Márquez, 2010, p.5).

1.3.5.6. Nutrientes

Una particularidad química necesaria de los sustratos es su constitución elemental. El beneficio agronómico de los restos a ser implementados en el proceso de compostaje se encuentra relacionado con los nutrientes que estos presentan. Los microorganismos se pueden beneficiar de compuestos simples, por ende, las moléculas más complejas entran en un proceso donde se parten en otras más simples (un claro ejemplo son las proteínas en aminoácidos y estos en amoníaco) esto para que sean asimiladas (Castaldi, y otros., 2005, p.211).

1.3.6. Calidad de compostaje

La calidad de un compostaje está dada por la suma de las diferentes características y propiedades que este tenga. En la etapa de evaluación los aspectos que se deben tomar en cuenta son: imposiciones del mercado, amparo del entorno, y lugar de llegada del producto. Ya en los niveles de calidad se establecerán algunos requerimientos dependiendo del mercado al que tenga que llegar, cabe mencionar que existirá unos parámetros mínimos que se tendrán que tener antes de cualquier aplicación. Para esto se necesita definir la calidad general del compostaje (en mutuo acuerdo con los potenciales usuarios) y con ello plantear unos parámetros que se diferenciaran para las diversas utilidades (Acosta y Peralta, 2015, p.38).

Los requerimientos netos en base a la calidad corresponderán básicamente en conseguir un nivel de impurezas bajo, olores no desagradables, higienización correcta, nivel correcto de los componentes agrónomicamente útiles, es por ellos, que se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Calidad física: porosidad, densidad aparente, existencia de partículas extrañas, capacidad de retención de agua, olor, coloración, granulometría, humedad.
- Calidad química: dentro de esta se encuentran tres vertientes: presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos, velocidad y contenido de mineralización de los nutrientes vegetales que posea y estabilidad y contenido de la materia orgánica.
- Calidad biológica: patógenos primarios y secundarios, existencia de semillas de malas hierbas. El control que es encargado del rendimiento tiene está en función del desarrollo del proceso y ayuda a valorar el interés y los costes luego de que el tratamiento se lo haya aplicado (Torrentó, 2011).

En la evaluación de la calidad del compost se determina por medio de cálculos de indicadores determinados durante el proceso. El determinar un número mayor de indicadores (químicos, físicos y biológicos) permitirá llegar a una mejor calidad del producto. Resultado de emplear un método respetuoso da como resultado una buena calidad del compost y con una gestión racional de los residuos, cuyo objetivo principal es el de elaborar un producto de aplicación netamente agrícola. Con ello el proceso de compostaje pueda ser una de las vías económicamente accesibles y llegar a un beneficio ambiental, el compost debe obtener una calidad eficiente a su uso y además de ello unas características que deben ser constantes en el tiempo. Debemos destacar algunos puntos como:

- El material inicial. La calidad que poseen al comienzo los materiales manipulados ayudará a saber cómo será la calidad del material en el final.
- El proceso de compostaje. La higienización del compost se la obtiene cuando el material a descomponer haya sufrido cambios debido a las temperaturas que sobrepasan los 60°C durante un intervalo de tiempo, sino al final del proceso hallaremos agentes patógenos en el producto final.
- El almacenamiento del producto final. El compostaje puede seguir el proceso una vez que ha sido almacenado. La inmadurez o inestabilidad produce los olores desagradables generados por medio del almacenamiento, debido a que estos compost inmaduros siguen con el proceso de degradación, las condiciones anaerobias pueden llevar a la producción de metano cuando no existe una correcta provisión de aire (Acosta y Peralta, 2015, p.39).

1.3.7. Propiedades de compost

1.3.7.1. Propiedades Físicas

➤ *Humedad*

El contenido de humedad del compost va de acuerdo con las condiciones de almacenamiento, su naturaleza y al proceso implementado. La humedad se debe encontrar entre 35 - 45%, los compost con humedad que se encuentre por debajo del 35% se puede deber a que han quedado inestables y si estos poseen menos del 30% de humedad se desmenuzan y son de manejo desagradable (Torrento, 2011).

➤ *Densidad aparente*

Un compost de calidad manifiesta una relación entre el volumen de 400 a 700 Kg por cada metro cubico y el peso del material, la humedad del producto influye en la densidad del mismo, además, del tamaño y forma de partícula, su grado de descomposición y el contenido en materia orgánica. La densidad aparente va en aumento en función al tiempo de compostaje (Moreno y Moral, 2008, p.291).

➤ *Granulometría y porosidad*

El espacio poroso está en función del volumen total del material no obstruido por partículas orgánicas, el nivel conveniente de porosidad se debe encontrar sobre el 80%. La granulometría es relevante al momento de tener conocimiento acerca del grado de degradación del material y determinar sus posibles utilidades. La granulometría conveniente se muestra cuando la textura del sustrato va de media a gruesa, esto quiere decir que se halle en un tamaño de partícula que va desde los 0,25 mm hasta 2,5 mm, lo que es beneficioso a la hora de conservar la humedad y un apropiado contenido de aire (Moreno y Moral, 2008, p.292).

➤ *El Olor*

El Olor es una medida intrínseca, cabe mencionar que la presencia de malos olores nos permite diferenciar que el proceso se encuentra en fase inicial por la degradación de ácidos orgánicos, o que ha pasado procesos anaerobios que provocan ácido sulfhídrico y amoniaco causando los

olores desagradables, finalizado el proceso un compost de calidad no presenta un olor fuerte o a pudrición (Moreno y Moral, 2008, p.292).

➤ *Color*

Se encuentra vinculado con la degradación de los materiales a compostar, al final del proceso se obtiene un color marrón oscuro, casi negro. El color que se obtendrá al final va a estar en función del material que se utilizó al inicio, si los materiales provienen de materiales verdes tendrán un color negro oscuro, caso contrario si el material inicial es estiércol el color que tendrán será generalmente marrón (Moreno y Moral, p.293).

1.3.7.2. Propiedades Químicas

➤ *pH*

Se lo considera como un indicador del desarrollo del compostaje, el pH en un inicio disminuye por la generación de ácidos orgánicos, a medida que el proceso continuo el pH se incrementa alcanzando valores que van desde los 6,5 hasta los 8,5. El pH influye directamente sobre la presencia de los nutrientes, y además está relacionado con otro parámetro como es la capacidad de cambio catiónico y la actividad biológica. Finalizado el proceso de compostaje los valores idóneos para el pH deben estar cercanos a la neutralidad o medianamente ácidos (Cruz, 2009, p.24).

➤ *Conductividad eléctrica (CE) y elementos solubles*

Es un indicador de la existencia de sales solubles en el compost, los elevados contenidos de sales pueden influir en el desarrollo normal del cultivo y en la germinación de las semillas, esto estará en función a la resistencia de los cultivos y el tipo de suelo donde se va a llevar a cabo el proceso de fertilización. Para cultivos debe el compost debe tener un nivel de salinidad relativamente bajo (Moreno y Moral, 2008, p.294).

➤ *Contenido de carbono orgánico total y relación C/N*

La concentración de carbono orgánico total es un indicador del porcentaje de materia orgánica y por ende un parámetro de calidad. La relación C/N es usada generalmente como un indicador de la madurez y estabilidad de la materia orgánica. Una relación no adecuada afecta a la movilidad del nitrógeno y la baja disponibilidad de oxígeno (Torrentó, 2011).

➤ *Capacidad de intercambio catiónico*

Se entiende como la acumulación de cationes que pueden absorber por unidad de peso del compost, irradiando los cationes que se encuentran utilizables para las plantas. Las cargas inestables se encuentran en función del pH, es por ello que cuando se incrementa el pH eleva la capacidad de intercambio catiónico. La CIC se incrementa de manera general con el paso del proceso de compostaje, esto se debe no solo por el aumento de materiales de carga negativa, además se puede dar también por la acumulación de grupos carboxílicos y fenólicos (Moreno y Moral, 2008, p.262).

➤ *Nitrógeno total*

En cuanto al contenido total de N, este se encuentra relacionado directamente con los materiales a ingresar en el proceso de compostaje, y al final del proceso con las condiciones de almacenaje y maduración. El N es indispensable en la planta, y al ser un elemento con varias formas de impacto ambiental, es obligatorio tener conocimiento de su contenido para ejecutar una dosis correcta. La calidad y forma en la que se halla el N en formas inorgánicas logran ser buenos indicadores de la calidad del compost en su etapa de madurez (Torrento, 2011).

➤ *Materia Orgánica*

Es un factor importante para conocer la calidad agronómica de un compost, durante el proceso de compostaje el porcentaje de materia orgánica desciende a causa de su mineralización y la pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico; este descenso está directamente relacionado con la pérdida de masa el cual ocurre en dos etapas. Siendo en la primera en la cual decrece la presencia de carbohidratos formando cadenas carbonadas más cortas, generando compuestos simples los

cuales al agruparse forman moléculas complejas que dan lugar a los compuestos húmicos; mientras en la segunda etapa los materiales más resistentes como la lignina se van degradando lentamente hasta formar los compuestos húmicos. Los materiales formados en el proceso de compostaje tienen propiedades distintas a los sustratos iniciales utilizados. La velocidad de transformación de la materia orgánica depende de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas (Márquez y otros., 2008, p. 104).

➤ *Polifenoles solubles en agua*

Los polifenoles son compuestos que poseen una estructura molecular que contiene varios anillos fenólicos, se encuentran principalmente en plantas (Quiñones, y col, 2012), son importantes ya que contribuyen a preservar su integridad protegiéndolas de microorganismos e insectos incluyendo a los cambios ambientales, presencia de radiaciones ultravioletas y temperaturas altas. (Gutiérrez, 2002, p.135).

Sin embargo, concentraciones altas de compuestos fenólicos solubles en agua en un proceso de compostaje puede conllevar a efectos negativos sobre el ambiente ya que produce inhibición de la germinación de semillas (Albuquerque, 2006).

➤ *Carbono Extraíble*

Este parámetro es muy importante cuando se realiza compostaje de residuos agrícolas y estiércoles, ya que en estos generalmente se observa un incremento en la concentración de C húmico total (tasa de extracción total en medio alcalino, ácidos húmicos + ácidos fúlvicos, o la relación Cex/Cot) especialmente en la fase de maduración; mientras que en compostaje con RSU y lodos la concentración de C húmico total permanece constante durante todo el proceso; esto se produce porque la extracción alcalina de la materia causa la coextracción de una mezcla diversa de componentes de carácter aromático de naturaleza húmica o precursores de compuestos húmicos (Moreno y Moral, 2008, p.258).

Relación AH/AF: Establece el índice de humificación, considerando que los ácidos húmicos se generan a través de proceso de transformación, reestructuración y condensación a partir de los ácidos fúlvicos (Gavilanes Terán, 2016, p.32).

➤ *Elementos tóxicos*

Se los denomina así a los metales, elementos químicos y metaloides, que debido a distintas reacciones se han incorporado al medio ambiente. Varios de estos son indispensables para algunas especies, pero otros también pueden ser perjudiciales cuando se encuentran en porcentajes altos y otros siempre son tóxicos. La existencia de metales pesados en el compost es inerte a los restos que se emplean para su producción. Por esto pasan a ser contaminantes de riesgo elevado inclusive a temperaturas mínimas. Si existe metales pesados en el compost, inclusive si estos no son nutritivos para la planta, se mantendrán en el suelo almacenados y cuando las condiciones empiecen a variar es decir el pH, CIC o la presencia de sustancias complejantes, estos podrán estar a órdenes de las plantas. Las sustancias complejantes, en concentraciones altas, provocan efectos que son perjudiciales en el crecimiento de las plantas, privando el crecimiento de raíces por lo que es de alto riesgo su uso en cultivos. Debido a esto, se establece que es prudencial tener conocimiento del contenido total de metales, esto puede determinarse por medio de la solución ácida de los escombros del compost o mediante digestión húmeda (medio oxidante y ácido) de la muestra (Torrento, 2011).

1.3.7.3. Pruebas biológicas

Varios factores influyen en los efectos fitotóxicos de un material orgánico inmaduro, podemos nombrar entre los que se destacan los contenidos de ácidos volátiles orgánicos, de amonio, de sales o de metales pesados. Por ello se aconseja propicio realizar pruebas biológicas, que sean en su conjunto lo más practicas posibles, donde se pueda evidenciar de manera concreta el estado del suelo. En función a lo antes mencionado se puede realizar diversos tipos de pruebas: de crecimiento e incubaciones para evidenciar mineralización y estabilidad de nutrientes y pruebas de germinación (Torrento, 2011).

Por su sencillez las pruebas de germinación son las más implementadas, y por ende son factibles al momento de realizar una interpretación breve. Los bioensayos con semillas para calcular el porcentaje de crecimiento y germinación radicular del compost en relación con un testigo con agua destilada se pueden realizar con la implementación de variadas metodologías; entre estas están, la de mayor alcance, en esta se determina el índice de germinación empleando extractos de compost. La metodología del índice de germinación (IG), al combinarla con el cálculo del porcentaje relativo de crecimiento y germinación de raíces, permite establecer tres niveles de fitotoxicidad: severa, moderada y baja o nula (Acosta y Peralta, 2015, p.44).

1.3.7.4. *Propiedades microbiológicas*

➤ *Actividad microbiológica*

La actividad microbiológica de los compost se va a encontrar en función a la calidad del mismo. Dentro de la actividad microbiana se diferencian procesos generales como: mineralización del nitrógeno, respiración del suelo, o actividades oxidorreductasas como deshidrogenasa y catalasa, determinación de C y N de la biomasa microbiana, determinación del ATP, otros métodos estimados específicos como: el efecto enzimático del tipo hidrolasas que incumben a reacciones concretas y van en dependencia de sustratos específicos. La ventaja está en la calidad bioquímica y biológica de los suelos donde se ubique el compost (Valderrama, 2013, p.33).

➤ *Madurez y estabilidad*

Un compost maduro de calidad tiene que cumplir con las condiciones del término del proceso, en relación con sus características fisicoquímicas, y biológicas. La madurez del compostaje se la denomina el elemento más importante tratándose del manejo agrícola, el grado de madurez es expresado como el estado de transformación, descomposición y síntesis microbiana en que se halla el material compostado. Efectos negativos del compost son atribuidos por la falta de madurez del mismo los cuales producen la reducción de los porcentajes de oxígeno en las raíces de las plantas, la inmovilización del nitrógeno, produciendo una competencia por el mismo que se da entre los microorganismos y las plantas, además es causante del incremento de la temperatura del suelo que reduce el crecimiento de las plantas.

Madurez es un indicativo que el producto que contiene nutrientes y energía, esta combinado lo que ha llevado a formar una masa orgánica estable. La calidad indica madurez, pero también se refiere al contenido químico del compost (Puerta, 2004, p.55). La estabilidad que tenga el compost estará dada por el nivel de degradación de la materia orgánica, en función directa del grado de actividad microbiana y por el O₂ que se haya consumido, el CO₂ que se haya eliminado o el calor generado durante el proceso. La inestabilidad se da cuando el compost está conformado por una alta cantidad de materia orgánica de fácil biodegradación, el compost estable se mantiene frío al ser almacenado (Torrento, 2011).

1.4. Marco legal para el manejo de los residuos sólidos y compost

Las normas, leyes y reglamentos descritos a continuación conforman el marco jurídico para el sector de los residuos sólidos.

