



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

**“CO-COMPOSTAJE CON PODA DE LOS LODOS GENERADOS
EN EL CENTRO DE FAENAMIENTO CANTÓN GUARANDA-
PROVINCIA BOLÍVAR”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: VICTORIA ESTEFANÍA CHIMBO ORELLANA
TUTOR: DRA. IRENE DEL CARMEN GAVILANES TERÁN, PhD.

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

©2018, Victoria Estefanía Chimbo Orellana

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 con poda de los lodos generados en el Centro de Faenamiento cantón Guaranda-provincia Bolívar.” de responsabilidad de las señorita: Victoria Estefanía Chimbo Orellana, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA FECHA

Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán, PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Dr. Julio César Idrovo Novillo

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo Victoria Estefanía Chimbo Orellana declaro que el presente trabajo de titulación es de mí 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 autora, asumo toda la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 27 de Abril de 2018

Victoria Estefanía Chimbo Orellana

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Victoria Estefanía Chimbo Orellana soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Victoria Estefanía Chimbo Orellana

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fortaleza en los momentos duros, por ser mi guía espiritual y celestial que me supo acompañar en el día a día.

A la Virgencita del Huayco porque sé que cada una de mis suplicas fueron escuchadas, a la cual estoy infinitamente agradecida porque su mano milagrosa estuvo siempre presente.

A mis padres, Cesar Chimbo y Gladys Orellana, por brindarme su apoyo incondicional, por hacerme sentir amada, única y especial, por enseñarme que las cosas sencillas y dadas con el alma y corazón son las que realmente tiene un significado de amor y sacrificio, por ser los ejes principales en éste, mi desarrollo profesional. Dios les pague papitos sin ustedes nada de esto hubiese sido posible.

A mi abuelita Rosita por amarme infinitamente, por preguntarme a donde voy o de dónde vengo al pasar por su casita, le amo con mi vida mamita.

A mis seis hermanos William, Janeth, Oscar, Cristina, Víctor y Mauricio, por ser mi ejemplo de honradez y humildad, enseñándome que las cosas se ganan poco a poco y sobre todo por darme su ayuda en el momento indicado, obteniendo de ellos siempre un si como respuesta, o un no, cuando veían que aquello no me beneficiaría en lo absoluto, muchas gracias ñañitos.

A mis amigos por ser la familia que uno escoge, por hacer de esta etapa de mi vida la más maravillosa de todas, por hacerme reír cuando sentía que el mundo se me venía encima. Amigos del alma espero de todo corazón haber dejado un poquito de mi alegría en ustedes.

Victoria Estefanía

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y permitirme utilizar sus instalaciones para poder realizar las diferentes actividades académicas.

A los docentes y técnicos docentes aquellos que me demostraron ser unos excelentes profesionales aportándome sus conocimientos y experiencias.

A la Dra. Irene Gavilanes por ser una excelente profesional demostrándome ser una persona increíble, la misma que con sus consejos y apoyo en el proceso continuo del desarrollo de esta investigación logre obtener resultados de calidad.

Al Dr. Julio Idrovo por ser un excelente profesional y por brindarme su ayuda en el desarrollo del mi trabajo de titulación.

A mi familia por su amor y ayuda incondicional.

A mis amigos que con sus consejos y compañía me motivaron a continuar siempre.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| RESUMEN | xix |
| ABSTRACT | xx |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS | 3 |
| | |
| CAPÍTULO I | 4 |
| 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL | 4 |
| 1.1 Antecedentes de la investigación | 4 |
| 1.2. Procesos de faenamiento en Centros de Faenamiento | 8 |
| <i>1.2.1 Descripción del proceso</i> | 8 |
| <i>1.2.2 Manejo de residuos en los centros de faenamiento</i> | 9 |
| <i>1.2.3 Tipos de residuos en centros de faenamiento</i> | 10 |
| <i>1.2.3.1 Flujo de materiales (lodos) de Centros de Faenamientos</i> | 11 |
| <i>1.2.4 Disposición final de lodos o tratamientos convencionales</i> | 12 |
| <i>1.2.4.1 Gestión actual</i> | 13 |
| <i>1.2.5 Compost</i> | 14 |
| <i>1.2.5.1 Definición</i> | 14 |
| <i>1.2.5.2 Características del compost</i> | 15 |
| <i>1.2.5.3 Factores que intervienen en el proceso del compost</i> | 15 |
| <i>1.2.5.4 Parámetros de control</i> | 17 |
| <i>1.2.5.5 Parámetros para evaluar la calidad del compost</i> | 21 |
| <i>1.2.5.6 Fases del compostaje</i> | 22 |
| <i>1.2.5.7 Sistemas de Compostaje: Abiertos y Cerrados</i> | 23 |
| <i>1.2.5.8 Tipos de Compost</i> | 25 |
| 1.2.6 Marco legal | 27 |
| <i>1.2.6.1 Comisión Europea 2014</i> | 27 |
| <i>1.2.6.2 EPA 2001</i> | 27 |

| | |
|--|----|
| 1.2.6.3 TULSMA LIBRO VI ANEXO VI | 28 |
| | |
| CAPÍTULO II | |
| 2. MARCO METODOLÓGICO | 31 |
| 2.1. Diseño experimental | 31 |
| 2.1.1. <i>Tipo y diseño de investigación</i> | 31 |
| 2.1.2. <i>Unidad de análisis</i> | 31 |
| 2.1.3 <i>Población de estudio</i> | 31 |
| 2.1.4 <i>Tamaño de la muestra</i> | 31 |
| 2.1.5 <i>Selección de la muestra</i> | 32 |
| 2.1.6 <i>Técnicas de recolección de muestra</i> | 32 |
| 2.1.7 <i>Diseño experimental</i> | 32 |
| 2.1.7.1 <i>Variable Dependiente</i> | 33 |
| 2.1.7.2 <i>Variables Independientes</i> | 33 |
| 2.2 Metodología | 33 |
| 2.2.1. <i>Revisión ambiental</i> | 33 |
| 2.2.2. <i>Pilas de compostaje</i> | 46 |
| 2.2.2.1. <i>Caracterización preliminar de los lodos del Centro de faenamiento y de poda</i> | 46 |
| 2.2.2.2. <i>Elaboración de pilas</i> | 58 |
| 2.2.2.3. <i>Control del proceso</i> | 60 |
| 2.2.2.4. <i>Evaluación de la calidad del compost</i> | 61 |
| | |
| CAPÍTULO III | 69 |
| 1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 69 |
| 3.1. <i>Análisis, interpretación y discusión de resultados.</i> | 69 |
| 3.1.1 <i>Análisis químico de los materiales iniciales: LC, P y A</i> | 69 |
| 3.1.2 <i>Evolución de temperatura en pilas durante el compostaje</i> | 71 |
| 3.1.3. <i>Evaluación de los principales parámetros durante el compostaje</i> | 73 |
| 3.1.4. <i>Evaluación de parámetros del compost final obtenido y comparación con normas para compost maduro</i> | 76 |

| | |
|------------------------------|----|
| CONCLUSIONES | 80 |
| RECOMENDACIONES | 81 |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1-1: Cantidad de subproductos generados por vacuno sacrificado. | 11 |
| Tabla 2-1: Máximos contenidos de metales pesados permitidos en abonos orgánicos en la Unión Europea | 19 |
| Tabla 3-1: Concentración máxima de metales pesados en compost | 26 |
| Tabla 4-1: Concentraciones máximas de metales pesados en compost producidos en base seca a lodos | 26 |
| Tabla 5-1: Parámetros a considerar en compost maduro | 27 |
| Tabla 6-1: Parámetros óptimos para compost final..... | 28 |
| Tabla 7-1: Niveles máximos permisibles de contaminantes básicos a monitorear en el punto de control | 28 |
| Tabla 8-1: Niveles máximos de concentración permitidos de contaminantes de un suelo en proceso de remediación o restauración. | 29 |
| Tabla 9-1: Criterios de Calidad del Suelo..... | 30 |
| Tabla 1-2: Levantamiento de la información de cantidad de residuos producidos en el Centro de faenamiento de Guaranda..... | 34 |
| Tabla 2-2: Órganos infectados decomisados por inspección post mortem | 44 |
| Tabla 3-2: Análisis físico-químico y químicos de materiales iniciales de los lodos de camal C y poda y aserrín. | 47 |
| Tabla 4-2: Análisis Químico de materiales iniciales y compost maduro..... | 51 |
| Tabla 5-2: Análisis químico de materiales iniciales y compost maduro..... | 58 |
| Tabla 7-2: Fechas de toma de muestras | 62 |
| Tabla 8-2: Análisis químico de muestras tomadas durante la evolución del proceso de compostaje y compost maduro | 62 |
| Tabla 9-2: Análisis biológico de muestras tomadas durante la evolución del proceso de compostaje y compost maduro..... | 63 |
| Tabla 7-2: Análisis físico de las muestras de compost maduro, tomadas al final del proceso... | 64 |
| Tabla 1-3: Resultado de análisis químico de los materiales iniciales de los lodos de camal, poda y aserrín..... | 69 |
| Tabla 2-3: Comparación de resultados de concentración de metales pesados en materias primas para compostaje..... | 70 |

| | |
|--|----|
| Tabla 3-3: Valores del ajuste de curvas de las 3 pilas..... | 73 |
| Tabla 4-3: Resultado de parámetros considerados en la evaluación del proceso de compostaje | 73 |
| Tabla 5-3: Concentraciones de nutrientes y metales pesados en compost maduros (Compost 1: 30% lodos camal, 20% poda y 50 aserrín; Compost 2: 30% lodos camal, 15% poda y 55% aserrín; Compost 3: 30% lodos camal, 10% poda y 60% aserrín) | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-2: Recepción del ganado | 37 |
| Figura 2-2: Corral de vacunos | 37 |
| Figura 3-2: Sacrificio de porcinos por corte en la yugular | 38 |
| Figura 4-2: Pelado de porcino con rodillo | 38 |
| Figura 5-2: Aturdimiento de la res..... | 39 |
| Figura 6-2: Sangrado de la res | 39 |
| Figura 7-2: Lugar para colocar patas y cabezas de las reses..... | 40 |
| Figura 8-2: Desollado o descuerado de la res | 40 |
| Figura 9-2: Corte de pecho con sierra..... | 41 |
| Figura 10-2: Evisceración de la res..... | 41 |
| Figura 11-2: Corte del canal | 42 |
| Figura 11-2: Lavado de vísceras | 42 |
| Figura 12-2: Inspección ante-mortem..... | 43 |
| Figura 13-2: Inspección post-mortem..... | 44 |
| Figura 14-2: Sellado con colorante vegetal. | 45 |
| Figura 15-2: Espacio donde canales reposan | 45 |
| Figura 16-2: Medio de transporte de canales | 45 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1-2: Proceso de faenamiento de bovinos en el Camal de Guaranda | 36 |
| Gráfico 3-2: Modelo para las pilas (P1, P2, P3) de compostaje..... | 59 |
| Gráfico 1-3: Evolución de temperatura en pilas durante el compostaje | 71 |
| Gráfico 2-3: Degradación de la MO | 72 |

ÍNDICE DE ACUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación para el cálculo de la humedad | 48 |
| Ecuación para el cálculo de MO | 51 |
| Ecuación para el cálculo de cloruros..... | 52 |
| Ecuación para el cálculo de nitratos..... | 54 |
| Ecuación para el cálculo de fosfatos | 55 |
| Ecuación para el cálculo de sulfatos | 57 |
| Ecuación para el cálculo de la densidad aparente | 65 |
| Ecuación para el cálculo del espacio poroso total..... | 66 |
| Ecuación para el cálculo de la capacidad de la retención de agua | 67 |
| Ecuación para el cálculo de la capacidad de aireación..... | 67 |
| Ecuación para el cálculo de la contracción de volumen..... | 68 |
| Ecuación para el cálculo de la pérdida de MO..... | 72 |

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Lodos orgánicos del Centro de faenamiento vertidos al río Guaranda

Anexo B: Inexistencia de tratamiento de Lodos orgánicos en el centro de faenamiento del Cantón Guaranda

Anexo C : Localización del centro de faenamiento del Cantón Guaranda

Anexo D: Pesaje de los lodos generados en el centro de Faenamiento del Cantón Guaranda-Provincia Bolívar

Anexo E: Muestreo de lodos del Centro de Faenamiento y residuos de poda de la Ciudad de Guaranda

Anexo F: Determinación de humedad de los lodos del Centro de Faenamiento y de residuos de poda del Cantón Guaranda

Anexo G: Análisis Físico-Químico- Determinación de Conductividad Eléctrica

Anexo H: Análisis Físico-Químico- Determinación de pH

Anexo I: Análisis Físico-Químico- Determinación de Materia Orgánica

Anexo J: Análisis Químico - Determinación de cloruros

Anexo K: Análisis Químico - Determinación de nitratos

Anexo L: Análisis Químico - Determinación de Fosfatos

Anexo M: Análisis Químico - Determinación de Sulfatos

Anexo O: Elaboración de pilas de compostaje

Anexo P: Localización del experimento

Anexo Q: Control del proceso de compostaje

Anexo R: Volteo de pilas

Anexo S: Análisis biológico- Índice de Germinación

Anexo T: Análisis físicos: Densidad aparente, densidad aparente compactada, espacio poroso total, capacidad de retención de agua, capacidad de aireación y contracción de volumen

Anexo V: Análisis físicos: Densidad aparente, densidad aparente compactada, espacio poroso total, capacidad de retención de agua, capacidad de aireación y contracción de volumen

ABREVIATURAS

| | | | |
|--------------------------|---|-----------------------|----------------------------|
| °C: | grados Celsius | MO: | materia orgánica |
| As: | arsénico | N: | nitrógeno |
| C/N: | relación Carbono-Nitrógeno | Na: | sodio |
| C: | contracción de volumen | NCh2880: | Norma Oficial Chilena |
| C: | carbono | Ni: | níquel |
| CA: | capacidad de aireación | NO3: | nitratos |
| CE: | conductividad eléctrica | NOM: | Norma Oficial Mexicana |
| Cl: | cloro | N_T: | nitrógeno total |
| Corg: | carbono orgánico | NTC: | Norma Técnica Colombiana |
| Cr: | cromo | P: | fósforo |
| CRA: | capacidad de retención de agua | P1: | Pila 1 |
| DA: | densidad aparente | P1: | residuos de poda muestra 1 |
| DR: | densidad real | P1-01: | muestra 1 de la pila 1 |
| dSm⁻¹: | decisiems por metro | P1-02: | muestra 2 de la pila 1 |
| EPA: | Agencia de Protección Ambiental | P1-03: | muestra 3 de la pila 1 |
| EPT: | espacio poroso total | P1-04: | muestra 4 de la pila 1 |
| FAO: | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura | P1-05: | muestra 5 de la pila 1 |
| Fe: | hierro | P1-07: | muestra 7 de la pila 1 |
| g: | gramos | P1-08: | muestra 8 de la pila 1 |
| Hg: | mercurio | P2: | Pila 2 |
| IG: | índice de germinación | P2: | residuos de poda muestra 2 |
| k: | constante de velocidad | P2-01: | muestra 1 de la pila 2 |
| K: | potasio | P2-02: | muestra 2 de la pila 2 |
| Kg: | kilogramos | P2-03: | muestra 3 de la pila 2 |
| L: | litro | P2-04: | muestra 4 de la pila 2 |
| LC1: | lodos de camal muestra 1 | P2-05: | muestra 5 de la pila 2 |
| LC2: | lodos de camal muestra 2 | P2-06: | muestra 6 de la pila 2 |
| m³: | metro cúbico | P2-07: | muestra 7 de la pila 2 |
| meq: | miliequivalente | P2-08: | muestra 8 de la pila 2 |
| mg: | miligramos | P3: | pila 3 |
| Mg: | magnesio | P3-08: | muestra 3 de la pila 3 |
| Mn: | manganeso | P3-01: | muestra 1 de la pila 3 |
| | | P3-02: | muestra 2 de la pila 3 |
| | | P3-03: | muestra 3 de la pila 3 |

| | |
|--------------------------|---|
| P3-04: | muestra 3 de la pila 3 |
| P3-05: | muestra 3 de la pila 3 |
| P3-06: | muestra 3 de la pila 3 |
| P3-07: | muestra 3 de la pila 3 |
| Pb: | plomo |
| PML: | producción más limpia |
| PO4⁻³: | fosfatos |
| s: | segundo |
| SO4⁻²: | Sulfatos |
| t: | tiempo transcurrido en días |
| Tma: | temperatura media ambiental |
| TmP1: | temperatura media de la pila 1 |
| TmP2: | temperatura media de la pila 2 |
| TmP3: | temperatura media de la pila 3 |
| TULSMA: | Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente |
| UpH: | Unidades de pH |

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo en aprovechar los lodos generados en el Centro de Faenamiento del Cantón Guaranda de forma técnicamente viable por medio de la elaboración de las pilas de co-compostaje y la evaluación de la calidad del producto final. Los tratamientos se realizaron mediante diferentes combinaciones de materias primas con las siguientes composiciones: 30% de lodos de camal, 20% de poda y 50% de aserrín para la pila 1; 30% de lodos de camal, 15% de poda y 55% de aserrín para la pila 2; y 30% de lodos de camal, 10% de poda y 60 % de aserrín para la pila 3. Se tomaron mediciones diarias de temperatura y pH de las pilas y temperatura ambiental. Se evaluó al inicio, durante y al final del proceso de compostaje: materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, relación C/N e índice de germinación. En el compost final se evaluó: materia orgánica, macro y micronutrientes y metales pesados, contracción de volumen, densidad real, capacidad de aireación, espacio poroso total, densidad aparente y capacidad de retención de agua. La pila 1 tuvo una mayor degradación de la materia orgánica que las otras, el pH subió en las 3 pilas hasta llegar al óptimo comprendido entre 6,5 y 8,5; la Conductividad Eléctrica (CE) ascendió de manera gradual. El índice de germinación llegó a ser mayor al 50%. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) aumentó considerablemente durante todo el proceso, las relaciones C/N_T fueron menor 25, las concentraciones de macro y micronutrientes aumentaron, la concentración máxima de metales pesados no fueron significativos y la comparación de la propiedades físicas de los 3 compost con la turba estuvieron dentro de los parámetros óptimos sugeridos por la norma. De acuerdo a los resultados mencionados anteriormente los 3 compost pertenecen a la Clase A, siendo aptos para uso agricultura. Se recomienda realizar otros estudios con diferentes residuos para determinar si se obtiene mejores resultados.

Palabras clave: <CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES>, <CO-COMPOSTAJE>, <BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL>, <LODOS DE CAMAL>, <RESIDUOS DE PODA>, <COMPOST>

ABSTRACT

The following investigation's objective is to take advantage of the sludge generated in the Guaranda Canton Faenamiento Center of a technically feasible way by means of the preparation of the co-composting piles and the evaluation the quality of the end product. The treatments were carried out by means of different combinations of raw materials with the following compositions: 30% camal sludge, 20% pruning and 50% sawdust for the pile 1; 30% camal sludge, 15% pruning and 55% sawdust for pile 2; and 30% camal sludge, 10% pruning and 55% sawdust for pile 3. It took daily measurements of temperature and pH of the piles and environmental temperatura. It was evaluated at the beginning, during and at the of the composting process: organic matter, pH, electrical conductivity, and cation exchange capacity, C/N ration and germination index. The final compost evaluated: organic matter, macro and micronutrients and heavy metals, volume contraction, real density, aeration capacity, total porous space, apparent density and water retention capacity. Pile 1 had a greated degradation of organic matter than the others, the pH rose in the piles until reaching the optimun comprised between 6.5 and 8.5; the CE ascended gradually. The germination index became > 50%. The CIC increased considerably during the whole process, the C/N_T ratios were < 25, the concentration of macro y micronutrientes increased, the maximum concentration of heavy metals was not significant and the optimal parameters suggested by standards. According to the mentioned results above, the 3 compost belong to Class A, being suitable for agriculture use. It recommended to perform other studies with different residues to determine if you get better results.

Keywords: <NATURAL EXACT SCIENCES>, < CO-COMPOSTING>, <ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY>, <CAMAL SLUDGE>, < PRUNING WASTE>, <COMPOST>

INTRODUCCIÓN

Identificación del problema

El Cantón Guaranda está ubicado en la provincia de Bolívar, este cuenta con una población 39.351 habitantes. La competencia de E.P-Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (E.P – EMAPA-G) es la conducción, regulación y disposición final, de todo residuo y de las implicaciones que pudiesen ocasionar en su trayecto al cuerpo receptor de la ciudad. Una de las principales preocupaciones en este sector es el manejo inadecuado de los residuos sólidos orgánicos generados en el centro de faenamiento de la ciudad junto al río Guaranda, localizado en el barrio el Peñón. Las actividades productos del faenamiento de diversas especies de ganado genera aproximadamente 1500 kg de residuos sólidos los días de feria (miércoles y sábado) y unos 900 kg los días particulares, faenándose aproximadamente 410 bovinos mensualmente y unos 25 porcinos cada semana, dependiendo de la demanda existente en los consumidores, según datos suministrados por la Dirección de Gestión Ambiental del Municipio de Guaranda.

Actualmente el centro de faenamiento de la ciudad, no cuenta con tratamiento alguno para los lodos orgánicos generados por los residuos del proceso de faenamiento, presentándose un problema severo, estos lodos son descargados al río Guaranda (Anexo A), ocasionando malos olores y la propagación de vectores, viéndose en la necesidad de plantear propuestas como el uso de tratamientos biológicos como alternativas de solución que permitan el aprovechamiento de estos lodos provenientes del proceso, con la finalidad de disminuir el deterioro paulatino del ambiente y preservar la salud de los habitantes del sector los que tienen derecho a vivir en un ambiente sano libre de contaminación de acuerdo a la Constitución Ecuatoriana (R.O. 449, 2008/10/20) Título II (Art.12.,14.,15., 30., y 32.), y el Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017 (Resolución No. CNP-002-2013, 2013/06 /24).