Tabla 3-1. Marco legal para el manejo de residuos sólidos

MARCO LEGAL	ARTÍCULO
Constitución política de la República del Ecuador. Registro oficial N° 449.2008/10/20	1; 3 numeral 5 y 7; 10; 14; 15; 30; 31; 32; 66;71;72;73;74;83;263; 264 numeral 1,2,3 y 4; 275; 277 numeral 1; 278 numeral 2; 395 numeral 1,2 y 3; 396; 397 numeral 1,2,3,4,5 y 6; 398; 399; 408; 411; 413; 414 y 415.
Políticas Nacionales de residuos sólidos	32;33
Ley de Prevención y Control de la contaminación Ambiental Registro oficial. Suplemento 418, 2004/09/10	1; 6; 10; 11; 13; 14; 15 y 92.
Ley de Gestión Ambiental Registro Oficial. Suplemento 418, 2004/09/10	1;2;5;7;8;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;23 numeral a,b y c ; 24;25;26;27;28;29;30;31; 32;33;34;35;36;37;38;39;40;41;42;43;44.
Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre Registro Oficial N° 418; Septiembre 10 de 2004.	1;2;3;4;6 literal a,b,c,d,e,f,g,h,i,j; 7;8;9;10;12;13;16;23;24;29;52;54;55;56;57 58; 59; 60; 61; 62; 64; 71; 72; 75; 80 y 89.
Ministerio del Ambiente Ecuatoriano N°061, Reforma del Libro VI del texto Unificado de Legislación Secundaria Año II-N° 316- Mayo 2015	5; 6; 7.
Reglamento de Aplicación de los mecanismos de participación social establecidos en la ley de Gestión Ambiental D.E. 1040, 2008/04/22	6;7;8 literal a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k; 10; 16 Literal a,b,c.
Reglamento del Sistema Único de Manejo Ambiental. Registro Oficial N°. 725 Diciembre 16 de 2002, rectificación suplemento Registro Oficial 31 de Marzo de 2003.	1;3;20;32;35;37

Realizado por: Basantes Cristian, 2017.

Fuente: Cofre, (2016), p. 15-18

1.4.1. Marco Legal para el uso del compost en la actividad agrícola

De acuerdo a los artículos citados sobre el manejo y disposición de los residuos sólidos, es necesario aclarar que en Ecuador no se dispone de normativas vigentes para la realización de

abonos orgánicos, por lo tanto, es necesario recurrir a normas internacionales para determinar los límites permisibles de metales pesados, patógenos y vectores. (Jiménez, 2015, p.41).

Según el Real Decreto 06/2013 destinado a fertilizantes, clasifica a los compost en tres grupos diferentes en base a la concentración máxima permisible de ciertos parámetros y metales pesados estableciendo las siguientes categorías:

Compost clase A: Es un producto fertilizante el cual se ha obtenido a través de un proceso de humificación, el mismo que es de alta calidad por lo cual puede ser aplicado directamente sobre el suelo (INN, 2003, p.7).

Compost clase B: Es un producto fertilizante que a pesar de ser obtenido mediante un proceso de humificación presenta algunas limitaciones para su uso directo, por lo cual para su aplicación requiere ser mezclado con otros elementos (INN, 2003, p.7).

Tabla 4-1. Límites máximos de metales pesados para considerar un buen compost en base a la Norma Chilena.

Metal pesado	Límites de concentración Sólidos: mg/Kg materia seca	
	Clase A	Clase B
Limitaciones en la aplicación agrícola	Sin limitación conocida	Sin limitación conocida
Cadmio	2	8
Cromo (total)	120	600
Cobre	100	1000
Mercurio	1	4
Níquel	20	80
Plomo	100	300
Zinc	200	2000

Realizado por: Basantes Cristian, 2018.

Fuente: Norma Chilena Oficial, 2004.

Tabla 5-1. Valoración de la estabilidad-madurez de un compost.

PARÁMETRO	VALOR LIMITE	FUENTE
C hidrosoluble (%)	< 1	Hue y Lui (1995)
C/N	< 20	Poilcelot (1974)
RH (%)	> 7	Roletto y col. (1985)
IH (%)	> 13	Iglesias Jiménez y Pérez García (1992)
Pah (%)	>62	Iglesias Jiménez y Pérez García (1992)
Cah/Caf	> 1,6	Iglesias Jiménez y Pérez García (1992)
Índice de germinación	> 50	Zucconi y col. (1981)
CCC (meq/100g MO)	> 60	Haranda e Inoko (1980)

Realizado por: Basantes Cristian, 2018.

Fuente: (Meseguer, 2016, p. 47). RH: Relacion de humificación; IH: Índice de humificación; Pah: Porcentaje de humificación; Cah/Caf: Relación de polimerización

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLOGICO

2.1. Zona de estudio

La presente investigación se realizó en:

- FINCA AGROPECUARIA “LA INMACULADA”. GUANO
- Laboratorio de Biotecnología, Química Analítica, Química Industrial y Operaciones unitarias de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.
- Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente de la universidad Miguel Hernández de Elche.

2.2. Diseño Experimental

2.2.1. Tipo de la investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental ya que se realizará tres pilas con diferentes tipos de estiércol animal, con la finalidad de realizar una comparación de la calidad de los compost en función del tipo de estiércol, el mismo que se resolverá con ANOVA de 2 factores.

2.2.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis de la investigación corresponde a la fracción representativa de los residuos orgánicos vegetales provenientes de la finca agropecuaria “La Inmaculada”, debido a que la investigación se basó en tratar los residuos vegetales a través del co-compostaje generando un abono orgánico, solucionando el problema que representa la generación y tratamiento inadecuado

de los residuos generados en la finca. La unidad experimental de la investigación fue 1000kg correspondiente a 3 tratamientos.

2.2.3. Población de estudio

La población de estudio de la presente investigación fue los pobladores de la finca agropecuaria “La Inmaculada”.

2.2.3.1. Tamaño de la muestra

No se calcula el tamaño de la muestra, ya que se trabajará con todas las muestras obtenidas durante el desarrollo del experimento, considerando un total de 7 muestras por unidad experimental, con un total de 21 muestras durante el compostaje. Todas las muestras serán tomadas por triplicado para el respectivo análisis de laboratorio.

2.2.3.2. Selección de la muestra

El método utilizado para la recolección de las muestras fue el método del cuarteo tomando 7 sub-muestras de diferentes partes de las unidades experimentales, para al final tomar una sola muestra representativa de aproximadamente 500g para su respectivo análisis en el laboratorio.

2.2.4. Técnicas de Recolección de Datos

Para la recolección de datos se realizó lo siguiente:

- Caracterización inicial de los residuos orgánicos
- Mediciones diarias de temperatura, % de humedad, y % de oxígeno de la pila.
- Muestreo durante el proceso de compostaje.
- Análisis de laboratorio durante el proceso de compostaje.
- Registro y tabulación de los resultados.
- Realizar análisis estadísticos (ANOVA de 2 factores y test t- de student).

2.2.5. Hipótesis e identificación de variables

2.2.5.1. Variables

➤ Variable dependiente

Calidad del compost en función del tipo de estiércol

➤ Variable independiente

- Propiedades físico químicas
- Propiedades físicas
- Propiedades químicas
- Propiedades biológicas

2.2.5.2. Hipótesis

La calidad del compost proveniente del proceso de co-compostaje de los residuos vegetales en la finca agropecuaria “La Inmaculada” depende del tipo de estiércol y del sistema de compostaje utilizado.

2.2.6. Diseño experimental

2.2.6.1. Tipo de diseño

El diseño experimental utilizado en esta investigación fue un diseño completamente al azar que se resuelve con ANOVA de 2 factores. Por lo que esta investigación es experimental, su objetivo principal es determinar la calidad del compost obtenido a través de la determinación de diferentes técnicas de análisis de naturaleza experimental, a la vez que establecer el efecto sobre la calidad del abono en función del tipo de estiércol utilizado y el tipo de sistema de compostaje.

Se elaboraron tres pilas de compostaje de una tonelada cada una utilizando el método de pilas windrow con dimensiones de tres metros de base por dos metros de altura y 2 metros de ancho. Considerando 3 tipos de mezclas de residuos a compostar: sólidos orgánicos vegetales + estiércol de cuy, sólidos orgánicos vegetales + estiércol de vaca y sólidos orgánicos vegetales + gallinaza,

con proporciones de 76% de residuos de origen vegetal y 24% de residuos de origen animal. Se deberá controlar constantemente la temperatura, el porcentaje de humedad, y el porcentaje de aireación del sistema durante el proceso de compostaje. Al finalizar el proceso de compostaje se deberá valorizar la calidad del abono obtenido en base a sus características físico-químicas, químicas, biológicas y microbiológicas, con el fin de evaluar su potencial uso como enmiendas de suelo.

2.2.7. Materiales, equipos utilizados en la elaboración y monitoreo de las pilas

➤ *Materia prima*

- Desechos vegetales (obtenidos de la finca agropecuaria “LA INMACULADA”)
- Abono animal (estiércol de cuy, vaca y gallinaza)

➤ *2.2.7.2. Equipos*

- Balanza
- Termohigrómetro
- Termómetro de punción
- Medidor de Humedad y pH
- Rociador para agua

➤ *2.2.7.3. Materiales*

- Rastrillos
- Machetes
- Palas
- Lonas
- Botas de caucho
- Plásticos para invernaderos
- Fundas ziploc

➤ *Sustancias*

- Agua

2.3. Técnicas

2.3.1. Levantamiento de información

Tabla 1-2. Levantamiento de información de producción, residuos generados y tratamiento de los residuos en la finca agropecuaria “LA INMACULADA”

Especie	Origen	Tiempo de cosecha	Producción (kg/año)	Residuo (kg/año)	Tratamiento
Maíz	Finca la Inmaculada	Cada 6 meses/2 veces al año	3000	1000	Se pica y se entierra en el mismo suelo
Higo	Finca la Inmaculada	Cada 2 meses/durante 6 meses	500	200	Se entierra en el mismo suelo
Tocte	Finca la Inmaculada	Una vez al año	2100	790	Se incinera
Limón	Finca la Inmaculada	Cada mes días/durante todo el año	600	50	Se incinera
Zambo	Finca la Inmaculada	Cada 2 mes/durante todo el año	120 unidades/año	1000	Se incinera
Jícama	Finca la Inmaculada	Cada 4 meses/ 3 veces al año	1200	300	Se incinera
Papas	Finca la Inmaculada	Cada 4 meses/ 3 veces al año	1000	300	Se dispone en un basurero
Guabas	Finca la Inmaculada	Cada 2 meses/ durante 6 meses	500	200	Se incinera
Maleza	Finca la Inmaculada	Cada 6 meses	-----	350	Se incinera
Poda	Finca la Inmaculada	Una vez al año	-----	1500	Se incinera
Durazno	Finca la Inmaculada	Una vez al año	300	100	Se incinera
Capulí	Finca la Inmaculada	Una vez al año	600	200	Se incinera
Estiércol de vaca	Ganado Jersey “La Virginia”	Cada día	30 vacas	900	Se coloca directamente sobre el suelo como abono
Estiércol de cuy	Criadero particular	Cada 7 días	80 cuyes	50	Se coloca directamente sobre el suelo como abono
Estiércol de Gallina	Jardín del Valle	Cada 7 días	30 aves	32	Se coloca directamente sobre el suelo como abono

Realizado por: Basantes Cristian, 2017

Según la información recolectada en la finca agropecuaria “LA INMACULADA” se generan al año aproximadamente 6 toneladas de residuos de origen vegetal. En cuanto a los residuos de origen animal, se producen 900 kg de estiércol de vaca al día, mientras que para el estiércol de cuy y gallina se produce 50 y 32 kg a la semana respectivamente.



Fotografía 1-2. Incineración de Residuos

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

2.3.2. Toma de muestra para análisis inicial

Recolectado los residuos vegetales, estiércol de gallinaza, cuy y vaca se procedió a tomar una muestra de cada residuo a través de método de cuarteo hasta obtener una muestra significativa de 2 kilogramos para su análisis inicial en el laboratorio.



Fotografía 2-2. Muestra de estiércol de vaca

Fuente: Basantes Cristian, 2017.



Fotografía 3-2. Toma de muestra de residuos vegetales

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

Tabla 2-2. Parámetros analizados en los sustratos a compostar "FINCA AGROPECUARIA LA INMACULADA"

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO & QUÍMICO		
Parámetros	Método/Norma	Unidad
Nitrógeno Total	Kjeldhal	%
Carbono Orgánico Total	Oxidación Humeda / Walkley & Black	%
Humedad	Gravimetría	%
Nitratos	Espectrofotométrico	mg/kg
Sulfatos	Turbidímetro	mg/kg
Cloruros	Volumétrico	mg/kg
Fosforo	Espectrofotometría	mg/kg
Níquel	EPA 3051 / 6010 B	mg/kg
Cromo	EPA 3051 / 6010 B	mg/kg
Cadmio	EPA 3051 / 6010 B	mg/kg
Plomo	EPA 3051 / 6010 B	mg/kg
Potasio	EPA 3051 / 6010 B	mg/kg
Calcio	EPA 3051 / 6010 B	mg/kg
Hierro	EPA 3051 / 6010 B	mg/kg
Cobre	EPA 3051 / 6010 B	mg/kg
Manganeso	EPA 3051 / 6010 B	mg/kg
Zinc	EPA 3051 / 6010 B	mg/kg
Sodio	EPA 3051 / 6010 B	mg/kg

Realizado por: Basantes Cristian, 2018.

Fuente: CESTTA, 2017

2.3.3. Elaboración de las pilas de co-compostaje

Realizados los análisis iniciales de carbono orgánico total, nitrógeno total y porcentaje de humedad de la materia orgánica a utilizar se procedió a elaborar las pilas de compostaje tomando en cuenta la relación C/N calculada; colocando 76% de residuos vegetales y 24% de estiércol de gallinaza, cuy y vaca respectivamente. Iniciando la etapa biooxidativa del proceso de compostaje.

Tabla 3-2. Ensayos en estudio

Sistema	Códigos	Descripción
Windrow	CP1	Residuos orgánicos vegetales (760kg) + gallinaza (240 kg)
	CP2	Residuos orgánicos vegetales (760kg) + estiércol de cuy (240 kg)
	CP3	Residuos orgánicos vegetales (760kg) + estiércol de vaca (240 kg)

Realizado por: Basantes Cristian, 2017.

Materiales

Los materiales que se utilizaron para la elaboración de las pilas fueron los siguientes:

- Rastrillos
- Machetes
- Palas
- Lonas
- Botas de caucho
- Mascarillas
- Flexómetro
- Mandil
- Guantes de caucho
- Mascarillas

Procedimiento

Considerando los tres tipos de mezclas de residuos a compostar elaboramos las pilas de compostaje con dimensiones de tres metros de base por dos metros de altura y 2 metros de ancho. Se recolectó 760 kg de residuos vegetales (los cuales se los pica hasta un tamaño de 5cm de diámetro) y 240 kg de estiércol.

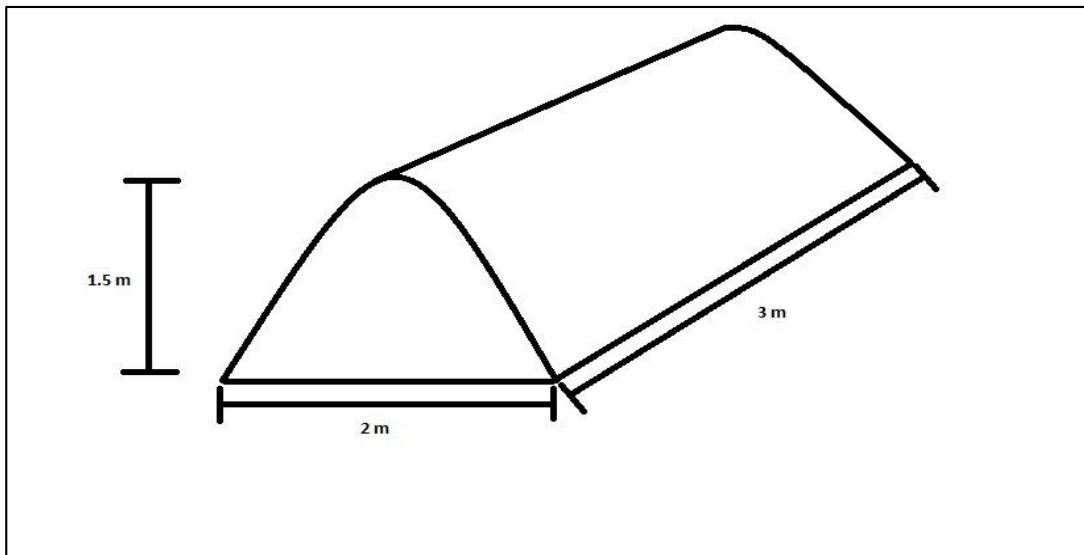


Figura 1-2. Dimensiones de la pila de compostaje

Fuente: Basantes Cristian, 2017.



Fotografía 4-2. Recolección y Picado de residuos vegetales

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

Se colocó el material a compostar sobre el terreno por capas intercaladas de residuos orgánicos vegetales con el estiércol respectivo.

1. Se colocó como base dos capas de residuos orgánicos vegetales.

2. Posteriormente una capa de estiércol cubriendo la capa anterior, de esta manera intercalando hasta acabar con toda la materia prima a utilizar con el objetivo de tener una mezcla homogénea en la pila de compostaje.



Fotografía 5-2. Construcción de la pila de compostaje

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

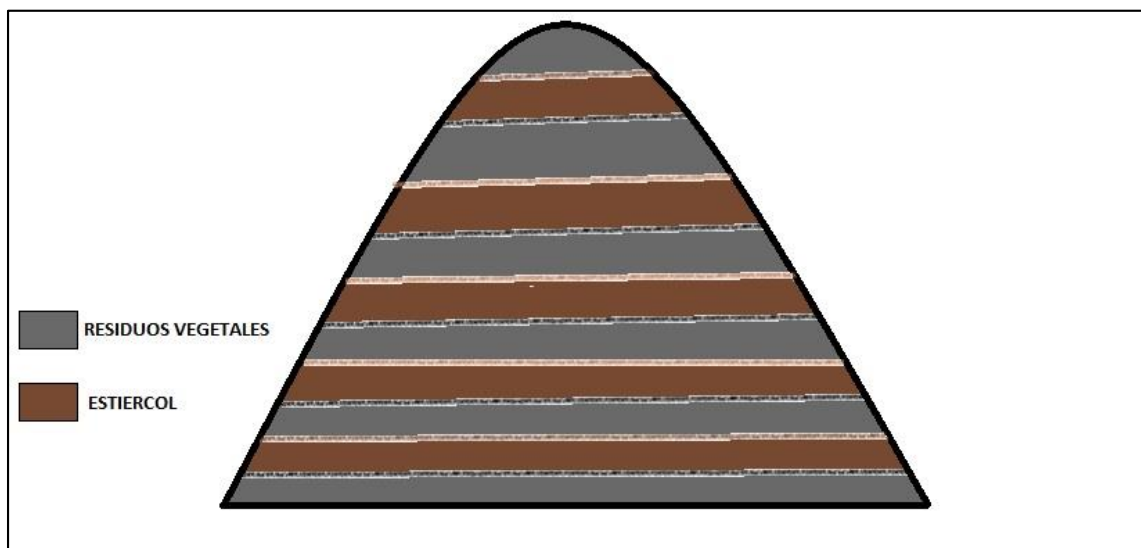


Figura 2-2. Composición de la pila de compost

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

Nota: El procedimiento de armado es igual para todas las pilas

Elaboradas las pilas de compostaje se controló diariamente la temperatura, pH, humedad, temperatura ambiental y humedad ambiental.

2.3.3.1. Riego de la pila

Armada la pila se realizó inmediatamente el primer riego para mantener el material compostado con una humedad entre el 40 y 60%. Los riegos a lo largo del proceso de compostaje se lo realizo de acuerdo a la necesidad de humedad siendo menos frecuentes en las primeras semanas.

Materiales

Los materiales que se utilizaron para el riego de las pilas fueron los siguientes:

- Manguera
- Rociador de agua

Procedimiento

- Se rego la pila de compostaje en forma homogénea, garantizando una humedad general.



Fotografía 6-2. Riego de agua

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

2.3.3.2. Control de temperatura, temperatura ambiental, humedad, humedad relativa y pH

Se controlaron diariamente la temperatura, humedad y pH que son los parámetros indicadores de las etapas del compostaje.

Materiales:

Los materiales que se utilizaron para el control de control de temperatura, temperatura ambiental, humedad, humedad relativa y pH de las pilas fueron los siguientes:

- Termohigrómetro

- Termómetro de punción
- Medidor de pH y Humedad

Procedimiento:

- Con el termómetro de punción se tomó la temperatura en 5 puntos diferentes de la pila para sacar un promedio.
- La humedad y pH se realizó con un medidor de parámetros para suelos en 5 puntos diferentes de la pila y se sacó un promedio.
- Se anotó los datos y se los reporto diariamente en una hoja de Excel para seguir el proceso de compostaje.



Fotografía 7-2. Monitoreo diario de temperatura, humedad y pH

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

2.3.3.4. Volteo de las pilas

El volteo se realizó dependiendo de la temperatura en la que se encuentre la pila, si la misma se encontraba entre los 40 y 35 °C se procede a realizar el volteo asegurando que exista una mezcla homogénea para una descomposición completa; generalmente cada volteo se los realizaron cada 15 días tomando una muestra de 2kg para su análisis de laboratorio.

Materiales:

Los materiales que se utilizaron para el volteo de las pilas fueron los siguientes:

- Rastrillos

- Mascarillas
- Plásticos para invernaderos
- Guantes
- Palas

Procedimiento

- Con la ayuda de un rastrillo y una pala se volteó la pila mezclándola para homogenizar todo el material teniendo en cuenta en colocar el material externo en la parte interna para ayudar a la degradación
- Se tomó una muestra de la pila de aproximadamente dos kilogramos para su análisis en el laboratorio.
- Se ubicó la pila en su lugar inicial con la ayuda de una pala.



Fotografía 8-2. Volteo de la pila

Fuente: Basantes Cristian, 2017.



Fotografía 9-2. Toma de muestra durante el volteo

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

2.3.3.5. Inicio de etapa de maduración

Al finalizar la etapa Biooxidativa se realizó un volteo de la pila y la coloco en forma cuadrangular a una altura de 50cm; posteriormente se realizó monitoreos diarios de humedad y pH; si es necesario se rego para mantener una humedad entre 40 a 60% durante 2 meses.



Fotografía 10-2. Inicio etapa de maduración

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

2.3.3.6. Obtención de compost

Finalizado 2 meses de la etapa de maduración se volteó la pila y se tomó una muestra significativa que sería el compost final, el cual se lo analizó posteriormente en el laboratorio para valorizar la calidad del abono obtenido en base a sus características físico-químicas, químicas, biológicas y microbiológicas, con el fin de evaluar su potencial uso como enmiendas de suelo.

2.3.4. Análisis de las características físico-químicas, químicas, biológicas del proceso de compostaje

Tabla 4-2. Análisis del contenido de carbono orgánico total y nitrógeno en las muestras obtenidas a lo largo del proceso

Parámetros	Método/Norma	Unidad
Nitrógeno Total	Kjeldhal	%
Carbono Orgánico Total	Oxidación Humeda / Walkley & Black	%

Realizado por: Basantes Cristian, 2018.

Fuente: CESTTA, 2018

Los siguientes parámetros se analizaron en los laboratorios de Calidad de Agua y Biotecnología.

Tabla 5-2. Parámetros analizados en laboratorios de la ESPOCH

Parámetros	Método/Norma	Unidad
%OM	Gravimétrico	%
pH	Potenciómetro	unidades
EC (ds/m)	Potenciómetro	(ds/m)
Cloruros	Volumétrico	mg/kg
Nitratos	Colorimétrico	mg/kg
Sulfatos	Colorimétrico	mg/kg
Pruebas hidráulicas	Gravimétrico	%

Realizado por: Basantes Cristian, 2018.

Tabla 6-2. Parámetros analizados en laboratorios de la UMH

Parámetros	Método/Norma	Unidad
Polifenoles	Espectrofotometría	g/Kg
GI	Método de Zucconi	%
Fósforo	Espectrofotometría	g/Kg
Sodio	Espectrofotometría	g/Kg
Potasio	Espectrofotometría	g/Kg
Hierro	Espectrofotometría	mg/Kg
Cobre	Espectrofotometría	mg/Kg
Manganeso	Espectrofotometría	mg/Kg
Zinc	Espectrofotometría	mg/Kg
Níquel	Espectrofotometría	mg/Kg

Realizado por: Basantes Cristian, 2018.

2.3.4.1. Determinación de la humedad

Materiales

Los materiales que se utilizaron para determinar la humedad fueron los siguientes:

- Estufa
- Balanza analítica
- Bandejas de Aluminio
- Mascarillas
- Guantes de látex
- Fundas ziploc
- Calculadora

Procedimiento

- Se colocó la muestra recolectada (2kg) en bandejas previamente etiquetadas.
- Se puso la muestra en la estufa a 75 °C
- Cada 7 horas, dos veces al día se pesó la muestra hasta que el peso sea constante.



Fotografía 11-2. Pesaje de la muestra húmeda

Fuente: Basantes Cristian, 2017.



Fotografía 12-2. Ingreso de la muestra a la estufa

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

Cálculos

$$\%H = \frac{mi - mf}{mi} \times 100$$

(Ec. 1-2.)

Donde:

mi: Masa inicial

mf: Masa final

%H: Porcentaje de humedad

Tratamiento: CP1-01

mi: 2 kg

mf: 0,67 kg

mbandeja: 0,070kg

$$\%H = \frac{2\text{kg} - 0,67}{100} \times 100 = 66,5$$

2.3.4.2. Molida de la muestra

Es necesario que el material a analizar sea de partícula fina para obtener resultados correctos, por lo cual se lo trituro.

Materiales

Los materiales que se utilizaron para moler las muestras fueron los siguientes:

- Molino
- Tamiz
- Fundas Zipoc
- Adhesivos
- Rotulador

Procedimiento

- Posterior al secado de la muestra se procedió a triturar en un molino.
- Almacenamos el material en fundas Zipoc previamente etiquetadas.
- Eliminamos el aire en exceso y las sellamos.
- Las conservamos hasta su análisis de laboratorio.



Fotografía 13-2. Molida de muestras

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

2.3.4.3. Preparación de la muestra para análisis

Materiales

Los materiales que se utilizaron para preparar las muestras fueron los siguientes:

- Estufa
- Mascarillas
- Guantes de látex
- Vasos de precipitación
- Frascos estériles(orina)
- Desecador
- Rotulador

Procedimiento

- Se colocó las muestras molidas en vasos de precipitación previamente etiquetados, se secaron en estufa a 105°C por 24 horas, posteriormente se pasaron al desecador por 30 minutos hasta que se enfríen.

- Finalmente se almacenó en un recipiente estéril de muestras de orina etiquetados y se guardaron hasta su análisis.



Fotografía 14-2. Secado a 105 °C

Fuente: Basantes Cristian, 2017.



Fotografía 15-2. Almacenado en recipientes estériles

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

2.3.4.4. *Determinación del pH*

Materiales

Los materiales que se utilizaron para determinar el pH fueron los siguientes:

- Balanza analítica
- pHmetro

- Agitador shaker
- Centrifuga
- Mascarillas
- Pipetas volumétricas
- Probetas
- Espátula
- Vaso de precipitación
- Piceta
- Tubos falcon
- Guantes de látex

Reactivos

- Agua destilada

Procedimiento

- Se pesaron 3 gramos de la muestra y se colocó en un tubo falcón, posteriormente se adicionó 30 ml de agua destilada.
- Se colocó en el agitador Shequer por 30 minutos y se dejó sedimentar.
- Finalmente se midió el pH en el líquido sobrenadante tres veces.



Fotografía 16-2. Determinación del pH

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

2.3.4.5. Determinación de la conductividad eléctrica (CE)

Materiales

Los materiales que se utilizaron para determinar la conductividad eléctrica fueron los siguientes:

- Balanza analítica
- Conductímetro
- Centrífuga
- Agitador shaker
- Pipetas volumétricas
- Probetas
- Espátula
- Vasos de precipitación
- Vasos desechables
- Papel filtro o filtro con media nylon
- Picetas
- Tubos falcón
- Guantes de látex
- Agua destilada

Procedimiento

- Medido el pH se colocó el tubo falcón en la centrífuga por 4 minutos a 1000 rpm
- Se filtró el líquido en el tubo falcón y se midió la conductividad.



Fotografía 17-2. Determinación de la conductividad eléctrica

Fuente: Basantes Cristian, 2017.

2.3.4.6. Determinación del porcentaje de materia orgánica

Materiales

Los materiales que se utilizaron para determinar el porcentaje de materia orgánica fueron los siguientes:

- Mufla
- Balanza analítica
- Desecador
- Mascarillas
- Crisoles
- Espátula
- Guantes
- Pinzas para crisoles
- Rotulador (lápiz)

Procedimiento

- Se taró el crisol a 480 °C por 2 horas previamente etiquetados, posteriormente se colocó en el desecador por 30 minutos y se pesó el crisol vacío.
- Luego se añadió 3 gramos de la muestra anotando su el peso
- Se colocó el crisol en la mufla a 430 °C por 24 horas y se almacenó el crisol en el desecador por 30 minutos para que se enfríe y finalmente se pesó el crisol con la muestra calcinada.



Fotografía 18-2. Pesaje de crisol vacío y muestra

Fuente: Basantes Cristian, 2017.



Fotografía 19-2. Ingreso de muestras a la mufla

Fuente: Basantes Cristian, 2017.



Fotografía 20-2. Desecador

Fuente: Basantes Cristian, 2017.



Fotografía 21-2. Pasaje de muestra calcinada

Fuente: Basantes Cristian, 2017

Cálculo:

$$MO = \frac{[(\text{peso crisol vacío} + \text{muestra seca}) - (\text{peso crisol con muestra calcinada})]}{[(\text{peso crisol vacío} + \text{muestra seca}) - (\text{peso crisol vacío})]} * 100$$

(Ec. 2-2.)