Justificación de la investigación

El agua es uno de los recursos naturales más empleados por todos los seres vivos que habitan en el planeta, a diario se generan millones de litros de aguas residuales por las actividades tanto industriales, comerciales y agropecuarias, siendo descargados en los cuerpos de aguas naturales alterando su estado natural, viéndose la necesidad de generar un tratamiento previo a la descarga para preservar el medio ambiente, cuidar los recursos hídricos y mantener estable la salud de la población (Delgado. G, 2005).

Actualmente los lodos orgánicos del centro de faenamiento de la ciudad de Guaranda no poseen tratamiento (Anexo B), estos son descargados al río Guaranda. Con el incremento de la población será mayor el número de ganado faenado y por ende la cantidad de residuos generados, ocasionando mayor contaminación, siendo necesario la implementación de un tratamiento adecuado, lo que lleva al planteamiento de propuestas de solución como es el uso de tratamientos biológico para su posterior aprovechamiento.

Un tratamiento adecuado de los lodos generados en el Centro de Faenamiento del Cantón, permitirá usar la materia tratada como abono orgánico para jardines y áreas municipales, bajo los parámetros establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana vigente, ayudando a preservar la salud de los habitantes del sector y con la posibilidad de un nuevo ingreso económico.

OBJETIVOS

General

Realizar el proceso de co-compostaje con poda para tratar los lodos generados en el centro de faenamiento del Cantón Guaranda y evaluar la calidad del compost obtenido.

Específicos

- Realizar la caracterización inicial de los materiales a utilizarse.
- Realizar el control del proceso de co-compostaje a través de la medición de parámetros físico-químicos, químicos, y biológicos.
- Evaluar la calidad del compost obtenido para uso con fines agrícolas

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes de la investigación

El Centro de Faenamiento de la ciudad de Guaranda, se encuentra a una altura de 2668 msnm, inició sus actividades en el sector del parque Nueve de Octubre, en donde existía además la lavandería pública, así como el seguro social, actualmente la asociación de jubilados y pensionistas del IESS. Luego se trasladó a las instalaciones del sector del Barrio el Peñón- Parque Camilo Montenegro manteniendo sus actividades operativas hasta la actualidad. Las actividades operativas del proceso de producción se realizan desde que ingresa el ganado al camal hasta que se entregan las canales y subproductos para su distribución, como son: la recepción, matanza, inspección y distribución (Carvajal Gavilanez, 2012).

La normativa ecuatoriana TULSMA define a los desechos como sustancias (sólidas, semi-sólidas, líquidas, o gaseosas), o materiales compuestos resultantes de un proceso de producción, transformación reciclaje, utilización o consumo, cuya eliminación o disposición final procede conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental nacional e internacional (TULSMA, 2008). En esta investigación se han utilizado a los que se los puede definir según el TULSMA como el conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico (putrescible o no) que no tienen utilidad práctica para la actividad que los produce, siendo procedente de las actividades domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se produzcan en una comunidad, con la sola excepción de las excretas humanas. En función de su producción, se clasifican en agropecuarias (agrícolas y ganaderos), forestales, mineros, industriales y urbanos, a excepción de los mineros, por sus características de localización, cantidades, composición, etc., los demás poseen numerosos aspectos comunes, desde el punto de vista de la recuperación y reciclaje (TULSMA, 2008).

A los residuos se los puede definir en función del estado físico que poseen como: residuos sólidos, líquidos y gaseosos además del uso de términos descriptivos según autores como Glynn J., Runnalls O.J.C. (1996). Dentro de estos residuos clasificados existe una definición abreviada de residuos peligrosos elaborada por Environmental Protection Agency (EPA), precisando que “residuos peligrosos significa un desecho sólido o combinación de ellos que; a causa de la concentración cantidad o características químicas, físicas o infecciosas puede producir o ayudar

de manera significativa a un aumento en la mortalidad o a un incremento en una enfermedad grave irreversible o reversible.

Se han realizado varias investigaciones que han demostrado evidencias satisfactorias vinculadas con el compostaje de residuos sólidos generados en centros de faenamiento con diferentes sustratos y la evaluación del compost obtenido, así podemos mencionar varias de ellas (*Biolodos*, 2015).

Dentro del proyecto de investigación “Propuesta Para la Producción Más Limpia en los Centros de Beneficio de Ganado en Risaralda”, auspiciado por COLCIENCIAS y la Universidad Tecnológica de Pereira, se implementó y evaluó a nivel piloto, el compostaje de subproductos derivados de las actividades productivas del Centro de Beneficio Animal “Guayabito” de Santa Rosa de Cabal, lo que permitió obtener como resultado, la generación de un fertilizante compuesto rico en N y P, de acuerdo a las características físico-químicas y bacteriológicas del compost obtenido (E. Guerrero and Monsalve, 2007).

En la Subestación Experimental Santander de CENICAFÉ-Colombia; se realizó una investigación experimental comparativa por medio de una prueba de campo en un lapso de 40 días, el compostaje de pilas windrow de peso total de 150 Kg de residuos de cacao, en las cuales se incorporaron microorganismos nativos para optimizar los procesos de compostaje. En este estudio se obtuvo compost, con características químico-físicas, que están dentro de los parámetros dados por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167 del 2004 (E. Guerrero and Monsalve, 2007).

En el congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria Ambiental en Lima, se indicó que un matadero es una fuente rica en residuos sólidos de alto contenido orgánico, estos residuos desaprovechados son: sangre, contenido ruminal, estiércol, uñas, cascos, restos de pelo entre otros. Siendo la composición del contenido ruminal fresco 85% de humedad, 9% de proteína, 25% de fibra y 7% de grasa, fósforo 0,36% y calcio 0,36%; y en seco 12% de humedad, 13% de proteína, 27% de fibra y 2% de grasa, pudiendo ser aprovechado en la alimentación animal, producción de compost o en los procesos de lombricultura por poseer buen contenido de proteínas y fibra (Altamirano and Cabrera, 2006).

Otros estudios interesantes relacionados a la temática de esta investigación están vinculados a la producción de compost utilizando residuos orgánicos producidos en el camal municipal aplicando los métodos de Takakura y Em-compost, para lo cual se recolectaron residuos sólidos urbanos de los hogares de la provincia de Chachapoyas, Región Amazonas, y residuos provenientes del centro de beneficio municipal (camal municipal). Del método Em-compost se obtuvo un compost

que tuvo como características fisicoquímicas materia orgánica 23,93%, carbono 13,29%, nitrógeno 1,31%, fósforo 0,54%, relación C/N 10,12; pH 7,5; conductividad eléctrica 5,02 dS/m, humedad 53,77%; densidad aparente 468,37 kg/m³; porosidad 87,98%; espacio de aire libre (FAS) 62,59%, olor a tierra húmeda y color negrozco (Fernández, 2014).

Con el fin de generar una propuesta de Producción Más Limpia (PML) acorde con las necesidades y situación socioeconómicas de los centros de beneficio animal (mataderos) en Risaralda-Colombia, se logró identificar que la actividad de mayor impacto común a este sector productivo, era el manejo inadecuado de subproductos tales como la sangre, rumen y estiércol cuya cantidad aportada por vacuno fue de 15,45Kg, 15Kg, y 2Kg; nitrógeno 7%, 5% y 1,5%; relación C/N 9,4 y 25; humedad 97%, 45% y 15% respectivamente. Como estrategia de PML que se ofertó se dio una solución económica viable y técnicamente pertinente para el tratamiento y disposición de estos subproductos, se identificó el proceso de compostaje, ya que éste, permite el tratamiento conjunto de dichos subproductos sin incurrir en altos costos, y al mismo tiempo obtener un producto denominado “compost”; que puede ser aprovechado como enmienda o abono. De acuerdo a la características físico-químicas que presente (Portillo and Lara, 2014).

Durante el compostaje de 35 días de estiércoles procedentes de bovino, borrego y cabra en la Universidad Autonomía Agraria “Antonio Navarro”-México, se alcanzó temperaturas más altas de 41 grados Celsius durante 4 días, en el estiércol de bovino, en el caso de los estiércoles de cabra y borrego su temperatura máxima fue de 45,92°C, el estiércol de bovino terminó en un rango de pH entre 8,50 – 8,75 los demás estiércoles terminaron con pH entre 9,0-9,50. En cuanto a la CE, el estiércol de bovino inicial de 5,41 dSm⁻¹, disminuyendo a los 7 días a valores menores de 2 dSm⁻¹, para posteriormente incrementarse hasta 5.1 dSm⁻¹, manteniéndose sin superar los 3 dSm⁻¹, en las deyecciones de bovino lechero, los valores iniciales de CE fueron de 1,158 dSm⁻¹, después estos disminuyeron con el compostaje; en el estiércol de cabra la CE tuvo un comportamiento similar a la del de borrego, debido a que iniciaron con una CE de 1.548 dSm⁻¹ aproximadamente, disminuyendo durante los 15 días de compostaje, pero volviéndose a incrementar a partir del día 16 alcanzando valores de 1,806 dSm⁻¹. Los valores de CE finales fueron inferiores a los iniciales, lo que quiere decir que la CE disminuyó con el proceso de compostaje (E. Guerrero and Monsalve, 2007).

En el centro de faenamiento de la parroquia de Julio Andrade, Carchi-Ecuador, se obtuvo un abono orgánico como es el compost, donde se evaluó la mezcla de tres porcentajes de desechos orgánicos con mezclas diferentes de contenido ruminal y sangre, procedentes del centro de faenamiento antes mencionado, con el objeto de aprovechar y valorar los nutrientes que éstos contienen (Chango and Simbaña, 2016).

La Ilustre Municipalidad de Ambato conjuntamente con la empresa UNICONMAC CIA. LTDA en junio del 2005, realizaron un estudio de impacto ambiental EX - POST faenamamiento del Camal Municipal de Ambato dando como resultado que los procesos de faenamamiento producen una contaminación permanente en cuanto a deterioro del aire, contaminación del agua y suelo por los agentes contaminantes tales como: sangre, estiércol, cuernos, pesuñas, huesos y decomisos (Ordóñez, 2015).

Mediante la información presentada relacionada con la composición de los residuos generados por las actividades de los camales, se genera la posibilidad de destacar estudios que reflejen la factibilidad de reciclaje, tratamiento, investigación, e identificación de residuos, entre otros. Algunos desechos descritos en el anterior estudio son los que se generan en la actualidad en el centro de faenamamiento de la ciudad de Guaranda, y cuyo manejo ambiental es inadecuado, por lo que es necesario la aplicación de Sistemas Integrados Sostenibles para su Tratamiento.