Donde:

%MO= Porcentaje de materia orgánica

Tratamiento

- **CP1-01**

$$\%MO = \frac{[(33,6956 \text{ g} + 3,0047 \text{ g}) - (34,6316 \text{ g})]}{[(33,6956 \text{ g} + 3,0047 \text{ g}) - (3,0047 \text{ g})]} * 100$$

$$\%MO = 68,85$$

2.3.4.7. Determinación del índice de germinación

Materiales y Equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron para determinar el índice de germinación fueron los siguientes:

- Balanza analítica
- Incubadora
- Mascarillas
- Espátula
- Guantes
- Rotulador
- Cajas Petri
- Pinzas

- Pie de rey
- Papel filtro
- Kitazato
- Embudo buchner
- Recipientes estériles de 50ml
- Tubos falcón
- Pipeta automática de 1ml
- Semillas de berro
- Agua destilada
- Papel filtro de 0,45 micras

Procedimiento

- Se pesaron 2 gramos de muestra y se añadió 30 ml de agua destilada, se agitó y se dejó en reposo por 30 min.
- Se filtró la mezcla en un embudo buchner a través de papel filtro de 0,45 micras para análisis cuantitativo.
- Con la pipeta automática se tomó 1ml de muestra y se colocó sobre la caja Petri previamente rotulada que contiene 8 semillas de berro. Por cada muestra se trabajó con 10 cajas Petri. De la misma manera se preparó el blanco con 1 con agua destilada.
- Se envolvió las cajas Petri con papel aluminio para evitar que se sequen y se las colocó en la incubadora a 27,5 °C por 48 horas.
- Finalmente, pasado este tiempo se contó las semillas germinadas y se midió la longitud de la raíz con pie de rey.



Fotografía 22-2. Conteo y medición de semillas germinadas

Fuente: Basantes Cristian, 2018.

2.3.4.8. *Determinación de polifenoles solubles.*

Reactivos

Los reactivos que se utilizaron para la determinación de polifenoles solubles fueron los siguientes:

- Ácido gálico
- Reactivo Folin-Ciocalteu de fenoles (R.A)
- Carbonato sódico 20%

Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron para la determinación de polifenoles solubles fueron los siguientes:

- Balanza analítica
- Pipeta automática
- Gradillas
- Guantes látex
- Balón de aforación de 50ml
- Tubos falcón
- Viales de 10 ml
- Rotulador
- Tubos falcón
- Centrifuga
- Agitador mecánico
- Malla de fibra sintética
- Espectrofotómetro

Procedimiento

- Se pesaron 2 g del residuo seco y homogeneizado y se le añadió 40 mL de agua desionizada agitándolo durante 2 horas.

- Después de la agitación, se centrifugó a 3000 rpm 5 minutos. El extracto obtenido se empleó para la determinación de los polifenoles solubles.
- Curva patrón: Se pesó 1 g de ácido gálico y se llevan a 1 L con agua desionizada en matraz aforado. Esta disolución contiene 1000 ppm de ácido gálico. De esta disolución se tomó exactamente 6 mL y se llevó a 100 mL con agua desionizada. Esta disolución contiene 60 ppm de ácido gálico. En matraces aforados de 50 mL se tomó: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 10 mL de la disolución anterior y se le adiciono 2,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu.
- Se agitó para homogeneizar y después de 3 minutos, se añadió 5 mL de una solución acuosa de carbonato sódico al 20 %, se movió para eliminar las burbujas generadas y se enraso con agua desionizada.
- Estas disoluciones contienen: 0; 1,2; 2,4; 3,6; 4,8; 6; 8,4 y 12 ppm de ácido gálico.
- Determinación de fenoles: Se tomó 0,25 mL de disolución acuosa de polifenoles y 2,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu, se agito y después de 3 minutos se añadió 5 mL de Na₂CO₃ 20 %. Se llevó el volumen a 50 mL con agua desionizada, se mezcló todo bien y después de 1 hora de reposo se midió la absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 725 nm, calculándose la concentración de polifenoles respecto a la recta patrón.



Fotografía 23-2.

Determinación de Polifenoles
Solubles

Fuente: Basantes Cristian, 2018.



Fotografía 24-2. Medición de la absorbancia en espectrofotómetro

Fuente: Basantes Cristian, 2018.

2.3.4.9. *Determinación de micro y macronutrientes y metales pesados*

Se realizó una digestión nítrico-perclórica de las muestras según el método recomendado por Abrisqueta y Romero (1969).

Reactivos

Los reactivos que se utilizaron para la digestión nítrico-perclórica de las muestras fueron los siguientes:

- Ácido nítrico concentrado ($d = 1,33$)
- Ácido perclórico 60%
- Ácido clorhídrico 0,5 N

Los materiales y equipos que se utilizaron para la digestión nítrico-perclórica de las muestras fueron los siguientes:

- Tubos de digestión de doble enrase de 50ml
- Balanza analítica
- Pipeta automática
- Gradillas
- Guantes látex
- Campana de gases
- Balón de aforación de 50ml

- Embudos de vidrio
- Tubos falcón
- Papel lavado a los ácidos

Procedimiento

- Se pesaron 5 gramos de muestra y se anotó el peso.
- Se añadió 6 ml de mezcla nítrico-perclórica 2:1 y se dejó macerar toda la noche.
- Posteriormente se calentó a 150 °C durante una hora y a 210 °C durante dos horas en el bloque digestor hasta que el color empiece aclarar; transcurrido este tiempo las paredes y fondo del tubo de digestión se lavaron con HCl 0,5 N hasta llevar el volumen a 50 ml en un balón de aforación.
- Se filtró con papel lavado a los ácidos y se almaceno la solución en tubos falcón.
- Finalmente se dejó la solución en refrigeración para el análisis de hierro, cobre, manganeso, cinc, níquel, cromo, cadmio y plomo. Estos elementos se midieron en disoluciones adecuadas del extracto de mineralización, mediante un espectrómetro de masas atómicas de plasma de acoplamiento inductivo.
- El sodio y potasio se midieron en un fotómetro de llama en disoluciones adecuadas, mientras que el fosforo total se midió en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 460 nm.



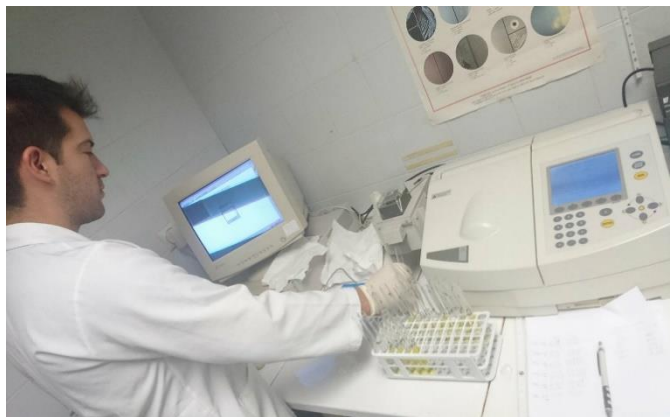
Fotografía 25-2. Digestión de las muestras

Fuente: Basantes Cristian, 2018.



Fotografía 26-2. Análisis de Sodio y Potasio en fotómetro de llama

Fuente: Basantes Cristian, 2018.



Fotografía 27-2. Análisis de fósforo total por espectrometría.

Fuente: Basantes Cristian, 2018.

2.3.4.10 Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico

Materiales y Equipos

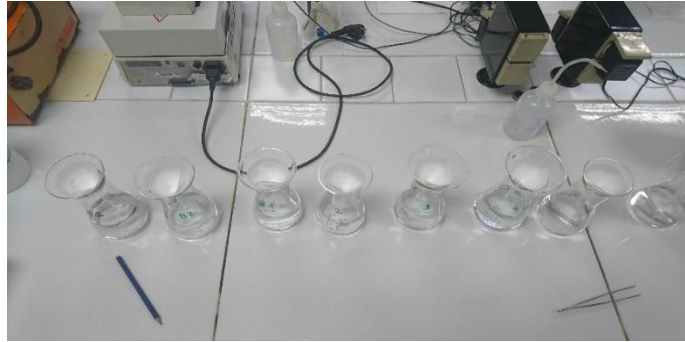
Los materiales y equipos que se utilizaron para para determinar la CCC son los siguientes:

- Papel filtro
- Embudos

- Erlenmeyer
- Varilla de agitación
- Balanza analítica
- Crisoles
- Vasos de precipitación
- Filtro de membrana celulósica de 0.45 um

Procedimiento

- Se pesó 1 gramo de la muestra con precisión de 0,0001g y 4 gramos de carbón activo.
- Se colocó en el embudo buckner un filtro de membrana celulósica de 0.45 um de diámetro de poro y se procedió a colocar el carbón activo intercalando con la muestra.
- Después se añadió 25ml de agua desionizada libre de CO₂ dejando reposar por 2 horas, se repitió la operación 3 veces más para eliminar los sulfatos presentes en la muestra.
- Posteriormente se añadieron 25 ml de reactivo de Mehlich previamente preparado, y se dejó percolar por 30 minutos, se recogió en un kitosato y se le agregó 5 ml de HCL 1:1 para evitar la carbonatación del barrio de los reactivos; a continuación, se añadió 25 ml de reactivo B de Mehlich y se percloro de la misma manera que con el reactivo A y se recogió en el mismo Kitosato.
- Se lavó dos veces con 25 ml de agua y una tercera con 75ml y se recogio el filtrado en el mismo kitosato. De la misma manera se preparó un blanco.
- Se recogió el filtrado en un vaso de precipitación y se calentó en una plancha; cuando estuvieron próximos a ebullición se añadió 15ml de (NH₄)₂SO₄, para precipitar el bario como BaSO₄.
- Se filtraron los precipitados y se lavó con agua acidificada con HCL 1:1. Finalmente el precipitado se incinero y calcino a 800 °C por 30 minutos
- La CCC (meq/100g de materia orgánica) se calculó de la diferencia de pesos del BaSO₄ final menos inicial.



Fotografía 28-2. Lavado del precipitado con HCL 1:1

Fuente: Basantes Cristian, 2018.

Cálculo:

$$CCC(\text{meq}/100\text{g de materia orgánica}) = \frac{[(P2 - P1) - (P4 - P3)] * 85690}{P \times \%MO}$$

(Ec. 3-2.)

Donde:

P2 = peso del crisol + muestra calcinada

P1 = peso del crisol vacío

P4 = peso del crisol + muestra calcinada (blanco)

P3 = peso del crisol vacío (blanco)

P = peso de la muestra

% MO = Porcentaje de materia orgánica (calculado)

Ejemplo

Calculo de CCC para la muestra CP1-07

P2 = 25,6406 g

P1 = 24,8244

P4 = 23,1779

$$P3 = 22,3087$$

$$P = 1,0006$$

$$\% \text{ MO} = 41,7$$

$$CCC = \frac{[(25,6406g - 24,8244g) - (23,1779g - 22,3087)] * 85690}{1,0006 \times 41,7\%}$$

$$CCC(\text{meq/g100 de materia orgánica}) = 109$$

2.3.4.11. Determinación de Iones

Materiales y Equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron para preparar las disoluciones son los siguientes:

- Papel filtro
- Embudos
- Erlenmeyer
- Varilla de agitación
- Balanza analítica
- Vasos de precipitación

Procedimiento

- Se pesaron 5g de muestra y se la disolvió en 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitación previamente etiquetado dejando que precipite 24 horas, transcurrido este tiempo se filtró la solución (si la solución del filtrado es muy colorida (muy concentrada) se disuelve la muestra en 10ml hasta 100ml en un balón de aforación.
- Finalmente se colocó la solución en un vaso de precipitación para su respectivo análisis.



Fotografía 29-2. Pesaje de muestra para determinación de iones

Fuente: Basantes Cristian, 2018.

2.3.4.12. Determinación de Cloruros

Reactivos

Los reactivos que se utilizaron para la determinación de cloruros fueron los siguientes:

- Dicromato de Potasio
- Nitrato de Plata

Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron para determinar cloruros fueron los siguientes:

- Balanza analítica
- Vasos de precipitación
- Espátula
- Guantes
- Rotulador
- Pipetas volumétricas
- Balones de aforación de 100 ml
- Probetas

- Pipetas
- Pera de succión
- Piseta

Procedimiento

- Con una pipeta volumétrica se cogió 25 ml de la solución y se colocó en un Erlenmeyer.
- Se agregó 6 gotas del indicador de K_2CrO_4 en la solución y se tituló con $AgNO_3$ hasta el viraje de amarillo hasta un color rojo ladrillo.



Fotografía 30-2. Titulación con nitrato de plata

Fuente: Basantes Cristian, 2018.

Cálculo:

Paso 1:

$$Cl^- \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(X * N * eq * 1000 L)}{25ml}$$

(Ec. 4-2.)

Donde:

X= Volumen de titulación

N= Normalidad del nitrato de plata

Eq= Equivalente químico de Cloro

25 ml = volumen de muestra a titular

Paso 2:

$$Cl^- \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(X * FD)}{1000}$$

Donde:

X= Resultado del paso 1

FD = factor de dilución

Ejemplo

Calculo de cloruros para la muestra CP1-07

Paso 1:

$$Cl^- \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{\left(1ml * \frac{0,01eq}{L} * \frac{35,45g}{eq} * 1000 L \right)}{25ml}$$

$$Cl^- \left(\frac{g}{Kg} \right) = \frac{(14,18g/L * 800L)}{1000}$$

$$Cl^- \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(11,344g/L * 1000g)}{5g}$$

$$Cl^- \left(\frac{mg}{Kg} \right) = 2268,9 mg/kg$$

2.3.4.13. Determinación de Sulfatos

Reactivos

Los reactivos que se utilizaron para la determinación de sulfatos fueron los siguientes:

- Cloruro de Bario
- Solución acondicionadora para Sulfatos

Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron para determinar sulfatos fueron los siguientes:

- Balanza analítica
- Vasos de precipitación
- Espátula
- Mascarillas
- Guantes
- Rotulador
- Pipetas volumétricas
- Balones de aforación de 100 ml
- Probetas
- Pipetas
- Pera de succión
- Piseta
- Papel aluminio

Procedimiento

- Se colocó la solución diluida en un balón de aforación hasta la mitad, se agregó 2ml y 1g de BaCl_2 y se aforo hasta en el balón de 100 ml con la misma solución
- Se preparó la una solución estándar colocando 5 ml de solución madre de sulfatos en un balón de aforación de 100ml, posteriormente se agregó agua destilada hasta la mitad aproximadamente.
- Se agregaron 2ml de solución acondicionadora y un gramo de BaCl_2

- Finalmente se aforo con agua destilada.
- Preparadas las soluciones se midió la absorbancia en el espectrofotómetro con longitud de onda de 410 nm



Fotografía 31-2. Medición de la absorbancia en el fotómetro

Fuente: Basantes Cristian, 2018.

Cálculo:

Paso 1:

$$SO_4 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = Ab * FD$$

(Ec. 5-2.)

Donde:

Ab= Resultado de absorbancia

FD = Factor de dilución de la solución madre dado por el fotómetro.

Paso 2:

$$SO_4 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(X * 100)}{1000}$$

Donde:

X = Resultado del paso 1.