La alternativa del compostaje de lodos es promisoría ya que genera beneficios ecológicos, económicos y sociales. En el campo ecológico el compostaje minimiza la descarga directa de los lodos provenientes de las plantas de tratamiento a los cuerpos de agua y ayuda en la recuperación de suelos. En el ámbito económico al obtener un producto comercial como es el compost a partir de un residuo se generan ingresos.

En lo social se genera empleo logrando mayor equidad. Por lo que el objetivo de esta investigación es el estudio del co-compostaje de los lodos generados en el centro de faenamamiento del Cantón Guaranda con residuos de poda para obtener compost con posible uso agrícola a la vez que evaluar la calidad del compost obtenido.

1.2. Procesos de faenamiento en Centros de Faenamiento

1.2.1 Descripción del proceso

De acuerdo a los parámetros establecidos por la FAO se puede considerar el siguiente proceso para el sacrificio y faenamiento de ganado:

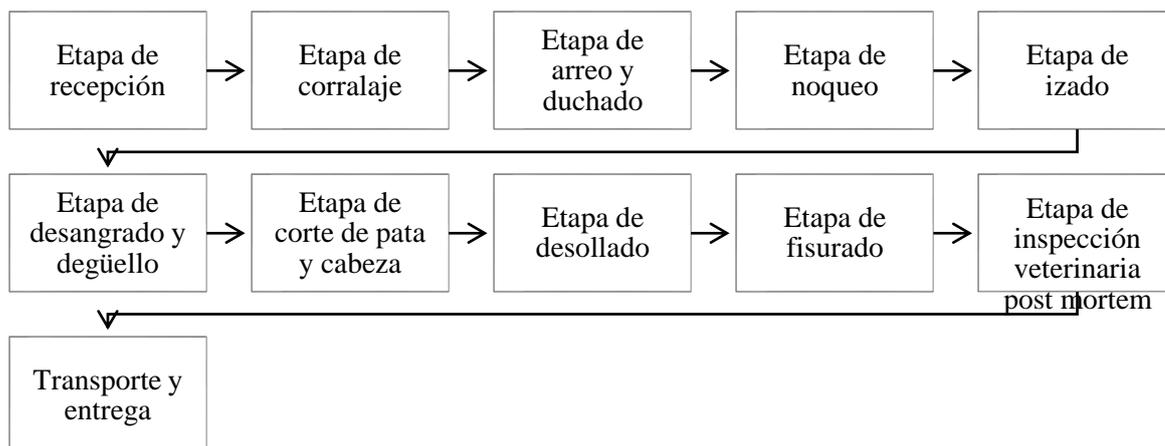


Gráfico 1-1: Proceso del faenamiento de ganado.

Fuente: (Román, Martínez and Pantoja, 2013)

A continuación se desglosa las actividades relacionadas con los procesos que se realizan en los centros de faenamiento (Román, Martínez and Pantoja, 2013).

- Etapa de recepción.- La primer etapa de faenamiento consiste en la incautación de los animales los cuales deben poseer la documentación de Guía dada por AGROCALIDAD, los animales son identificados; pesados y ubicados en el sitio correspondiente (corrales), para que puedan cumplir con las medidas de prevención, durante el tiempo que determine la ley.
- Etapa de corralaje.- En esta etapa los animales; cumplen un tiempo de hospedaje en el que son hidratados y pasan por un proceso de relajación muscular y descanso.
- Etapa de duchado y arreo. – Luego de haber cumplido con los tiempos sanitarios y cancelado las tasas necesarias por el servicio de faenamiento del ganado, estos son trasladados al duchado para darles un aseo inicial.
- Etapa de noqueo.- Con la aplicación de una pistola neumática, se anestesia al animal a ser faenado para evitar en lo posible el sufrimiento a la hora del degüello.

- Etapa de izado.- El animal es colgado de las patas traseras, en un gancho insertado a un riel para que su movilidad sea fácil en la etapa de desangrado y demás pasos del proceso de faena.
- Etapa de desangrado y degüello.- Se realiza un corte en la arterias del cuello del animal colgado para que este desangre, la sangre es almacenada en una canaleta.
- Etapa de corte de pata y cabeza.- En esta etapa se cortan las patas y la cabeza del ganado.
- Etapa de desollado.- Es un proceso que se realiza mecánicamente entre el cuero y la carnosidad.
- Etapa de eviscerado.- Se extraen las vísceras u órganos internos del animal.
- Etapa de fisurado.- Con una sierra eléctrica se realiza una incisión longitudinal del esternón y la columna vertebral del animal faenado.
- Etapa de inspección veterinaria post mortem.- La carne y vísceras obtenidas del faenamiento de los animales son revisadas cuidadosamente por el médico veterinario para asegurar su estado sanitario e integridad física.
- Etapa de desinfección e higiene.- Es la colocación de ácido orgánico o agua a presión sobre las superficies externas, para desinfectar al animal de posibles contaminaciones propias del eviscerado y manipulación.
- Transporte y entrega.- Se realiza el traslado de las canales desde el camal a las distintas terceras, asegurándose que sea con el máximo aseo posible.

1.2.2 Manejo de residuos en los centros de faenamiento

Luego del sacrificio del ganado se produce gran cantidad de residuos sólidos, líquidos y gaseosos los cuales son vertidos directamente a los sistemas de alcantarillado en las grandes ciudades o a los ductos o cauces abiertos en las pequeñas parroquias, generándose situaciones graves de contaminación (Apaza, 2013).

- **Características principales**

Las características principales de los lodos son el contenido en microorganismos, la biocenosis de los lodos dan información sobre las condiciones y estructura de los lodos. Los lodos varían mucho dependiendo de su origen, de su edad, mientras que la cantidad de lodo producido es muy variable, esta depende del proceso de tratamiento usado, de las características del agua, del grado de tratamiento previo, del tiempo de sedimentación, de la densidad de sólidos, del contenido de humedad, del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos (Bayas, 2016).

1.2.3 Tipos de residuos en centros de faenamiento

A. Residuos líquidos de camales

Los residuos líquidos se producen luego de haber consumido el agua en centros de faenamiento entre 2 y 15 m³ de agua, convirtiéndose de este el 80 al 95% en efluente; el efluente de camales tiene muchos niveles de materia orgánica, por la presencia de estiércol, sangre, grasa, sal, fosfatos, nitratos y alta temperatura; la contribución más grande a la carga orgánica es la sangre seguido por la grasa, la sangre también es el mayor colaborador del contenido de nitrógeno en el efluente del centro de faenamiento, la sal y el fósforo se originan por la presencia de estiércol y el contenido estomacal en el efluente; las diferenciaciones de pH se dan debido a la presencia de agentes limpiadores ácidos o cáusticos. Por tanto el tipo del efluente depende en la magnitud en la cual la sangre, grasa, estiércol y contenidos estomacales son emanados del camal (Márquez, Blanco and Capitán, 2012).

B. Residuos sólidos

Los residuos sólidos ayudan a la contaminación de ríos y acuíferos subterráneos, por la infiltración en el suelo de los lixiviados y por el arrastre de las lluvias llegando a incidir en la calidad de las aguas marítimas; infectando las reservas disponibles de agua y provocando el colapso de los espacios para disponer los residuos así como el encarecimiento de los costos de tratamiento, entre otros efectos. Sin embargo, la problemática del manejo integral de los residuos sólidos está acompañada de oportunidades para el desarrollo sostenible, no sólo por el ahorro de los pasivos ambientales y los gastos en salud, sino también por las ventajas económicas y sociales producidas por la recuperación de materiales comerciales.

La manera de encarar la problemática está relacionada con los conceptos actuales de evitarlos y disminuirlos (Chango and Simbaña, 2016).

Así los residuos sólidos generados por un centro de faenamiento son: subproductos no aprovechados (cuernos, pezuñas, pelos, cascots, otros), grasas y sebos, estiércol, contenido ruminal y decomisos de matadero (Chávez, 2012).

Tabla 1-1: Cantidad de subproductos generados por vacuno sacrificado.

| Subproducto | Cantidad Aportada por vacuno sacrificado |
|------------------|--|
| Rumen | 15 Kg |
| Estiércol | 2 Kg |
| Sangre | 15 L =15.45 Kg |
| Decomisos | 2 Kg |
| Tendido (viruta) | 50 Kg |

Fuente: (E. Guerrero and Monsalve, 2007).

Realizado: Chimbo Victoria, 2018

La posibilidad de dar tratamiento a los residuos generados en los centros de faenamiento es una necesidad económica y de higiene pública. Las heces, orina, sangre, pelusa, lavazas y residuos de la carne y grasas de las canales, los suelos, los alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados y de vapor condensado procedente del tratamiento de los despojos son la principal fuente de contaminación de las aguas residuales de los centros de faenamiento ('CAPTULO IV LODOS', no date)

1.2.3.1 Flujo de materiales (lodos) de Centros de Faenamientos

Son los lodos provenientes de centros de faenamiento que están compuestos en especial por materia orgánica removida del agua, que depende de la cantidad de sangre la cual eventualmente se descompone y causa los mismos efectos indeseables del agua residual cruda, lodo crudo debido a que no ha sido tratado ni estabilizado y puede extraerse luego de finalizar el proceso de faenamiento y que tiende a producir la acidificación de la digestión y produce olor (Velazco, 2014).

a) Estiércol

(Sztem y Pravia, 1999) refieren que el estiércol es una mezcla de heces, orines y desperdicios. La composición físico-química del estiércol puede variar de una producción agropecuaria a otra, dependiendo también del tipo de ganado, de la dieta, y de las condiciones bajo las cuales se produce el estiércol.

b) Contenido Ruminal

Los rumiantes son mamíferos que se han especializado en consumir material vegetal fibroso, que las enzimas digestivas son incapaces de degradar, pero mediante la fermentación que proporcionan los microorganismos que viven en simbiosis en el rumen, son aprovechados

(Portillo and Lara, 2014). Entonces, el estómago de los rumiantes se encuentra constituido por cuatro compartimientos, rumen, retículo, omasum, abomasum, sólo el último produce enzimas digestivos capaces de degradar alimentos, el rumen nunca se vacía, pero con ayuno prolongado el contenido puede llegar a ser cada vez más fluido (Velazco, 2014). En bovinos el volumen es de unos 48 L o 15-21% del peso corporal (Alcolea and González, 2000); (Phillipson, 1981) reportan contenidos ruminales de 30-60 Kg en los bovinos variando con la dieta y la tasa de pasaje a través del tubo digestivo. La materia seca en el contenido ruminal se encuentra entre 10 y 15% (Chávez, 2012), otros autores estiman que oscila desde menos de 7% hasta más de 14% del peso fresco del material ruminal de ganado vacuno (Mullo, 2012).

c) Sangre

En el matadero de Santa Cruz de Malambo Atlántico – Colombia, el volumen de sangre por res se considera el 4% del peso del animal; por lo tanto, de un animal de 482.75 Kg se debería recuperar 19,31 Kg de sangre por res; pero, según los resultados y reportes se recoge en promedio 9,36 Kg de sangre por res lo que es sólo el 48,47% del volumen total recuperable (Sanveyn and Eder, 2014).

d) Efluente

La composición de las aguas residuales de un rastro o matadero depende, fundamentalmente, de la especie que se procesa. En general contienen sangre, excremento, contenido ruminal o estomacal, grasa y huesos (Chango and Simbaña, 2016).

El efluente producido en un matadero corresponde a 1700 litros de agua por res procesada aumentando está en un 25% si se lleva a cabo el tratamiento de los productos no comestibles (Sanveyn and Eder, 2014), mezclada en diferentes grados con sangre, grasas, contenidos de estómago y vísceras, y aguas de lavado.

1.2.4 Disposición final de lodos o tratamientos convencionales

En general, se debe considerar la disposición final como la última opción dentro de una estrategia general de manejo de lodos. La disposición dependerá del tipo de lodo. Los sitios de disposición deberán contar con sistemas técnicos de operación y diseño sencillos, con mínimos requerimientos de operación, control, supervisión y mantenimiento (Cruz, 2016).

Antes de poder aprovechar o disponer los lodos, éstos deben ser estabilizados para reducir la atracción de vectores, los olores y los riesgos a la salud. Además, los lodos deben ser desaguados para reducir su volumen (Limón, 2013a).

1.2.4.1 Gestión actual

En México, la generación de biosólidos es de aproximadamente 650,000 t-año⁻¹ en base seca mientras que en los Estados Unidos alcanza 6.3 millones de t-año⁻¹ en base seca. La Norma Oficial Mexicana (NOM-004-SEMARNAT-2002) contiene los lineamientos para el manejo y la disposición final de lodos orgánicos y biosólidos en México, con el fin de proteger el ambiente y la salud humana (SEMARNAT, 2003). De acuerdo a esta norma, los biosólidos pueden tener uso forestal, como mejoradores de suelo y en suelos agrícolas, siempre y cuando pertenezcan al menos al tipo “bueno” y a la clase “C (García, 2011).

Según (Limón, 2013a), actualmente se utilizan varias técnicas de gestión ambientalmente amigables para la gestión de estos tipos de residuo, las que se exponen a continuación:

a) Estabilización de lodos

La estabilización de lodos es un proceso que tiene las ventajas de reducir la masa y volumen de éstos, facilitar el desaguado y reducir los organismos patógenos, olores y atracción de vectores. Los cuatro métodos más comunes para estabilizar los lodos son: Digestión anaerobia, Digestión aerobia, Composteo, Adición de cal.

b) La digestión anaerobia

Es el proceso con mayores ventajas, sin embargo, su costo de construcción es más elevado, los digestores requieren de una gran cantidad de equipos periféricos, requiere que los lodos sean calentados, el agua en el lodo contiene una elevada concentración de amoníaco y se desestabiliza si no se lleva un buen control de la operación.

c) La digestión aerobia

Se usa típicamente en plantas de tratamiento con capacidades menores a 220 L/s (Water Environment Federation, 2010). Este tipo de estabilización, aunque tiene un menor costo de construcción que la digestión anaerobia, presenta la desventaja de que el costo de operación es más elevado, ya que requiere suministro de aire para estabilizar los lodos.

d) La estabilización alcalina

Se la realiza con adición de cal la cual presenta la ventaja de una inversión menos costosa y es más fácil de operar que los otros procesos. Sin embargo, este proceso tiene la gran desventaja de que los biosólidos producidos pueden regresar a su estado inestable si el pH cae después del tratamiento, lo que ocasiona el crecimiento de nuevos microorganismos. Otros problemas son los olores y el costo de la cal o material alcalino, que además incrementa la masa de los biosólidos a disponer.

e) Desaguado de lodos

El proceso de desaguado consiste en remover el agua de los lodos para tener un material que pueda ser utilizado o dispuesto en algún sitio. En este proceso se tienen dos productos: una torta con características similares a un material sólido, y un sobrenadante con concentraciones elevadas de contaminantes.

f) El composteo

Se usa generalmente en los lodos que serán utilizados como mejoradores o acondicionadores de suelos. Este proceso requiere de mano de obra intensiva y puede generar olores. Además, puede incrementar la masa de biosólidos a disponer y transmitir los patógenos por medio del polvo que genera (Masabni, no date).

1.2.5 Compost

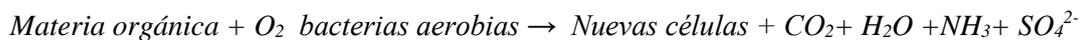
1.2.5.1 Definición

El compostaje es un proceso de degradación aerobia bacteriana de residuos orgánicos hasta lograr la estabilidad. El compost final, es un producto estable y sanitizado, con alto contenido de sustancias húmicas que puede adaptarse al suelo para mejorar sus características; sin causar perjuicios al medio ambiente. Tiene importantes contenidos de nutrientes y materia orgánica fundamentales para las plantas (Altamirano and Cabrera, 2006).

El compostaje de los residuos orgánicos es un proceso biotecnológico que combina fases mesófilas y termófilas, sumamente eficaz en la descomposición y estabilización de la materia orgánica como consecuencias de las actividades metabólicas combinadas de una amplia gama de

microorganismos, cuyo crecimiento está condicionado por la temperatura de la masa, el porcentaje de humedad y la concentración de oxígeno, así como la naturaleza variable del sustrato. El compostaje es, por tanto, un proceso de transformación microbiana de la materia orgánica. Las poblaciones que intervienen varían continuamente, sustituyéndose unos grupos a otros, ya que el carácter dinámico del proceso implica aparición gradual de diferentes sustratos y distintas condiciones ecológicas (Emetrio, 2013).

El compostaje es un proceso de transformación de la materia orgánica para obtener compost; un abono natural. El compostaje es la descomposición aeróbica de la materia orgánica, los microorganismos llevan a cabo este proceso como sigue ('CAPTULO IV LODOS', no date).



Aproximadamente el 20-30 % de los sólidos volátiles se convierten en agua y dióxido de carbono. Conforme se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica contenida en los lodos, la temperatura se eleva hasta alcanzar 50 a 70 ° C, lo cual permite la eliminación de organismos patógenos entéricos (García, 2006).

1.2.5.2 Características del compost

Las propiedades del compost cambian dependiendo del material orgánico de partida, el tipo de proceso de compostaje utilizado y el tiempo de duración de las etapas del proceso; pero pueden asemejar algunas características comunes como: alta capacidad de intercambio de cationes, baja relación carbono-nitrógeno, color marrón, naturaleza continuamente cambiante por acción de microorganismos y alta capacidad de absorción de agua. Las composiciones normalmente exigidas para el compost cambian de un país a otro; pero se recalcan las exigencias respecto al pH; relación carbono/nitrógeno (C/N); humedad y a la presencia o ausencia de metales pesados (Portillo and Lara, 2014).

1.2.5.3 Factores que intervienen en el proceso del compost

Según (En and Sanitaria, 2000), la mezcla de los distintos residuos orgánicos y su grado de trituración son variables del máximo interés. Un buen progreso requiere la aportación de aire y el mantenimiento de una porosidad y humedad adecuada en la masa. Son variados y complejos los factores que actúan en el proceso de biotransformación. La descomposición eficiente ocurrirá si las siguientes variables están en su valor óptimo, en la medida de lo posible. Todas están, a su vez, influenciadas por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar, la técnica de

compostaje, la manera en que se desarrolla la operación y la interacción entre ellas. Los principales parámetros a considerar con los que se muestran a continuación:

a) Oxígeno

Para obtener un compostaje mucho más rápido es indispensable un buen aporte de O₂. El oxígeno se requerido para que los microorganismos puedan descomponer eficazmente la materia orgánica. Debe ser suficiente para mantener la actividad microbiana. También existe la descomposición anaerobia, sin O₂. El proceso es mucho más lento, da lugar a un producto de inferior calidad y hay problemas de olores por la putrefacción de los restos orgánicos. Por esas razones no es aconsejable en zonas residenciales (Velazco, 2014).

En el proceso intervienen microorganismos aerobios, es decir utilizan oxígeno para crecer y desarrollarse, por lo que los residuos o mezcla de residuos que se quieren compostar deben tener una cierta porosidad que asegure la existencia en su interior de suficiente espacio para el aire. La concentración de oxígeno va a depender del tipo del material de partida, humedad, textura, de la presencia o ausencia de aireación forzada y periodicidad de volteo (Chango and Simbaña, 2016).

b) Contenido de nutrientes.

Todos los organismos necesariamente utilizan nutrientes para desarrollarse y reproducirse adecuadamente. Las cantidades de nutrientes son variantes de elemento a elemento así se tiene una relación constante entre unos con otros. El equilibrio es muy importante para el carbono y nitrógeno. Al comienzo del proceso la relación C/N tiene que ser aproximadamente de 30; añadiendo; si es necesario, elementos carbonatantes o nitrificantes y al finalizar el proceso debe estar cercana a 10, ya que si la relación C/N es elevada, disminuirá la actividad biológica (Iglesias, 2003).

Son objeto de compostaje los materiales que son biodegradables; es decir asimilables por los microorganismos, teniendo en cuenta que para ello deben poseer una cantidad equilibrada de elementos nutritivos. Es de vital importancia que la relación se comprenda entre 25:1 y 35:1. Si es que la relación C/N es muy elevada, se da un proceso lento, debido a la falta de nitrógeno para revestir las necesidades de los microorganismos y si es muy baja la relación, se da un fenómeno de autorregulación que conlleva a la pérdida del nitrógeno sobrante en forma de amoníaco (Barros and Gonzales, 2007).

c) Materiales

Cualquier cosa que haya crecido en un jardín contiene alimentos potenciales para estos pequeñísimos trabajadores. Así mismo, el carbón y nitrógeno de las células muertas abastecen su actividad, ya que de los residuos utilizan el carbono como su principal fuente de energía; y el nitrógeno para elaborar proteínas con lo que construyen sus cuerpos (García, 2011).

d) Volumen

Cuando una pila es grande da lugar a la retención del calor de la actividad microbiológica, debido a que el centro será muchos más cálido que los bordes, con menos de 50 cm de lado habrá dificultades para mantener el calor; pero a más de 100 cm se dificulta el paso de aire para la vida microbiana (Márquez, Blanco and Capitán, 2012).

e) Superficie

Es recomendable triturar los residuos con los que se vaya a trabajar, de tal manera que sean mucho más asimilable por los microorganismos ya que degradan de manera eficiente los materiales con los que se trabajan acelerando el proceso de compostaje (García, 2011).