100 = Factor de dilución

Ejemplo

Tratamiento:

Calculo de sulfatos para la muestra CP1-07

$$SO_4 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = 0,073 * 117$$

$$SO_4 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(8,541 \text{ mg/L} * 100L)}{1000}$$

$$SO_4 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(0,8541 \text{ mg} * 1000g)}{5g}$$

$$SO_4 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = 170,82 \text{ mg/Kg}$$

2.3.4.14. Determinación de Nitratos

Materiales

Los materiales que se utilizaron para determinar nitratos fueron los siguientes:

- Balanza analítica
- Vasos de precipitación
- Espátula
- Mascarillas
- Guantes

- Rotulador
- Pipetas volumétricas
- Balones de aforación de 100 ml
- Probetas
- Pipetas
- Pera de succión
- Piseta

Procedimiento

- Se llevaron 5ml de solución a 100ml en un balón de aforación.
- Posteriormente se tomaron exactamente 10 ml y se colocó en un vaso de precipitación.
- Se agregó el reactivo HACH y se lo disolvió.
- Finalmente colocamos en el espectrofotómetro la muestra a analizar y medimos la concentración en mg/l.



Fotografía 32-2. Medición de la concentración de nitratos en el fotómetro

Fuente: Basantes Cristian, 2018.

Cálculo:

Paso 1:

$$NO_3 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = (X * FD)$$

(Ec. 6-2.)

Donde:

X= Resultado de absorbancia

FD = Factor de dilución

Ejemplo

Tratamiento:

Cálculo de los nitratos para la muestra CP1-07

$$NO_3 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = (5mg/L * 20)$$

$$NO_3 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(100mg * 1000g)}{5g}$$

$$NO_3 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = 20000 mg/Kg$$

2.3.4.15. Determinación de la densidad aparente

La densidad aparente (DA) se determinó según el método propuesto por De Boot et al. (1974), basado en el cálculo del peso seco del sustrato contenido en un cilindro con volumen conocido, tras haber sido sometido a una succión de 10cm de columna de agua (c.a.). Para ello se utilizaron anillas de acero inoxidable de 3 a 4 cm y 82 mm de diámetro y tela de nylon.

Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron para determinar la densidad aparente fueron los siguientes:

- Balanza analítica
- Mascarillas
- Guantes
- Rotulador

- Cilindros de acero inoxidable
- Tela de nylon
- Ligas
- Estufa

Procedimiento

- Se cubrió el un extremo de la anilla de 4 cm con tela de nylon y se determinó el peso del conjunto (A) y al otro extremo se acoplo la anilla de 3 cm.
- Después se introdujo la muestra de compost a caracterizar previamente humedecida, sin apelmazar ni apretar, hasta 1 mm del borde superior.
- A continuación, el cilindro se lo coloco en un recipiente, al que se añadió agua 0,5 mm del borde superior y se dejó saturar por 48 horas.
- Transcurrido ese tiempo, y con el fin de someter la muestra a una tensión de 10 cm de c.a. el cilindro se lo coloco en un baño de arena por 48 horas.
- Posteriormente se retiró la anilla superior y se cortó con una espátula el material sobrante de la anilla inferior y se pesó el conjunto que serie el peso húmedo (B).
- Se introdujo el conjunto a la estufa a 105 °C hasta peso constante.
- Finalmente calculamos la densidad aparente mediante la siguiente ecuación

$$DA \left(\frac{g}{cm^3} \right) = [(B - A)/V] * [(100 - X)/100]$$

(Ec. 7-2.)



Fotografía 33-2.

Humectación de la muestra

Fuente: Basantes Cristian, 2018.



Fotografía 34-2. Baño de arena

Fuente: Basantes Cristian, 2018.



Fotografía 35-2.

Determinación de pesos

Fuente: Basantes Cristian, 2018.

Donde:

A= Peso del conjunto anilla + tela de nylon + liga (g)

B= Peso del conjunto anilla + sustrato húmedo (g)

C= Peso del conjunto anilla + sustrato seco (g)

V= Volumen de anilla (cm³)

X= Humedad del sustrato tras haber sido sometido a una succión de 10 cm de columna de agua, su valor se obtiene con la siguiente ecuación:

$$X(\%) = \frac{(B - C)}{(B - A)} * 100$$

(Ec. 8-2.)

Ejemplo

Cálculo de la densidad aparente para la muestra CP1-07

$$X(\%) = \frac{(316,200 - 201,210)}{(316,200 - 97,831)} * 100$$

$$X(\%) = 52,659$$

$$DA \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \left[\frac{(316,200 - 97,831)}{315,5426156} \right] * \left[\frac{100 - 52,659}{100} \right]$$

$$DA \left(\frac{g}{cm^3} \right) = 0,328$$

2.3.4.16. Determinación de la densidad aparente compactada

Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron para determinar la densidad aparente compactada fueron los siguientes:

- Balanza analítica
- Mascarillas
- Guantes
- Cilindros

Procedimiento

- Se pesó el cilindro vacío, anotando su peso
- A continuación, se llenó el cilindro con muestra de compost hasta el borde de mismo.
- Posteriormente se aplicó una compactación estática hasta que la altura de la muestra compactada sea constante.
- Finalmente se pesó el contenido del cilindro.



Fotografía 36-2. Determinación de la densidad compactada

Fuente: Basantes Cristian, 2018.

$$DAC\left(\frac{mg}{l}\right) = \frac{(P_c - P_v)}{(V_c)}$$

(Ec. 9-2.)

Donde:

Pc= peso del cilindro con muestra de compost presionado

Pv= peso del cilindro vacío

Vc= volumen del cilindro

Ejemplo

Cálculo de la densidad aparente compactada para la muestra CP1-07

$$DAC\left(\frac{mg}{l}\right) = \frac{(620,8 - 234,58)}{(985,40)}$$

$$DAC\left(\frac{mg}{l}\right) = 0,39$$

2.3.4.17. Determinación del espacio poroso total, capacidad de retención de agua, capacidad de aireación y contracción del volumen en el compost final.

➤ Espacio poroso total (EPT)

Se lo calculó a partir de los datos de densidad real (DR) y densidad aparente (DA), aplicando la ecuación siguiente ecuación:

$$ETP(\%) = \left(1 - \frac{DA}{DR}\right) * 100$$

(Ec. 10-2.)

Primero se determina la densidad real (DR) mediante la siguiente ecuación:

$$DR \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{(100)}{\frac{MO}{1,45} - \frac{100-MO}{2,65}}$$

(Ec. 11-2.)

Ejemplo

Cálculo del espacio poroso total para la muestra CP1-07

%MO de CP1-07 = 41,7

$$DR \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{(100)}{\frac{41,7}{1,45} - \frac{100-41,7}{2,65}}$$

$$DR \left(\frac{g}{cm^3} \right) = 1,970$$

$$ETP(\%) = \left(1 - \frac{0,328}{1,970} \right) * 100$$

$$ETP(\%) = 83,369$$

➤ Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó según la modificación de la metodología de *De Bodt et al., (1974)* propuesta por *Martínez, (1992)* utilizando la siguiente ecuación:

$$CRA \text{ (ml agua/sustrato)} = [(B - C)/V] * 1000$$

(Ec. 12-2.)

Ejemplo

Cálculo de la capacidad de retención de agua para la muestra CP1-07

$$\text{CRA (ml agua/sustrato)} = [(316,20 - 201,21)/315,54] * 1000$$

$$\text{CRA (ml agua/sustrato)} = 364,420$$

Donde:

V= Volumen de la anilla de 4 cm utilizada para la determinación de la densidad aparente

B= Peso del conjunto anilla + sustrato húmedo (g)

C= Peso del conjunto anilla + sustrato seco (g)

➤ Capacidad de aireación

Se calcula el contenido de volumen de aire presente en la muestra, después de haber aplicado una presión hidrostática de menos de 10 cm aplicando la ecuación siguiente:

$$\text{CA (\%)} = \text{ETP} - \frac{\text{CRA}}{10}$$

(Ec. 13-2.)

Dónde:

CA: Volumen de aire en porcentaje de volumen % (v/v) de muestra húmeda, para una presión hidrostática de menos de 10 cm.

EPT: Espacio poroso total (%)

CRA: Capacidad de retención de agua (ml de agua/100 ml sustrato).

Ejemplo

Cálculo de la capacidad de aireación para la muestra CP1-07

$$CA (\%) = 83,369 - \frac{364,420}{10}$$

$$CA (\%) = 46,927$$

➤ Contracción de volumen

Siguiendo la propuesta de *Martínez (1992)*, la contracción de volumen (C) se calcula a partir de la pérdida de volumen experimentada por el sustrato contenida en la anilla de 4 cm, tras sacarlo a 105 °C. Para ellos se utiliza la siguiente ecuación:

$$C (\%) = [(V - V_{ss})/V] * 100$$

(Ec. 14-2.)

Donde:

V: volumen de la anilla utilizada para la determinación de la densidad aparente.

V_{ss}: Volumen de sustrato contenido en la anilla tras secarlo a 105 °C. este se calcula a partir de la ecuación del volumen de un cilindro ($h\pi r^2$), donde r y h se obtienen como valor medio de las medidas del diámetro (dos) y de la altura (cuatro) realizadas en el sustrato seco contenido en la anilla.

$$C (\%) = [(315,54 - 236,716)/315,54] * 100$$

$$C (\%) = 24,981$$

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Localización de la experimentación

El presente trabajo de titulación se lo realizó en las instalaciones de la finca agropecuaria “LA INMACULADA” ubicada en el Cantón Guano perteneciente a la Provincia de Chimborazo, Parroquia la Inmaculada, en dónde se realizaron las pilas de compostaje para el tratamiento de los residuos generados por la finca para generar como producto final un abono orgánico; los análisis físicos, químicos y biológicos de las muestras de compost se los realizó en las instalaciones del Laboratorios de Biotecnología, Química Analítica, Química Instrumental, Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicado en las coordenadas 17M 158247.00 m Este 9816895.00 m Sur 2821 m s.n.m, perteneciente a la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Parroquia Lizarzaburu.

Parte de los análisis de laboratorio se los realizó en Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente de la universidad Miguel Hernández de Elche-España.

3.2. Lugar de Muestreo

El muestreo de los residuos orgánicos vegetales utilizados en el trabajo de titulación tuvo lugar en las instalaciones de la finca Agropecuaria “LA INMACULADA”, mientras que, para los residuos de gallinaza, estiércol de cuy y vaca tuvo lugar en: Jardín del Valle, Criadero particular y Ganado Jersey “La Virginia” respectivamente.

3.2.1. Caracterización de la materia prima a compostar

Tabla 1-3. Caracterización físico-química y química de los residuos

PARAMETROS	Gallinaza	Estiércol de cuy	Estiércol de vaca	Residuos vegetales
Corg (%)	28,36	48,75	35,64	36
NT (%)	2,44	2,62	2,62	2,31
Corg/NT	11,62	18,61	13,60	15,58
H(%)	41,06	50,44	84,38	77,07
Dry matter(%)	58,94	49,56	15,62	22,93
P(g/Kg)	8,36	5,80	9,26	3,7189
Na(g/Kg)	4,45	2,064	1,02	0,87
K(g/Kg)	12,21	34,24	10,10	29,60
Cr (mg/kg)	1,64	0	0	0
Mn (mg/kg)	167,03	40,06	150,62	67,40
Fe (mg/kg)	3001,70	559,55	2387,02	1129,71
Ni (mg/kg)	13,07	0,73	3,71	2,43
Cu (mg/kg)	38,53	9,11	23,70	10,35
Zn (mg/kg)	126,29	82,93	51,54	15,19
Se (mg/kg)	0,60	0,32	0,30	0,08
Cd (mg/kg)	0,13	0,045	0,06	0,04
Pb (mg/kg)	1,24	-0,71	0	0,69
Nitratos (mg/kg)	1558,82	3531,11	1109,72	2415,32
Sulfatos (mg/kg)	18,29	31,33	37,81	42,13
Cloruros (mg/kg)	6859	20054	19660	17695

Realizado por: Basantes Cristian, 2018.

Fuente: CESTTA, 2017

En la tabla 1-3 se describen la caracterización de los materiales iniciales utilizados para la elaboración de las pilas de compostaje. En la tabla se puede observar que los valores de C/N para los residuos vegetales y animales es muy variado, esto puede ser debido al porcentaje de Corg de cada residuo, decreciendo en el siguiente orden: gallinaza>estiércol de vaca> residuos vegetales>estiércol de cuy. En la mayoría de los casos la relación C/N sobrepaso el limite permisible C/N <12, resultados similares han sido reportados por otros investigadores (Gavilanes, 2016, p.134).

En los residuos de origen animal la concentración de los macronutrientes disminuyó en el siguiente orden; para la gallinaza fue K>P>Na>Nt, para el estiércol de cuy y de vaca fue K>P>Nt>Na y, mientras que en los residuos de origen vegetal el orden de la concentración de los macronutrientes fue K>P>Nt>Na. Tanto en los residuos de origen animal como vegetal el potasio fue el macronutriente con mayor concentración, resultados similares han sido reportados por otros investigadores (Gavilanes, 2016, p.135).

En los residuos de origen animal la concentración de micronutrientes disminuyó en el siguiente orden; para gallinaza y estiércol de vaca fue $Fe > Mn > Zn > Cu$ y para el estiércol de cuy fue $Fe > Zn > Mn > Cu$, mientras que en los residuos de origen vegetal el orden de la concentración de los micronutrientes fue igual al de gallinaza y estiércol de vaca. Siendo en todos los casos el hierro el micronutriente con mayor concentración, iguales resultados han sido reportados por otros investigadores (Gavilanes, 2016, p.135).

En la mayoría de los casos los residuos de origen animal especialmente las gallinazas presentaron mayores concentraciones de micro y macronutrientes que los residuos de origen vegetal.

Mientras que el residuo agroindustrial que mayor concentración de metales pesados presentó fue de origen animal refiriéndose a la gallinaza; sin embargo, el contenido de los metales pesados en todos los residuos se encuentra por debajo del límite permitido para compost por la (Comisión Europea, 2001).

Con respecto a los aniones solubles, el estiércol de cuy fue el residuo que presentó un mayor contenido de NO_3^- y Cl^- , mientras que los contenidos más altos de SO_4^{2-} fueron observados para el estiércol de vaca. En general los mayores contenidos de aniones fueron para los residuos de origen animal. Resultados parecidos fueron reportados en la investigación realizada por (Jara, 2016, p.61).