1.2.5.4 Parámetros de control

- **Material inicial**

a) Relación C/N

Para un adecuado proceso de compostaje en el que se obtenga y retenga la mayor cantidad del C y del N, la relación C/N del material de partida debe ser la óptima. Los microorganismos usan generalmente 30 partes de C por cada una de N, por lo que se considera que el intervalo de C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35 (Márquez, Blanco and Capitán, 2012).

Una excelente relación C: N es indispensable para suplir un sustrato adecuado para el desarrollo de los microorganismos, los cuales aceleran el proceso de biodegradación y mejora la calidad del producto final. Una relación muy alta aplaza el proceso de descomposición, en cambio una muy baja, hace que pierda N por falta de estructuras de carbono que permitan su retención (Hansen et al. 1993; citado en Soto y Muñoz, 2002). En la fase inicial de compostaje, los microorganismos consumen entre 15 y 30% más carbono que nitrógeno. Por lo que una relación 30:1 se considera favorable; esta se estabiliza entre 15 y 8 al final del proceso (Soto y Muñoz, 2002).

b) Granulometría

Está relacionada con el aspecto y facilidad de manejo y puede condicionar su uso. Este parámetro es muy importante cuando el destino del material vaya a ser el de sustrato. En ciertos casos una granulometría muy fina, además de dar problemas en la utilización (exceso de polvo); puede ser debida a un tratamiento de molturación final para tapar impurezas. Al querer utilizar cualquier tipo de materiales a compostar se debe tener mucho cuidado con el tamaño (5 cm aproximadamente), debido a que mientras más pequeña sea la partícula, más rápida será su descomposición (Montserrat Soliva and López, 2004).

La disminución del tamaño de las partículas de los sustratos incrementa el área de contacto y por consiguiente, la actividad microbiana y por ende la degradación de los materiales. Sin embargo, las partículas muy pequeñas limitan el flujo de aire. Se debe contar con un diámetro óptimo de 10-50 mm (Dalzell et al. 1991, Mustin 1987 citado en Soto y Muñoz, 2002).

c) Materia orgánica

La materia orgánica presente en estos residuos a diferencia de otros, contiene elementos orgánicos (proteínas, azúcares simples, ácidos orgánicos, aminoácidos, péptidos, u otros compuestos) considerados de fácil degradación por los microorganismos del suelo, quedando degradado en un periodo de tiempo relativamente corto (García, 2011).

La materia orgánica reacciona con los metales formando complejos de cambio o quelatos. La adsorción puede ser tan fuerte que queden estabilizados, como el caso del Cu, o formen quelatos también muy estables, como puede pasar con el Pb y el Zn. En muchos casos se forman complejos organometálicos lo que facilita la solubilidad del metal, la disponibilidad y dispersión porque pueden degradarse por los organismos del suelo. Esto conduce a una persistencia de la toxicidad (García, 2011).

d) Metales pesados

El contenido de metales es una de las mayores preocupaciones de los países desarrollados. En gran parte, esto se debe a que muchos compost se elaboran a partir de lodos urbanos o biosólidos que puede tener altos contenidos de metales pesados. Los compost de desechos vegetales no presentan riesgos tan altos de contaminación. Los niveles permitidos por los diferentes países han sido modificados frecuentemente, y pueden variar mucho de un país a otro. Es importante revisar la información más reciente y, si se quiere exportar abono a esos países, conocer la legislación específica (Tabla 2-1) (Soto and Meléndez, 2004).

Tabla 2-1: Máximos contenidos de metales pesados permitidos en abonos orgánicos en la Unión Europea

| Metal | Rango de la Unión Europea ^(z) | Estados Unidos (biosólidos) ^(y) | Canadá (g/g) ^(x) |
|-------|--|--|-----------------------------|
| Cd | 0.7 - 1.0 | 39 | 310 |
| Cr | 70 – 200 | 1200 | 50 |
| Cu | 70 -600 | 1500 | 1500 |
| Hg | 0.7 – 10 | 17 | 0.15 |
| Ni | 20 – 200 | 420 | 150 |
| Pb | 70 – 100 | 300 | 150 |
| Zn | 210 – 4000 | 2800 | 500 |

Fuente: ^(z) Brinton (2000), ^(y) Henry (1991) y ^(x) Gies (1992) Comparado con el contenido permitido en Estados Unidos y Canadá en mg/Kg de materia seca.

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- *Durante el proceso*

a) Temperatura

La temperatura es el parámetro que indica el mejor desarrollo del proceso. Debe estar entre 35 – 65 °C, debido a que cada microorganismo tiene una temperatura óptima para realizar su función; criófilos, de 5 a 15 °C, mesófilos, de 15 a 45 °C, o termófilos, de 45 a 70°C. El microorganismo favorecido va a descomponer la materia orgánica para tener materia y energía, así se emitirá calor que hará variar la temperatura de la pila de residuos, esto dependerá del volumen de la pila y de las condiciones ambientales (Masabni, no date).

Por lo general, las temperaturas obtenidas en el proceso, junto con la competencia por los nutrientes y la producción de fermentos (antibióticos) que impiden su desarrollo llegan a eliminar los microorganismos patógenos, parásitos y semilla de malas hierbas llegados con los residuos, a temperaturas demasiado elevadas mueren determinadas especies buenas para el compost, mientras que otras no actúan por estar en forma de espora (Limón, 2013b).

Las temperaturas del proceso se consiguen de forma natural debido al calor generado en el proceso. La primer elevación de la temperatura indica que empezó el proceso biológico; con el cual se eliminan gérmenes patógenos y semillas perjudiciales para las plantas, su posterior evolución determina el tipo de microorganismo que esté actuando en ese momento (Guillin. L, 2015).

b) pH

En el proceso influye la acción de los microorganismos; los hongos toleran un margen de pH entre 5 y 8; por lo contrario las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia, por lo que se consideran pH's óptimos en el compost maduro entre 6,5 y 8,5. (J. Guerrero and Monsalve, 2007).

Comúnmente, este parámetro recibe poca atención desde el punto de vista de aplicación, pero es importante tenerle en cuenta durante el desarrollo del proceso a lo largo del cual sufren variaciones. Los pH's ácidos indican condiciones anaerobias y pH muy altos están relacionadas con el contenido en nitrógeno amoniacal y carbonatos solubles (M Soliva and López, 2004).

c) Conductividad eléctrica

La CE es elevada en general en materiales compostados, pero también valores excesivamente elevados pueden relacionarse con un mal control del proceso con materiales contaminados o con riesgos excesivos con lixiviados o con aguas salinas. La conductividad eléctrica del compost está dada por la naturaleza y composición del material inicial, por la concentración de sales y en menor estancia por la presencia de iones amonio o nitrato durante el desarrollo. La CE aumenta generalmente durante el proceso de compostaje por a la mineralización de la materia orgánica; hecho que genera un ascenso de la concentración de nutrientes. Ocurre a veces una disminución de la CE durante el proceso, lo que puede atribuirse a fenómenos de lixiviación; inducidos por una humectación excesiva de la misma (Márquez, Blanco and Capitán, 2012).

d) Humedad

En teoría, los valores de humedad para que pueda darse una fermentación aerobia están entre el 30% y el 70%, siempre que se asegure una buena aireación. En la práctica se deben evitar valores altos, pues trasladaría el aire de los espacios entre partículas de los residuos y el proceso pasaría el aire de los espacios entre partículas del residuo y el proceso pasaría a anaerobiosis. Si la humedad es demasiado baja disminuirá la actividad de los microorganismos. Para conseguir la humedad adecuada se pueden mezclar distintos tipos de residuos y triturar o desfibrar los materiales. La humedad adecuada es esencial para la actividad microbiológica. Una pila seca no favorecerá para nada la descomposición, por eso se debe humedecer periódicamente (Márquez, Blanco and Capitán, 2012) .

Para el transporte de los alimentos y productor de putrefacción es necesaria la presencia de agua. Es importante que alcance niveles óptimos 40 y 60%, ya que si el contenido de humedad es muy elevado, el agua llegaría a ocupar todos los poros y el desarrollo se volvería anaerobio; es decir, se

produciría una putrefacción de la materia orgánica y si el contenido de humedad es muy bajo se reduce la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento o incluso puede llegar a interrumpir la actividad microbiana (The US Composting Council, 2001).

f) Materia orgánica

La materia orgánica incluye materiales que se pueda utilizar durante el proceso como: desperdicios de cocina, hojas, recortes de pasto, estiércol, etc. El tamaño de los materiales en la pila de compostaje tiene una gran influencia sobre el tiempo que toma la descomposición. Entre más pequeñas sean las partículas, los microorganismos pueden descomponer los materiales más rápido (Masabni, no date).

Los lodos residuales se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica. Se considera que los lodos residuales cuentan con un 50 % de MO, entonces estos biosólidos son susceptibles a ser aplicados a suelos, previos estudios y caracterización física y química (Garcia, 2011).

1.2.5.5 Parámetros para evaluar la calidad del compost

- **Macronutrientes y micronutrientes**

Los resultados de estos parámetros son fundamentales para evaluar la calidad del compost. Entre los cuales están el Zn, Mn, Cu, Fe, Mg, Ca, N, P, N, y C; estos elementos al ser asociados al suelo serán absorbidos por las plantas. Por lo que es fundamental que el compost maduro sea rico en estos nutrientes puesto que son indispensables para el suelo (Guerrero, 2005, p.10).

- **Metales pesados**

El existencia de metales pesados en el compost maduro hace que la calidad del producto, afectando al suelo siendo absorbidos por las plantas para posteriormente llegando a los animales y el hombre. Las concentraciones de metales pesados pueden variar dependiendo del tipo de residuos que haya sido utilizado para la elaboración de compost (Roca, 2015, p.1).

- **Índice de germinación**

Dicha técnica fue desarrollada por Franco Zucconi, por la cual también se la llama método de Zucconi. Esta técnica es la más utilizada para evaluar el grado de madurez del compost y las posibles propiedades fototóxicas que puede este contener. La prueba está basada en la utilización de un sustrato acuoso de la muestra de compost maduro para evaluar la germinación de las

semillas. Las semillas más utilizadas son las de berro. Haciéndose un blanco con agua destilada y se compara con los tratamiento para determinar el porcentaje de germinación y el crecimiento de las raíces las semillas (Tortosa, 2010, p.1).

- **Densidad aparente**

La densidad aparente es un parámetro físico que por lo general se ve afectado por la humedad, por el grado de descomposición y la cantidad de MO. Es la relación existente entre el peso del material y el volumen. La densidad aparente asciende con el tiempo de compostaje; la reducción de tamaño de partícula y por la descomposición de los residuos (Acosta y Peralta, 2015: p.41).

1.2.5.6 Fases del compostaje

Según (Márquez, Blanco and Capitán, 2012) (Liang et al., 2003) en el compostaje de los residuos orgánicos se pueden diferenciar una fase biooxidativa, donde predominan las reacciones enzimáticas degradativas de las moléculas orgánicas (en condiciones termófilas fundamentalmente) y una fase de maduración, con reacciones de condensación y polimerización semejantes al proceso de humificación en el medio natural.

La separación en el tiempo de estas dos fases es realmente artificial y se realiza por motivos prácticos ya que ambos procesos, aunque comportan velocidades de reacción diferentes, son interdependientes en ciertos aspectos y en parte presentan un elevado grado de simultaneidad.

En efecto, en la fase biooxidativa predominan las reacciones biodegradativas a altas temperaturas, pero también ocurren, en menor medida, reacciones de condensación típicas de la humificación, sobre todo al final de esta fase, fundamentalmente con productos de degradación de la lignina. Por el contrario, en la fase de maduración, aunque predominan las reacciones de condensación y polimerización a baja temperatura, aún perdura una cierta actividad biooxidativa, fundamentalmente de las fracciones o polímeros más bioresistentes, fundamentalmente celulosa y lignina debido a poblaciones de hongos y actinomicetos mesófilos. Por tanto se puede decir que al final de la fase biooxidativa el compost estabilizado ha adquirido cierto grado de madurez que puede ser suficiente en algunos casos para su utilización agronómica.

- **Fase de biooxidación**

Según (Amigos de la Tierra, 2010) esta fase inicia con una fase mesófila, a temperatura ambiente y en los siguientes días, la temperatura aumenta hasta alcanzar los 45°C, el aumento de temperatura es debido a la actividad microbiana; en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N produciendo calor. La descomposición de compuestos solubles; como azúcares, genera ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar hasta cerca de 4,0 o 4,5. Cuando el compost llega a temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos mesófilos son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas; en su mayoría bacterias (bacterias termófilas); que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C; como la lignina y la celulosa.

Esta fase recibe también el nombre de fase de higienización debido a que el calor generado elimina bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* De igual manera; esta fase es significativa pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan quistes y huevos de helminto, semillas de malezas y esporas de hongos fitopatógenos que pueden encontrarse en los residuos de partida.

- **Fase de Maduración.**

Es un período que tarda dos meses aproximadamente; a temperatura ambiente; donde se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos fúlvicos y húmicos. El grado de maduración de un compost afecta considerablemente su utilización en la agricultura. La adición de un compost inmaduro al suelo provoca una deficiencia de oxígeno; la inmovilización del nitrógeno e incrementa los problemas fitopatogénicos radiculares. Pero la adición de un compost maduro beneficia la fertilidad de un suelo; su estructura e incrementa los efectos de control biológico (García, 2011).

1.2.5.7 Sistemas de Compostaje: Abiertos y Cerrados

Según la (FAO, 2013) los sistemas de compostaje varían, principalmente, de acuerdo a las condiciones de aireación, período de volteo y calidad requerida en el producto final. Para compostar residuos agrícolas y forestales se usan 4 técnicas: pilas estáticas, pilas estáticas aireadas pasivamente, pilas aireadas forzadamente y pilas de volteos o en hileras. La elección de cualquiera de ellas va a depender de los objetivos planteados por el productor, capacidad de inversión, funcionamiento, disponibilidad de terreno, complejidad operacional y el potencial para generar problemas ambientales del producto que se desea elaborar. Y estas son: Pilas Estáticas, Pilas

Estáticas Aireadas Pasivamente, Pilas Estáticas Aireadas Pasivamente, Pilas Aireadas Forzadamente, Pilas de Volteos o en Hileras.

- **Sistemas Cerrados**

En el sistema cerrado, la mezcla de compost se sitúa en un reactor cerrado y la mezcla y aireación se dan por medio de volteo y aireación forzada (Ramírez *et al.*, 2014).

- **Sistemas Abiertos**

- a) Pilas Estáticas**

La tecnología para el compostaje en pilas estáticas es simple y es el sistema más económico y mayormente utilizado. Los materiales se colocan sobre el pavimento o suelo; sin comprimirlos en exceso; siendo importante la forma y medida de la pila. Las medidas óptimas oscilan entre 1,2 - 2 m de altura, por 2-4 m de ancho, siendo la longitud variable. La sección tiende a ser trapezoidal, aunque en zonas muy lluviosas es semicircular para favorecer el drenaje del agua. Las pilas son ventiladas por convección natural y se voltean con una frecuencia que depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que se desea realizar el proceso, siendo habitual realizarlo cada 6 - 10 días.

- b) Pilas Estáticas Aireadas Pasivamente**

Aquí se utiliza una red de tuberías, de 3 a 5 pulgadas de diámetro, perforadas, que se coloca en la parte inferior de la pila. La altura recomendada de la pila es de 1 a 1,5 m, aunque la forma y tamaño óptimo de la pila depende del tamaño de partículas, contenido de humedad, porosidad y nivel de descomposición, todo lo cual afecta el movimiento del aire hacia el centro de la pila. Para permitir el flujo adecuado de aire que entra a través de las cañerías, se coloca una cubierta de turba.

- c) Pilas Aireadas Forzadamente**

Se utilizan compresores para inyectar aire al interior o aspiradores que succionan aire hacia el exterior. Este sistema de compostaje requiere una serie de equipamiento (compresor, red de tuberías, válvulas y sistemas de control de presión de aire, temperatura y humedad), por lo que tiene un costo de inversión mayor. El aporte de oxígeno puede realizarse de forma continua, a intervalos o ligados a un termostato que al llegar a una temperatura de 60 °C, acciona el mecanismo de inyección de aire hasta que la temperatura desciende hasta el valor deseado. Luego

de elaborada la pila; no se toca; hasta que la etapa activa de compostaje sea completa: Este sistema permite tener un mayor control de la concentración de oxígeno y mantenerla en un intervalo apropiado (15 - 20%), para favorecer la actividad metabólica de los microorganismos aerobios que desarrollan el proceso.

d) Pilas de Volteos o en Hileras

El material se acumula en pilas alargadas al aire libre o en galpones. El tamaño y la forma de las pilas (triangular o trapezoidal) dependerán del clima, material utilizado y el tipo de máquina disponible para el volteo. Este sistema considera voltear las pilas, usando técnica manual o mecánica, en forma regular cada 6 a 10 días para que la aireación sea la adecuada. Después de cada volteo, la temperatura desciende alrededor de 5 ó 10 °C, subiendo de nuevo en caso de que el proceso no haya terminado. A pesar de que esta técnica requiere de un espacio mayor al de las otras técnicas, posee costos operacionales altos, es vulnerable a los cambios de clima y el material genera olores al voltearlo; haciendo un buen seguimiento de la temperatura y humedad de la masa, con objeto de buscar los momentos adecuados a los volteos, este sistema da resultados aceptables (Rodríguez, 2008).

Este tratamiento es el más sencillo y el material se apila homogenizando y triturado sobre una plataforma, en grandes montones. El ancho de la pila debe ser entre 3 y 4 m con una altura aproximada de 1,5 m para permitir que el calor generado por los procesos metabólicos exceda a las pérdidas de calor de la superficie expuestas, la temperatura y la aireación se controlan volteando la pila, las pilas deben estar colocadas en un espacio cubierto para mantener la temperatura óptima en el interior de la pila, minimizar la erosión del viento y prevenir saturación dada por la lluvia (Ramírez *et al.*, 2014).

1.2.5.8 Tipos de Compost

Los tipos de compostaje de acuerdo a su nivel de calidad, se clasifican en la clases siguientes: (Normas NCh2880 del Instituto Nacional de Normalización, 2003) (NCh2880, 2004)

- **Compost clase A:**

Compost de calidad alta que tiene exigencias para compost clase A en todos los parámetros especificados en esta normativa. Este producto no tiene ninguna restricción de uso debido que se le ha realizado un proceso de humificación el cual puede ser utilizado directamente en macetas sin la necesidad de mezclarse con otros elementos. Debe cumplir con las concentraciones

máximas de metales pesados de Tabla 3-1. Su conductividad eléctrica debe ser menor a tres decisiemens por metro (3dS/m) y su relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 25. Este producto no presenta restricciones de uso.

Tabla 3-1: Concentración máxima de metales pesados en compost

| Metal pesado | Concentración máxima en mg/Kg de compost (base seca)¹⁾ |
|--|--|
| As | 15 |
| Cd | 2 |
| Cu | 100 |
| Cr | 120 |
| Hg | 1 |
| Ni | 20 |
| Pb | 100 |
| Zn | 200 |
| 1) Concentración expresada como contenidos totales | |

Fuente: Norma Chilena Oficial, 2004

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Compost clase B:**

El producto presenta algunas restricciones de uso. Para ser aplicado a macetas, debe ser mezclado con otros elementos. Producto de calidad de nivel intermedio que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase B. Debe cumplir con las concentraciones máximas de metales pesados de Tabla 4-1. Su CE debe ser menor a ocho decisiemens por metro (8dS/m) y la relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 30. Este producto final puede presentar algunas restricciones de uso si la conductividad eléctrica es mayor de tres decisiemens por metro (3dS/m).

Tabla 4-1: Concentraciones máximas de metales pesados en compost producidos en base seca a lodos

| Metal pesado | Concentración máxima en mg/Kg de compost (base seca)¹⁾ |
|--|--|
| As | 20 |
| Cd | 8 |
| Cu | 1000 |
| Cr | 600 |
| Hg | 4 |
| Ni | 80 |
| Pb | 300 |
| Zn | 2000 |
| 1) Concentración expresada como contenidos totales | |

Fuente: Norma Chilena Oficial, 2004

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

1.2.6 Marco legal

1.2.6.1 Comisión Europea 2014

Estados miembros tienen la obligación legal de optimizar el tratamiento de los bioresiduos en función de sus condiciones específicas. Según el artículo 4, relativo a la «jerarquía de residuos», la prevención de residuos es la mejor opción, seguida de la reutilización, el reciclado y la recuperación de energía. La eliminación (depósito en vertederos e incineración con baja recuperación energética) se considera la peor opción desde el punto de vista medioambiental (Tabla 5-1) (Sanveyn and Eder, 2014).

Tabla 5-1: Parámetros a considerar en compost maduro

| Parámetros | Valor |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Contenido mínimo de materia orgánica | 15% en peso de materia seca |
| Metal pesado | (mg/Kg) |
| Cd | 1.5 |
| Cr | 100 |
| Cu | 200 |
| Hg | 1 |
| Ni | 50 |
| Pb | 120 |
| Zn | 600 |

Fuente: Comisión Europea, 2014

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

1.2.6.2 EPA 2001

La normativa aplicará a compost producido en plantas de compostaje establecidas, en faenas in situ y en plantas móviles siempre y cuando el producto se pretenda comercializar bajo el nombre de compost. Según lo especificado en TÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES - Ámbito de la regulación de la EPA 2001 (Tabla 6-1) y (Tabla 7-1) (Ron, 2001).