3.2.2. Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje

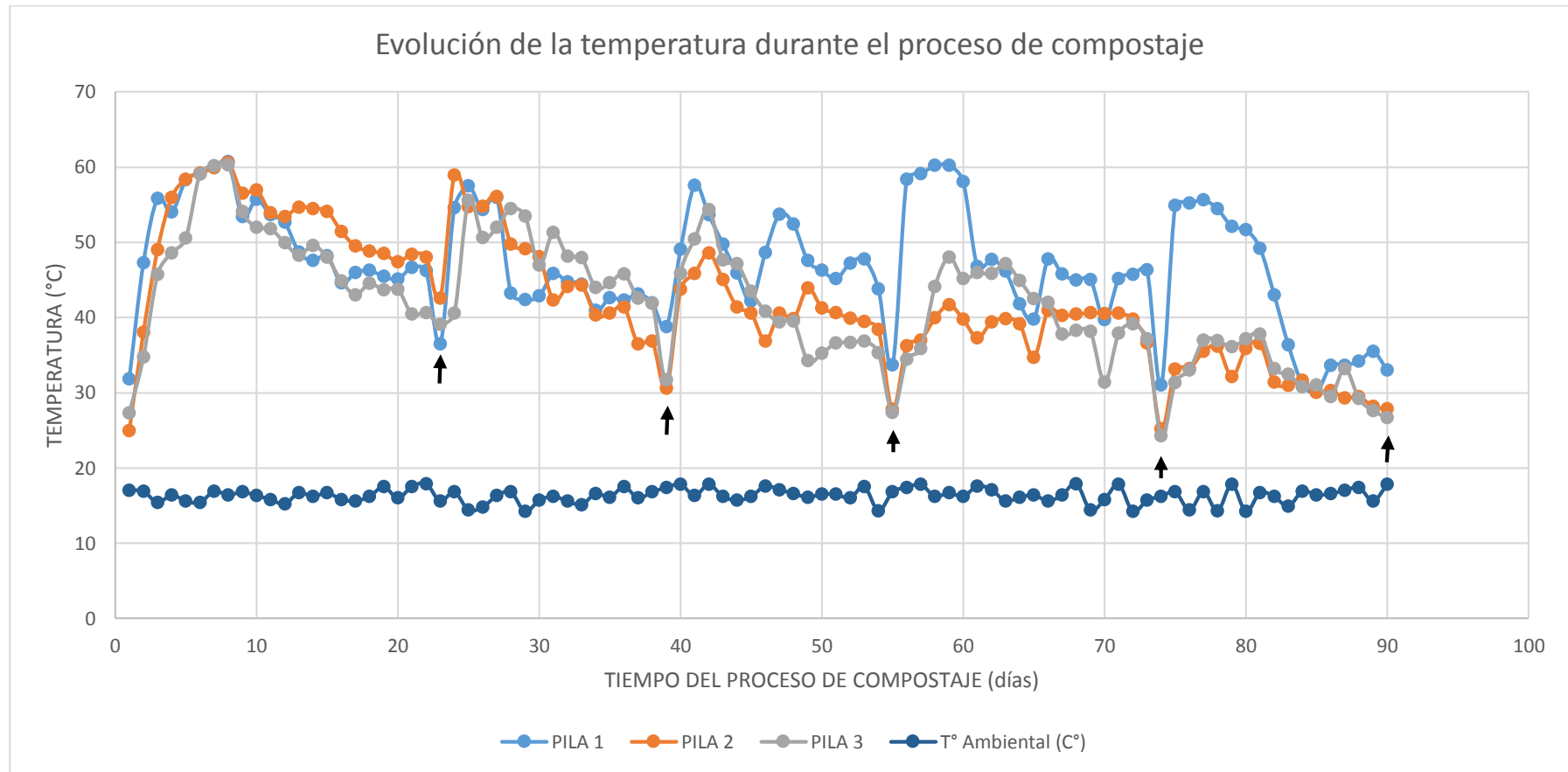


Gráfico 1-3. Evolución de la temperatura en la pila 1 (gallinaza + residuos vegetales), pila 2 (estiércol de cuy + residuos vegetales) y pila 3 (estiércol de vaca + residuos vegetales).

En el gráfico 1-3 se registró en el transcurso de los primeros días el aumento inmediato de las temperaturas en las pilas de compostaje debido al incremento de la actividad microbiana, alcanzando temperaturas por encima de los 40 °C garantizando la eliminación de agentes patógenos, manteniendo la fase termófila por un tiempo aproximado de 23 días hasta su primer volteo. Este incremento rápido de temperatura también ha sido observado por otros autores durante el proceso de compostaje (Gavilanes, y otros, 2016, p.129) de los residuos de origen agroindustrial.

En un principio el periodo más largo de temperaturas altas estuvo asociado con la pila 3 (Residuos vegetales + estiércol de vaca). Esto se puede deber a que el estiércol de vaca puede poseer más cantidad de microorganismos que ayuden a la actividad microbiana.

Después de realizar los volteos se observó un aumento significativo en la temperatura en las tres pilas de compostaje, debido a una adecuada oxigenación y una mezcla homogénea de la materia compostada; transcurridos 90 días de compostaje las temperaturas de las pilas fueron descendiendo progresivamente hasta alcanzar la fase mesófila y continuaron enfriándose hasta el final de la fase de maduración. Resultados similares fueron observados por otros investigadores (Gavilanes, y otros, 2016, p.129) en el proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos.

3.2.3. Caracterización de las muestras recolectadas durante el proceso de co-compostaje

Tabla 2-3. Caracterización físico química y biológica durante el proceso

COMPOSTAJE	DÍA	PARAMETROS FISICO QUIMICOS						PARÁMETR O BIOLÓGICO
		pH	EC (ds/m)	%MO	NT (%)	C/N	Polifenol es Solubles (g/Kg)	%IG
PILA 1	0	6,96	3,51	67,90	2,12	19,10	11	0
	23	6,60	3,38	62,30	2,01	18,20	10,87	1,20
	39	7,64	4,07	58,80	2,14	15,84	10,21	9,60
	55	7,94	4,16	49,40	2,17	13,72	8,69	30,80
	74	8,03	3,22	44,10	2,07	13,53	8,06	30,20
	90	8,42	3,43	47,40	2,09	12,51	6,56	32,10
	Compost maduro	8,56	3,30	41,70	2,01	12,35	5,89	51,30
	LSD	0,09	0,11	1,84	0,07	1,02	0,30	2,70
PILA 2	0	8,02	5,86	80,10	1,98	22,85	9,74	0
	23	8,50	5,53	71,70	1,98	21,39	9,47	0
	39	9,67	6,02	65,50	2,07	20,13	10,99	0,70
	55	9,62	5,26	57,20	2,10	15,51	8,98	0,40
	74	9,71	5,33	56,10	2,06	14,77	7,52	1,60
	90	9,72	5,38	53,50	2	14,62	7,39	16,20
	Compost maduro	9,81	5,38	53,30	1,73	15,13	6,58	22
	LSD	0,12	0,048	2,88	0,06	1,21	2,03	2,41
PILA 3	0	7,22	4,06	78,40	1,79	25,51	7,62	0
	23	7,65	3,83	73,60	1,81	22,86	5,72	0,10
	39	8,74	4,04	63,60	1,73	19,78	5,08	7,40
	55	9,03	4,07	56,70	1,75	15,69	3,55	10,70
	74	9,14	2,86	46,10	1,73	14,95	2,49	32,30
	90	9,20	3,07	44,40	1,86	13,48	2,76	22,70
	Compost maduro	9,40	3,12	40,90	1,61	15,07	2,12	38
	LSD	0,09	0,08	2,37	0,06	1,25	1,95	13,44

Fuente: Realizado por Basantes Cristian, 2018.

LSD: diferencia mínima significativa en $P < 0.05$

En la Tabla 2-3 se describen las concentraciones de parámetros físico-químicos, nutrientes y metales pesados en los compost obtenidos de las tres pilas.

La pila 2 registro un valor de pH inicial más alto que las pilas 1 y 3, debido al estiércol de cuyo que resultó tener mayor tendencia a la alcalinidad. Los valores de pH aumentaron en todas las pilas durante el proceso, de 6.96, 8.02 y 7.22 a 8.56, 9.81 y 9.4 respectivamente, superando el

rango (6.0-7.5) establecido como óptimo para el uso agrícola del compost según el Consejo estadounidense de compostaje (2001), la alcalinidad del compost se explica ya que en el proceso existe degradación de compuestos ácidos, aminoácidos y degradación de proteínas. (Moral, 2008, p.98), similares resultados fueron encontrados por (Gavilanes, y otros, 2016, p.130).

La conductividad eléctrica es un indicador del grado de salinidad que posee un compost, la misma tiende a incrementar con la degradación de la materia orgánica; sin embargo, también puede disminuir debido a los riegos para la humectación de las pilas como en la presente investigación en donde los valores de CE disminuyeron, pero sin representar una significancia alta de 3.51, 5.86 y 4.06 a 3.3, 5.38 y 3.12 respectivamente. Resultados similares fueron reportados por (Camiletti Morales, 2016, p.40).

En las 3 pilas de compostaje se registró un descenso significativo del porcentaje de materia orgánica, decreció desde 67.9, 80.1 y 78.4 hasta 41.7, 53.3 y 40.9 respectivamente, la disminución de la materia orgánica sucedió principalmente en la etapa biooxidativa debido a que el proceso en esta fase alcanza temperaturas altas que ayudan a la mineralización de la materia, mientras que en la fase de maduración se registró una mínima pérdida de MO, lo que indica la estabilidad en el proceso. Resultados similares fueron observados por otros investigadores (Gavilanes, y otros, 2016, p.130).

El contenido de N_T generalmente incrementa durante el proceso de compostaje debido a la pérdida de masa seca como el CO_2 y evaporación del agua especialmente en la fase biooxidativa (Gavilanes, 2016, p.130). Sin embargo, en este trabajo de investigación, el contenido de N_T disminuyó en las tres pilas, sin representar una significación alta, desde 2.12, 1.98 y 1.79 hasta 2.01, 1.73 y 1.61 respectivamente, el descenso de la concentración de este nutriente es debido fundamentalmente a la volatilización del nitrógeno en forma de NH_3 , este cambio se produce cuando el proceso de compostaje tiene condiciones de pH alcalinas y está a temperaturas altas, también existe pérdidas en menor medida debido a procesos como la desnitrificación y la lixiviación de NO_3^- . Resultados similares fueron obtenidos por otro investigador (Muñoz, 2011, p.91).

La relación Corg/NT se la considera como un indicador del grado de madurez de un compost; de manera general se puede decir que un compost es maduro o estable cuando la relación C/N es menor a 20 (Márquez, 2010, p.5). En esta investigación este parámetro decreció significativamente en todas las pilas desde 19.10, 22.85 y 25.51 a 12.35, 15.13 y 15.07 respectivamente lo que indica la madurez y estabilidad de los compost obtenidos. Resultados similares fueron obtenidos por otro investigador (Jara, 2016, p.85).

Los residuos de origen vegetal poseen gran cantidad de polifenoles; que son compuestos fotoquímicos antioxidantes, integrados principalmente por ácidos fenólicos que a concentraciones altas en el proceso de compostaje producen un efecto negativo sobre el ambiente, debido a la inhibición de semillas. (Alburquerque et al., 2006). En la presente investigación, la concentración de polifenoles solubles en agua decreció significativamente durante el proceso de compostaje en todas las pilas, esto se debe a procesos de polimerización, oxidación de fenoles a compuestos fenólicos de bajo peso molecular y la descomposición de compuestos fácilmente degradables. (Alburquerque et al., 2006).

El porcentaje de índice de germinación está relacionado con contenido de polifenoles y la cantidad de sales que son los causantes de fitotoxicidad en el proceso, inhibiendo la germinación de las semillas (berro); por lo tanto, mientras disminuyeron estos parámetros el índice de germinación aumento en todas las pilas desde 0% hasta 51.3, 22, 38 respectivamente esto es debido a la degradación de compuestos fitotóxicos durante el proceso. Sin embargo, solo el compost 1 estuvo por encima del porcentaje mínimo sugerido (>50%) por (Zucconi y otros, 1981) para la utilización en actividades agrícolas. (Meseguer, 2016, pp.88-89) obtuvo resultados parecidos al compostar residuos de palmera y lodos de depuradora.

3.2.4. Pérdidas de materia orgánica durante el proceso de compostaje

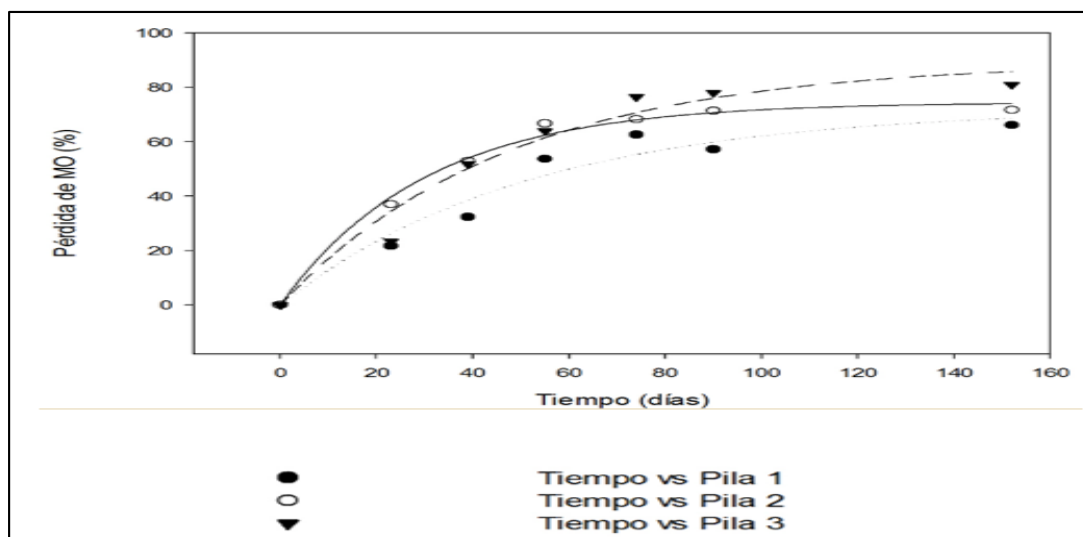


Gráfico 2-3. Pérdidas de materia orgánica durante el proceso de compostaje en la pila 1 (gallinaza + residuos vegetales), pila 2 (estiércol de cuy + residuos vegetales) y pila 3 (estiércol de vaca + residuos vegetales).

Tabla 3-3. Parámetros para determinar la pérdida de materia orgánica

PILA	A	k	R	F	SEE	
P1	72,4	0,0195	0,9465	107,12	***	5,70
P2	74,4	0,0332	0,9905	627,34	***	2,57
P3	89,3	0,0212	0,9603	146,00	***	6,18

En el gráfico 2-3 se puede observar que las pérdidas de MO en las tres pilas ocurrieron principalmente en la fase biooxidativa (0 a 90 días) cuando las temperaturas fueron altas y existió mayor actividad microbiana. El valor de pérdida de materia orgánica según la pila de compostaje fue 66.2, 71.7 y 81.0 % para la pila 1, 2 y 3 respectivamente, siendo esta última la que mayor pérdida obtuvo.

La pérdida de materia orgánica durante el proceso de compostaje fue determinada por una ecuación cinética de primer orden (pérdida de MO = $A(1 - e^{-kt})$); en la cual se obtuvieron valores de A (máxima pérdida orgánica), SEE (error estándar de estimación), *** (significancia < 0.001) y k (velocidad de degradación de materia orgánica). Los valores de A para la pila 1 y 2 se encontraron dentro del rango (54.5-83.8%) observado en un estudio realizado por (Gavilanes, y otros, 2016, p.132) al compostar residuos vegetales con estiércol de ave, mientras que la pila 3 superó dicho rango. Mientras que los valores de k para todas las pilas se encontraron dentro del rango (0.0085-0.0598) obtenido en el estudio mencionado anteriormente.

3.2.5. Caracterización de elementos en el compost maduro

Tabla 4-3. Concentración de parámetros físico-químicos, aniones, nutrientes y metales pesados en el compost maduro.

Parámetros	Compostaje			ANOVA	US guidelines ¹	European guidelines ²	Ecological criteria to soil improvers ³
	Compost 1	Compost 2	Compost 3				
MO%	41,70 a	53,30 b	40,90 a	***	50-60	>15	> 20
pH	8,56 a	9,81 b	9,40 b	**	5.5-8		
EC dS / m	3,30 a	5,38 b	3,12 a	***	6		
CIC (meq/100g)	112 b	86 a	105 b	*	-	-	-
Corg/NT	12,35 a	15,13 a	15,07 a	NS	-	-	-
SO ₄ ⁻² mg/kg	168,48 b	180,18 b	99,45 a	***	-	-	-
Cl ⁻ mg/kg	2382,24a	2949,44b	2325,52a	*	-	-	-
NO ₃ ⁻ mg/kg	20000 a	38200 c	32400 b	***	-	-	-
Macroelementos (g/kg)							
NT(%)	2,01 b	1,73 a	1,61 a	**	≥ 1.0		< 3.0
P (g/Kg)	8,69 a	6,62 a	5,87 a	NS	≥ 10	-	
Na (g/Kg)	4,53 a	5,37 b	4,02 a	*	-	-	-
K (g/Kg)	21,65 a	45,73 b	28,30 a	**	-	-	-
Microelementos (mg/kg)							
Fe (mg/Kg)	6362 ab	6040 a	6641 b	*	-	-	-
Cu (mg/Kg)	183 c	36 a	49 b	***	1500	200	100
Mn (mg/Kg)	328 c	139 a	182 b	***	-	-	-
Zn(mg/Kg)	320 c	182 a	240 ab	*	2800	600	300
Metales Pesados (mg/kg)							
Ni (mg/kg)	20b	16 ab	9 ^a	*	420	50	50
Cr (mg/kg)	16 a	10a	28 b	*	1200	100	100
Cd (mg/kg)	0,92 b	0,65 ab	0,53 a	*	39	1,5	1
Pb (mg/kg)	30 a	33 a	40 a	NS	300	120	100

Realizado por: Basantes Cristian, 2018.

¹US Composting Council, 2001

²European Commission 2014

³Ecological criteria for soil improvers (2006).

Los valores en una fila seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey-b a P < 0.05

En la Tabla 4-3 se describen las concentraciones de parámetros físico-químicos, aniones nutrientes y metales pesados en los compost obtenidos de las tres pilas.

Los contenidos de materia orgánica difieren significativamente, pero el compost 2 es el único que se encuentra dentro del rango preferido (50-60%) recomendado por el (US Composting Council,

2001), el cual también indica que la mayoría de compost empleados en producción vegetal presentan contenidos de materia orgánica entre 30-70 %; por lo cual todos los compost podrían ser utilizados en esta actividad. Resultados semejantes fueron reportados por otros investigadores. (Jara, 2016, p.106).

Los valores de pH de todos los compost son alcalinos y presentan diferencias significativas, encontrándose por encima del rango (5.5-8.0) sugerido por (US Composting Council, 2001) como óptimo para su aplicación en producción vegetal. Sin embargo, (Moral, 2008, p.99) indica que en un proceso de compostaje si se obtienen valores de pH superiores a 7.5 es un indicador que el compost obtenido tuvo un proceso de descomposición apropiado. Mientras que los valores de CE estuvieron por debajo del límite (6 dS/m) máximo permisible sugerido por (US Composting Council, 2001) para su aplicación en producción vegetal. Resultados parecidos fueron obtenidos por (Gavilanes, y otros, 2016, p.132) al compostar residuos hortícolas.

La capacidad de intercambio catiónico presentó diferencias significativas y en todos los compost fue mayor a 60 (meq/100g MO) lo que indica un grado de madurez y estabilidad aceptable según (Haranda e Inoko, 1980). La relación Corg/N_T no difiere significativamente, siendo sus valores adecuados para interpretar que los compost tuvieron un grado de madurez y estabilidad aceptable ya que son <20 (Poilcelot, 1974). Resultados similares fueron reportados por otros investigadores (Idrovo, y otros, 2018, p.394).

El contenido de aniones solubles difieren significativamente en todos los compost, presentado una mayor concentración en el compost 2 con valores de 180.18, 2949.44 y 38200 mg/kg para SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻ respectivamente, mientras que el de menor contenido fue el compost 3 excepto para los NO₃⁻ que presentó el compost 1. Este estudio presentó mayor contenido de aniones en comparación al realizado por (Jara, 2016, p.) al compostar residuos orgánicos de origen urbano y afines en el Ecuador.

Los valores de macronutrientes en los tres compost estuvieron por debajo de los límites que se establecen por (US Composting Council, 2001), (European Commission 2014) y (Ecological criteria for soil improvers 2006) para la aplicación de los compost en cualquier actividad. El Nt y P presentan un mayor contenido para el compost 1, mientras que, el compost 2 tuvo más contenido de Na y K; los contenidos de macronutrientes en este estudio fueron mayores que los obtenidos por (Gavilanes, y otros, 2016, p.132) al compostar residuos hortícolas. Con respecto a los micronutrientes el compost 3 fue el que tuvo mayor concentración de Fe y en cuanto al Cu, Mn y Zn los valores más altos se obtuvieron en el compost 1; los contenidos de Cu y Zn sobrepasaron el límite máximo establecido por (Ecological criteria for soil improvers 2006); sin embargo, se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por las dos normas

mencionas anteriormente. Otros investigadores consiguieron resultados parecidos (Idrovo, y otros, 2018, p.394).

Las concentraciones de metales pesados en todos los compost se encuentran muy por debajo de los límites máximos establecidos por (US Composting Council, 2001) y (European Commission, 2014); los contenidos de Ni, Cr y Cd en todos los compost son mínimamente significativos, en cambio el Pb no difirió significativamente. Estos resultados son similares a los obtenidos por (Jara, 2016, pp. 86-87).

3.2.6. Parámetros físicos e hídricos del compost

Tabla 5-3. Pruebas físicas en el compost maduro

Compost	DA g/cm ³		DR g/cm ³		EPT (%)		CRA(g H ₂ O/g sustrato)		C (%)		Capacidad aireación (%)	
1	0,34	b	1,97	b	82,91	a	109,01	a	26,60	b	46,22	b
2	0,33	b	1,84	a	81,93	a	130,50	a	18,31	a	38,63	a
3	0,30	a	1,98	b	85,03	b	104,60	a	20,09	ab	54,02	a
TURBA RUBIA	0,045-0,2		1,35		94,30		1049		5,70		29	
ANOVA	*		***		*		NS		*		*	

Realizado por: Basantes Cristian, 2018. DA: densidad aparente; DR: densidad real; C: contracción de volumen; EPT: Espacio poroso total; CRA: Capacidad de retención de agua; CA: Capacidad de aireación; DAC: Densidad aparente compactada.

Los valores en una columna seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba Tukey-b a P <0.05

En la Tabla 5-3 se describe la caracterización física del compost maduro, comparadas con valores estándar de la turba rubia.

Uno de los materiales más utilizados en la actividad agrícola principalmente como sustrato natural hortícola es la turba; debido a su rico contenido de propiedades físicas, químicas y biológicas, sin embargo, actualmente se trata de reemplazar el uso de este sustrato con procesos biotecnológicos como el compostaje, debido a que es un recurso no renovable y su explotación tiene un impacto negativo sobre el ambiente. (Jara, 2016, p. 47).

La DA de todos los compost se encuentran fuera del rango (0,045-0,2) siendo superiores al sustrato ideal (turba). Sin embargo, según (Abad y col, 2001) para un compost maduro la DA debe ser $\leq 0,4\text{g/cm}^3$ para su utilización en actividades agrícolas; por lo tanto, todos los compost presentaron valores dentro de este rango siendo óptimos para su uso. En cuanto a la DR todos los compost mostraron valores por encima del nivel de referencia del sustrato ideal (turba), esto puede ser debido a la granulometría del compost final siendo óptimo un tamaño de (10-50 mm) según (Dalzell y otros, 1991, Mustin 1987).

El % EPT difirió significativamente y presentó valores inferiores al sugerido en el sustrato ideal (turba) esto podría ser debido al tamaño de partículas del compost final. Sin embargo, el compost 3 mostró un valor de 85,028% dentro del límite (>85%) sugerido por (Abad y otros, 2001) para sustratos de cultivos agrícolas. La CRA no difirió significativamente y sus valores se encontraron muy por debajo del valor estándar (turba). El porcentaje de CA y C de todos los compost se encuentran muy por encima del límite de referencia del sustrato ideal (turba); sin embargo (Abad y col, 2001) establece que el %C debe ser <30 por lo cual todos los compost de este estudio son adecuados para su uso en producción vegetal ya que se encuentran por debajo de este límite máximo. Resultados semejantes fueron observados por (Gavilanes, y otros, 2017, p. 81) al compostar residuos agroindustriales.

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización físico-química y química de los materiales iniciales (residuos vegetales, estiércol de cuy, vaca y gallinaza) procedentes de la finca agropecuaria “LA INMACULADA”; todos los residuos presentaron contenidos óptimos de nutrientes y concentraciones de elementos potencialmente tóxicos muy por debajo de los límites máximos permisibles para la producción de compost para las propiedades físico-químicas, químicas y biológicas del suelo.
- Se ajustó la relación C/N y humedad de los residuos sólidos orgánicos con el propósito de establecer una proporción adecuada para conseguir un incremento de la temperatura, asegurando el proceso de degradación microbiana y eliminación de agentes patógenos. Siendo la proporción de 76% residuos orgánicos vegetales y 24% de residuos de origen animal la más adecuada para el desarrollo del proceso. Respecto al tamaño de la partícula los residuos fueron picados aproximadamente en 5cm para ayudar al proceso de degradación y oxigenación en la pila.
- Se realizó monitoreos diarios del proceso de compostaje a través de la medición de la temperatura, pH y humedad en 5 puntos de la pila obteniendo un valor promedio de cada parámetro; las pilas fueron volteadas cuando existía un descenso de la temperatura, registrándose a lo largo del proceso 5 volteos los cuales reactivaron el proceso de co-compostaje, homogenizando la muestra, incrementando la temperatura y eliminando el exceso de humedad que en las primeras semanas era muy alto debido a que los residuos vegetales contenían una gran cantidad de agua y manteniendo la misma en un rango de 40-60% a través de riegos; por lo cual el monitoreo diario en un proceso de co-compostaje ayuda a controlar los niveles óptimos para su buen desarrollo.
- El análisis de la calidad de los compost se determinó a través de pruebas físico-químicas, químicas y biológicas; los cuales mostraron valores de pH, %MO, relación C/N, CE, CIC, IG, contenido nutrientes y metales pesados dentro de los rangos y límites máximos y mínimos sugeridos por (US Composting Council, 2001), (European Commission 2014), (Ecological criteria for soil improvers 2006) y la (Norma Chilena Oficial, 2004) para enmienda orgánica en el suelo. Todos los compost pertenecen a la clase A ya que sus parámetros de referencia se encuentran por debajo del límite máximo permisible, siendo aptos para uso agrícola.

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Realizar un tratamiento previo a los residuos orgánicos que se van a compostar, triturándolos para obtener un tamaño de partícula óptimo que asegure su descomposición.
- Monitorear los parámetros de seguimiento del proceso todos los días en una hora específica para obtener valores confiables del proceso.
- Producir abonos orgánicos a través del tratamiento de compostaje ya que por medio de su elaboración eliminamos el uso de productos químicos en la actividad agrícola y brindamos una alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos a la vez eliminando focos de contaminación.
- Aplicar compost para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, ya que genera beneficios a la salud humana, animal y al ambiente.
- Al secar las muestras para analizar, no sobrepasar la temperatura indicada en la técnica debido a que a temperaturas superiores puede existir una pérdida de nutrientes.
- Jamás humedecer en exceso la pila de compostaje ya que puede inhibir la actividad microbiana.
- Realizar volteos periódicos para mantener la oxigenación en el proceso y asegurarse de que exista una mezcla homogénea del material compostado.
- Realizar una correcta relación C/N para calcular la proporción necesaria de residuos a mezclar y obtener resultados deseables de maduración al final del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Wilson y PERALTA, Milton. *Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá.* [En línea]. (Tesis de pregrado). Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Zootecnia. Fusagasugá, Colombia 2015. pp. 38-44. [Consulta: 20 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://dspace.ucundinamarca.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1234/ELABORACION%20DE%20ABONOS%20ORGANICOS%20A%20PARTIR%20DEL%20COMPOSTAJE%20DE%20R.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Andalucía. “Sistemas y técnicas de compostaje”. *Junta de Andalucía.* [En línea]. 2000. (España). pp. 2-7. [Consulta: 17 de octubre del 2017]. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.pdf

AVENDAÑO ROJAS, Daniella Alejandra. *El proceso de compostaje.* [En línea]. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Fruticultura y Enología. Santiago, Chile 2003. pp. 10-25. [Consulta: 12 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://studylib.es/doc/5083863/definicion-de-compostaje>

BLANCO, Daniel. *Tratamiento biológico aerobio-anaerobio-aerobio de residuos ganaderos para la obtención de biogás y compost.* [En línea]. (Tesis de doctorado). Universidad de León, Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad, Área de Ingeniería Química. León, España 2011. pp. 7-8. [Consulta: 04 de noviembre del 2017]. Disponible en: <https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/1066/Tesis.pdf?sequence=1>

BRITO, H; VITERI, R; GUEVARA, L; VILLACRÉS, M; JARA J; JIMÉNEZ, S; MOYA, P; PARRA, C. “Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del cantón Riobamba”. *European Scientific Journal.* [En línea]. 2016. Ecuador. 12(29). pp. 77-78. [Consulta: 25 de Mayo de 2018]. Disponible en: <https://ejournal.org/index.php/esj/article/view/8200>

CÁCERES, Juan. *Compostaje*. Universidad Politécnica del Ejército. [En línea] 2011. [Consulta: 17 de octubre del 2017]. Disponible en:
<http://www.ecocomunidad.org.uy/ecosur/txt/compost.htm>

CAMILETTI MORALES, Justin. *Estudio del vermicompostaje de compost de residuos orgánicos de distinta naturaleza*. [En línea]. (Tesis de maestría). Universidad Miguel Hernández de Elche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Master Universitario Oficial en Ingeniería Agronómica. Alicante, España 2016. p. 40. [Consulta: 04 de abril del 2018]. Disponible en:
<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2820/1/TFM%20Camiletti%20Morales,%20Justin.pdf>

CANET, Rodolfo; RIBÓ, Marta; POMARES, Fernando; ALBIACH, María del Remedio. “Caracterización y potenciales impactos ambientales de las deyecciones ganaderas”. *Salón Internacional de la Tecnología Ganadera EXPOAVIGA*. [En línea] 2006. España. p. 23. [Consulta: 10 de enero del 2018]. Disponible en:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78034/Actas%20Conferencia%20Gestion%20Deyecciones%20Ganaderas%202006.pdf>

CASTALDI, Paola; ALBERTI, Guido; MERELLA, Roberto; MELIS, Pietro. “Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity”. *Waste Management*. [En línea]. 2005. 25(2). pp. 209-213. [Consulta: 14 de abril del 2018]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X05000152>

COFRE VALENCIA, Santiago Washington. *Elaboración y caracterización de compost obtenido a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba, Ecuador 2016. pp. 15-18.

CRUZ, Javier. *Valoración agronómica de compost y vermicompost de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas, efecto como enmiendas sólidas y líquidas*. [En línea]. (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España 2009. p. 24. [Consulta: 13 de noviembre del 2017]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/6564#>

DE JESUS, Daicy. *Vermicompost y compost de residuos hortícolas como componentes de sustratos para la producción de planta ornamental y aromática. Caracterización de los materiales y respuesta vegetal.* [En línea]. (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Producción Vegetal. Valencia, España 2010. pp. 6-15. [Consulta: 05 de diciembre del 2017]. Disponible en:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8685/tesisUPV3395.pdf>

Ecological criteria to soil improvers. Commission Decision 2006/799/EC, 2006. Establishing Revised Ecological Criteria and the Related Assessment and Verification Requirements for the Award of the Community eco-Label to Soil Improvers. Official Journal of the European Union, L 325, 28–34. Environmental Management Law, 1999. Ley de Gestión Ambiental. Ley No. 37. RO/ 245 de 30 de Julio de 1999.

European Commission. End-of-waste Criteria for Biodegradable Waste Subjected to Biological Treatment (Compost & Digestate): Technical Proposals, 2014. [Consulta: 26 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=6869>

EKINCI, K, KEENER, H y ELWELL, D. “Effects of aeration strategies on the composting process: Part I. Experimental studies”. *American Society of Agricultural and Biological Engineers.* [En línea]. 2004. 47(5). [Consulta: 20 de Enero de 2018]. Disponible en:
<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=17612>

EPSTEIN, Eliot. *The Science of Composting.* [En línea]. EE.UU. 1997. [Consulta: 10 de Abril de 2018]. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781351409131>

GAVILANES TERÁN, Irene. *Oportunidades y desafíos de la gestión de residuos orgánicos procedentes del sector agroindustrial en América del Sur: Provincia de Chimborazo (ECUADOR).* [En línea]. (Tesis de maestría). Universidad Miguel Hernández. Orihuela, España. 2015. p.51. [Consulta: 25 de Mayo de 2018]. Disponible en:

<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2002/1/TFM%20Gavilanes%20Ter%C3%A1n,%20Irene%20del%20Carmen.pdf>

GAVILANES TERÁN, I; JARA SAMANIEGO, J; IDROVO NOVILLO, J; BUSTAMANTE, M A; MORAL, R; PAREDES, C. “Windrow composting as horticultural waste management strategy—a case study in Ecuador”. *Waste Management*. [En línea]. 2016. 48. pp. 127-134. [Consulta: 10 de Febrero de 2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15302105>

GAVILANES TERÁN, I; JARA SAMANIEGO, J; IDROVO NOVILLO, J; BUSTAMANTE, M. A; PÉREZ MURCIA, M. D; PÉREZ ESPINOZA, A; PAREDES, C. “Agroindustrial compost as a peat alternative in the horticultural industry of Ecuador”. *Journal of Environmental Management*. [En línea]. 2017. 186. pp. 79-87. [Consulta: 14 de Abril de 2018]. Disponible en: <file:///C:/Users/ci3/Downloads/1.-Agroindustrial-compost-as-a-peat-alternative-in-the-horticultural-Journal-of-Environmental-Management-2016.pdf>

GUTIÉRREZ MAYDATA, Alfredo. “Vino, polifenoles y protección a la salud”. *Revista Cubana Aliment Nutr.* [En línea]. 2002. Cuba. 16 (2). p. 135. [Consulta: 12 de Enero de 2018]. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/ali/vol16_2_02/ali07202.pdf

HEREDIA, Santiago. “Degradación de almidón mediante amilasa salival”. *Revista Eureka*. [En línea]. 2008. 5 (1). pp. 104-106. [Consulta: 22 de Febrero de 2018]. Disponible en: http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/16019/Heredia_Avalos_2008.pdf

IDROVO NOVILLO, J; GAVILANES TERÁN, I; BUSTAMANTE, M. A; PAREDES, C. “Composting as a method to recycle renewable plant resources back to the ornamental plant industry: Agronomic and economic assessment of composts”. *Process Safety and Environmental Protection*. [En línea]. 2018. 116. pp. 388-395. [Consulta: 18 de Abril de 2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582018300648>

INN. “Compost - clasificación y requisitos”. [En línea]. 2003. p. 7. [Consulta: 04 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>

JARA SAMANIEGO, Janneth. *Oportunidades de valorización mediante compostaje de los residuos orgánicos de origen urbano y afines en Ecuador: propuesta de gestión para la provincia de Chimborazo.* [En línea]. (Tesis de doctorado). Universidad Miguel Hernández, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Programa de doctorado recursos y tecnologías agrarias, agroambientales y alimentarias. Alicante, España. 2016. pp.42-106. [Consulta: 17 de Abril de 2018]. Disponible en:

<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2770/1/TD%20Jara%20Samaniego,%20Lourdes%20Janeth.pdf>

JARAMILLO, Gladys y ZAPATA, Liliana. *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia.* [En línea]. (Tesis de posgrado). Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Posgrados de Ambiental, Especialización en Gestión Ambiental. Antioquia, Colombia 2008. pp. 20-43. [Consulta: 20 de Enero de 2018]. Disponible en:

<http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Apressolorgco.pdf>

JIMÉNEZ, Emeterio Iglesias y BARRAL, María Teresa. *Indicadores de la estabilidad y madurez del compost.* [En línea]. [aut. libro] Joaquín Moreno Casco. *Compostaje.* Madrid : Ediciones Mundi-Prensa. 2008. p. 245. [Consulta: 18 de Diciembre de 2017]. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=APuzwas6rrcC&oi=fnd&pg=PA242&dq=Indicadores+de+la+estabilidad+y+madurez+del+compost&ots=BRPtP3srQ7&sig=DIwzjXoOPKsbGT1ERyrfYVAssBo#v=onepage&q=Indicadores%20de%20la%20estabilidad%20y%20madurez%20del%20compost&f=false>

MÁRQUEZ, Pedro, DÍAZ, Manuel y CABRERA, Francisco. “Factores que afectan al proceso de compostaje”. *Universidad de Huelva.* [En línea] 2010. pp. 1-16. [Consulta: 11 de Febreo de 2018]. Disponible en:

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

MARTÍNEZ, F. Xavier. “Gestión y tratamientos de residuos agrícolas”. *Revista técnica del medio ambiente*. [En línea]. 2006. España. 19(111), pp. 62-74. [Consulta: 18 de Febrero de 2018].

Disponible en:

[http://bases.bireme.br/cgi-](http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&n)

[bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&n](http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&n)
[extAction=lnk&exprSearch=36208&indexSearch=ID](http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&n)

MESEGUER SARABIA, María Luisa. *Valorización de residuos de palmera y lodos de depuradora mediante co-compostaje*. [En línea]. (Tesis de maestría). Universidad Miguel Hernández, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Master Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos. Alicante, España 2016. pp. 47-48. [Consulta: 17 de Abril de 2018]. Disponible en:

<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2727/1/TFM%20Meseguer%20Sarabia,%20Mar%C3%A9Da%20Luisa.pdf>

MILENA, Sandra, MONTOYA, Lina y OROZCO, Sánchez. “Valorización de residuos agroindustriales-frutas-en Medellín y el sur del valle del Aburrá, Colombia”. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. [En línea]. 2008. Colombia. 61(1). pp. 4422-4431. [Consulta: 11 de Noviembre de 2017]. Disponible en:

<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a18v61n1.pdf>

MORENO, Joaquín y MORAL, Raul. *Compostaje*. [En línea]. Barcelona. 2008. pp. 123-294. [Consulta: 15 de Enero de 2018]. Disponible en: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=agrissa.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mf=004347>

MUÑOZ TORTOSA, Germán. *Elaboración a escala pre-industrial de enmiendas y abonos orgánicos sólidos y líquidos mediante co-compostaje de orujo de oliva de dos fases o “Alperujo”*. [En línea]. (Tesis de doctorado). Universidad de Murcia, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química. Murcia, España 2011. p. 91. [Consulta: 14 de Abril de 2018]. Disponible en:

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/39933/1/TESIS%20DOCTORAL%20%2011%2004%2011.pdf>

PORRAS, Sebastián. *Producción de compost a partir de residuos sólidos de una planta de celulosa.* [En línea]. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología. Santiago, Chile 2011. pp. 17-23. [Consulta: 08 de Abril de 2018]. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-porras_sh/pdfAmont/cf-porras_sh.pdf

PUERTA, Silvia. “Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos”. *Revista Lasallista de Investigación.* [En línea]. 2004. Colombia. pp. 56-65. [Consulta: 18 de Febrero de 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/695/69511009/>

QUIÑONES, M, MIGUEL, M y ALEIXANDRE, A. “Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular”. *Nutrición Hospitalaria.* [En línea]. 2012. Madrid. 27. pp. 76-89. [Consulta: 25 de Febrero de 2018]. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112012000100009

QUISHPE SACANCELA, María Elizabeth. *Elaboración de compost a partir del estiércol de cuy (Calvia Porcellus) y su aplicación en la comuna Lumbisí (Sector Cumbayá).* [En línea]. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química. Quito, Ecuador. 2017. pp. 59-60. [Consulta: 25 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13006/1/T-UCE-0017-0062-2017.pdf>

SAVAL, Susana. “Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro. Biotecnología” *Biotecnología.* [En línea]. 2012. México. 16(2). pp. 15-16. [Consulta: 18 de Diciembre de 2017]. Disponible en: http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37368310/Saval_Residuosagroindustriales.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1499120256&Signature=VqM9EBGxb2twuKYFRb5mvuVDea4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSoluciones_agroindustriales.pdf

SZTERN, Daniel. “Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos”. *Organización Panamericana de la Salud*. [En línea]. 2009. Uruguay. pp. 17-19. [Consulta: 20 de Octubre de 2017]. Disponible en:
<http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/compost.pdf>

TCHOBANOLOGUS, G, THEISEN, H y VIGIL, S. 1994. *Gestión integral de residuos sólidos*. Madrid : Ed. McGraw-Hill, 1994.

TORRENTO, Montserrat. “Materia orgánica y compostaje. Control de la calidad y del proceso”. *Instituto Canario de Investigaciones Agrarias*. [En línea]. 2011. Chile. pp. 1-19. [Consulta: 10 de Febrero de 2018]. Disponible en: <http://biomusa.net/es/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/70-materia-organica-y-compostaje-control-de-la-calidad-y-del-proceso/file>

US Composting Council. Field guide to compost use, 2001. [Consulta: 26 de Abril de 2018]. Disponible en:
http://compostingcouncil.org/admin/wp-content/plugins/wp-pdfupload/pdf/1330/Field_Guide_to_Compost_Use.pdf

VALDERRAMA, Alejandra. *Biodegradación de residuos sólidos agropecuarios y uso del bioabono como acondicionador del suelo*. [En línea]. (Tesis de posgrado). Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingenierías, Especialización en Biotecnología. Medellín, Colombia. 2013. pp. 14-33. [Consulta: 08 de Enero de 2018]. Disponible en:
<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1326/Monograf%C3%ADa%20Biodegradaci%C3%B3n%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos.pdf?sequence=1>

VALVERDE, Victor. *Diseño y automatización de un sistema de aireación forzada para el co-compostaje de residuos hortícolas en la comunidad de Gatazo cantón Colta*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 8-9.

Zhu, Nengwu. “Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system”. *College of Environmental Science and Engineering*. [En línea]. 2006. 97. pp. 1870-1875. [Consulta: 20 de Febrero de 2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852405004013>

ANEXOS

Anexo A: Limpieza y preparación del terreno.

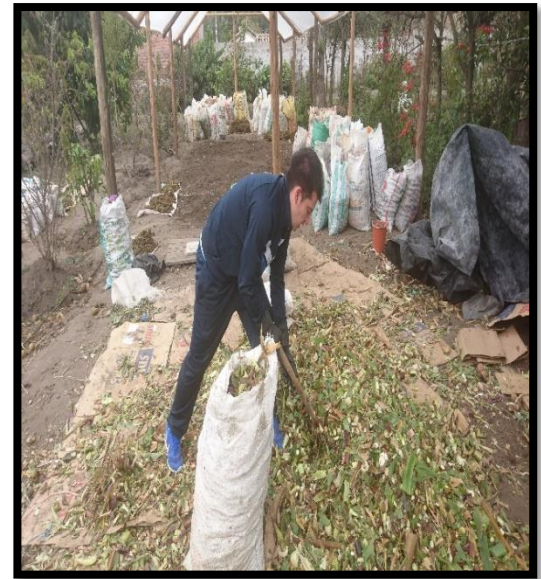


Anexo B: Construcción de la cubierta.



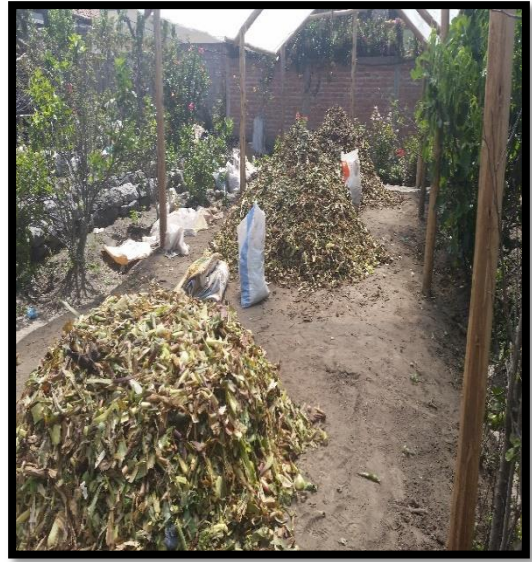
Anexo C: Recolección y preparación de residuos



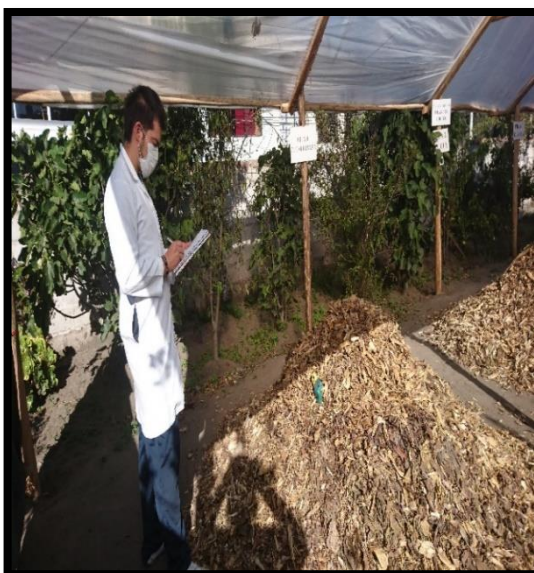


Anexo D: Elaboración de las pilas Windrow





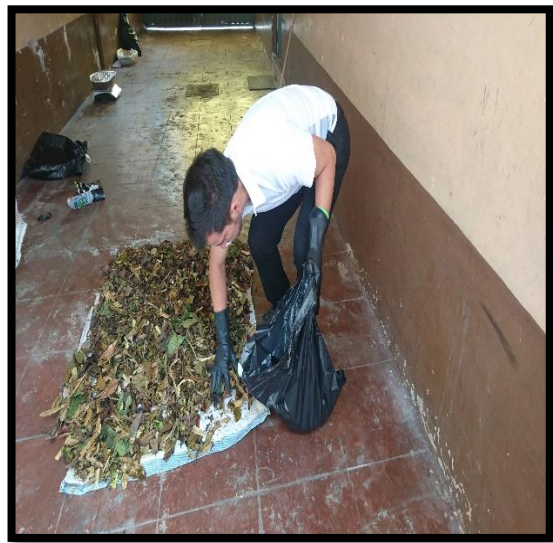
Anexo E: Monitoreo del proceso de compostaje



Anexo F: Volteo de las pilas



Anexo G: Toma de muestras para análisis físicos-químicos, químicos y biológicos.



Anexo H: Recolección del compost final.