Tabla 6-1: Parámetros óptimos para compost final

| Parámetro | Valor |
|-------------------------------|--------------------|
| MO (%) | >= 25 en base seca |
| Relación C/N _T (%) | 10-25 |
| pH | 6,5-8,5 |
| CE (dS/m) | 2 o más |
| N % | 1 o más |
| P% | 1 o más |
| K% | 0,3-1,5 |

Fuente: US Composting Council, 2001

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Tabla 7-1: Límite permisible de metales pesados en compost maduro

| Parámetro | Valor (mg/Kg) |
|-----------|---------------|
| Cr | 1200 |
| Cd | 39 |
| Pb | 300 |
| Ni | 420 |
| Se | 100 |
| Hg | 17 |
| As | 41 |

Fuente: US Composting Council, 2001

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

1.2.6.3 TULSMA LIBRO VI ANEXO VI

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. Esta Norma establece los criterios para el manejo de los desechos sólidos no peligrosos, desde su generación hasta su disposición final. Los niveles máximos de contaminantes básicos en el punto de control a considerar son los siguientes (Ver tabla 8-1) (TULSMA, 2008).

Tabla 8-1: Niveles máximos permisibles de contaminantes básicos a monitorear en el punto de control

| Sustancia química | Límite máximo permitido (mg/L) |
|-------------------|--------------------------------|
| Cadmio | 0.01 |
| Mercurio | 0.002 |
| Fluoruros | 4.0 |
| Nitratos | 10.0 |
| Plomo | 0.05 |

Fuente: LIBRO VI Anexo 6 Manejo desechos sólidos no peligrosos, 2008

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

1.2.6.4. TULSMA LIBRO VI ANEXO II

NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS

La presente norma técnica ambiental técnica determina o establece: a) Normas de aplicación general para suelos de distintos usos (Ver Tabla 9-1); b) Criterios de calidad de un suelo, (Ver Tabla 10-1) c) Criterios de remediación para suelos contaminados, d) Normas técnicas para evaluación de la capacidad agrológica del suelo . La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso suelo, así como preservar o conservar la calidad del recurso suelo para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recursos suelo deberán realizarse en los términos de los presente Norma Técnica Ambiental (TULSMA, no date).

Tabla 9-1: Niveles máximos de concentración permitidos de contaminantes de un suelo en proceso de remediación o restauración.

| Sustancia | Unidades (Concentración en Peso Seco) | USO DEL SUELO | | | |
|------------------------|---|---------------|------------|-----------|------------|
| | | Agrícola | Residencia | Comercial | Industrial |
| Parámetros Generales | | | | | |
| CE | mmhos/c | 2 | 2 | 4 | 4 |
| Ph | UpH | 6 a 8 | 6 a 8 | 6 a 8 | 6 a 8 |
| Parámetros Inorgánicos | | | | | |
| Cd | mg/Kg | 2 | 5 | 10 | 10 |
| Cu | mg/Kg | 63 | 63 | 91 | 91 |
| Cr | mg/Kg | 65 | 65 | 90 | 90 |
| Hg | mg/Kg | 5 | 10 | 40 | 40 |
| Ni | mg/Kg | 50 | 100 | 100 | 100 |
| Pb | mg/Kg | 100 | 100 | 150 | 150 |
| Zn | mg/Kg | 200 | 200 | 380 | 380 |

Fuente: Libro VI Anexo 2 Remediación de suelos, 2008

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Tabla 10-1: Criterios de Calidad del Suelo

| Sustancia | Unidades (Concentración en Peso Seco) | Suelo |
|------------------------|---------------------------------------|-------|
| Parámetros Generales | | |
| Conductividad | mmhos/cm | 2 |
| Ph | | 6 a 8 |
| Parámetros Inorgánicos | | |
| Cd | mg/Kg | 0.5 |
| Cu | mg/Kg | 30 |
| Cr | mg/Kg | 20 |
| Hg | mg/Kg | 0.1 |
| Ni | mg/Kg | 20 |
| Pb | mg/Kg | 25 |
| Zn | mg/Kg | 60 |

Fuente: Libro VI Anexo 2 Remediación de suelos, 2008

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Diseño experimental

2.1.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación obtención de compostaje a partir de los lodos generados en un Centro de Faenamiento Cantón Guaranda-Provincia Bolívar, empieza siendo explicativa, debido a que se caracterizan inicialmente los lodos y la poda mediante análisis físico, físico-químicos y biológicos, para saber cuál es el impacto ambiental que éstos representan y cuáles deberían ser las opciones más convenientes que permitan tratarlo.

Posteriormente la investigación se transforma en experimental donde se utilizará un diseño experimental completamente al azar que se resuelve con ANOVA de 1 factor. 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 porcentaje de poda utilizado.

2.1.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis de la investigación corresponde a la fracción representativa del lodo generado en el centro de Faenamiento del Cantón Guaranda, ya que la investigación se enfocó en la elaboración de co-compostaje, solventando la problemática que conlleva la producción y disposición final de dichos lodos.

2.1.3 Población de estudio

Lodos del Centro de Faenamiento - Cantón Guaranda.

2.1.4 Tamaño de la muestra

No se calcula el tamaño de la muestras, debido a que se trabajará con todas las muestras recolectadas durante el desarrollo del experimento, tomando un total de 8 muestras por unidad experimental, con un total de 24 muestras durante el compostaje.

2.1.5 Selección de la muestra

- Toma de muestras iniciales para el análisis inicial

Se recolectaron los residuos que se produjeron en siete días en el centro de faenamiento y los residuos de poda del Cantón Guaranda, se mezclaron para obtener de esta manera una muestra compuesta, a partir de estos se seleccionó la muestra a ser analizada mediante el método del cuarteo hasta llegar a una cantidad aproximada de 500 Kg. Las muestras se guardaron y etiquetaron con la identificación correspondiente LC1, LC2; para los residuos generados en el centro de faenamiento y P1, P2 para los residuos de poda, estas fueron llevadas al Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para su respectivo análisis.

- Toma de muestra durante el seguimiento y finalización del proceso

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 y se guardaron y se etiquetaron en funda ziploc, para su posterior análisis en el laboratorio.

2.1.6 Técnicas de recolección de muestra

Para la recolección de datos se realizó lo siguiente:

- Toma y caracterización inicial de los residuos orgánicos; siendo estos: lodos del Centro de Faenamiento y residuos de poda de la ciudad de Guaranda.
- Toma y caracterización de las muestras intermedias tomadas durante el desarrollo del proceso de compostaje.
- Toma y caracterización del compost maduro obtenido al final del proceso.
- Registro y tabulación de los resultados de las muestras iniciales, intermedias y finales del compostaje.
- Análisis estadísticos (ANOVA) de las muestras iniciales, intermedias durante el proceso y finales del compostaje.

2.1.7 Diseño experimental

El diseño experimental es de tipo investigación experimental porque se va a trabajar con un diseño complementado al azar utilizando el método estadístico ANOVA de 1 FACTOR.

2.1.7.1 Variable Dependiente

Calidad del compostaje en función del porcentaje de poda.

2.1.7.2 Variables Independientes

1. **Propiedades físico-químicas:** humedad, conductividad eléctrica, pH y materia orgánica
2. **Propiedades químicas:** nitrógeno total carbono orgánico, macronutrientes, micronutrientes, metales pesados, relación C/N y capacidad de intercambio catiónico.
3. **Propiedades biológicas:** índice de germinación.

2.2 Metodología

2.2.1. Revisión ambiental

✓ **Localización del Centro de Faenamiento del Cantón Guaranda-Provincia Bolívar**

El Centro de Faenamiento del Cantón Guaranda, se encuentra a una altura de 2668 msnm, inició sus actividades en el sector del parque Nueve de Octubre. Luego se traslada a las instalaciones del sector del Barrio el Peñón- Parque Camilo Montenegro manteniendo sus actividades operativas hasta la actualidad (Anexo C) (Carvajal Gavilanez, 2012).

✓ **Levantamiento de la información inicial**

En esta etapa se pesó cada uno de los residuos generados en el centro de Faenamiento Cantón Guaranda-Provincia Bolívar (Anexo D), tres veces por semana aleatoriamente durante un mes, para conocer los días donde se producían la mayor cantidad de desechos (TABLA 1-2), y la forma de faenar los bovinos y porcinos.

Tabla 1-2: Levantamiento de la información de cantidad de residuos producidos en el Centro de faenamiento de Guaranda

| DIA | LINEA DE FAENAMIETO | CANTIDAD | TIPO Y CANTIDA DE RESIDUO (Kg) | | | | | TRATAMIENTO |
|------------|---------------------|----------|--------------------------------|--------|-----------------|-----------|---------|-------------|
| | | | ESTIÉRCOL | SANGRE | SEBO Y VISCERAS | CERDILLAS | PEZUÑAS | |
| 21/04/2017 | PORCINOS | 7 | | | | 3,50 | 0,35 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 16 | 256,21 | 153,78 | 42,30 | | | NINGUNO |
| 22/04/2017 | PORCINOS | 1 | | | | | | NINGUNO |
| | BOVINOS | 19 | 399,55 | 156,11 | 44,67 | | | NINGUNO |
| 24/04/2017 | PORCINOS | 18 | | | | 12,40 | 0,40 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 14 | 231,35 | 149,51 | 37,89 | | | NINGUNO |
| 25/04/2017 | PORCINOS | 6 | | | | 2,95 | 0,18 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 8 | 251,67 | 99,64 | 14,40 | | | NINGUNO |
| 26/04/2017 | PORCINOS | 1 | | | | | | NINGUNO |
| | BOVINOS | 11 | 211,77 | 134,87 | 19,80 | | | NINGUNO |
| 27/04/2017 | PORCINOS | 6 | | | | 3,20 | 0,27 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 11 | 190,95 | 127,63 | 19,03 | | | NINGUNO |
| 28/04/2017 | PORCINOS | 12 | | | | 6,41 | 0,54 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 14 | 216,37 | 144,03 | 25,80 | | | NINGUNO |
| 29/04/2017 | PORCINOS | 1 | | | | | | NINGUNO |
| | BOVINOS | 16 | 280,43 | 198,68 | 42,54 | | | NINGUNO |
| 01/05/2017 | PORCINOS | 15 | | | | 8,12 | 0,75 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 13 | 260,54 | 159,56 | 25,78 | | | NINGUNO |
| 04/05/2017 | PORCINOS | 4 | | | | 0,80 | 0,16 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 6 | 165,86 | 74,18 | 10,75 | | | NINGUNO |
| 05/05/2017 | PORCINOS | 14 | | | | 7,90 | 0,70 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 15 | 290,12 | 145,34 | 39,91 | | | NINGUNO |
| 06/05/2017 | PORCINOS | 1 | | | | 0,81 | | NINGUNO |
| | BOVINOS | 18 | 310,63 | 177,41 | 59,85 | | | NINGUNO |
| 08/05/2017 | PORCINOS | 16 | | | | 8,25 | 0,76 | NINGUNO |

Continuación

| | | | | | | | | |
|------------------|----------|----|---------|---------|--------|-------|------|---------|
| | BOVINOS | 14 | 271,33 | 168,75 | 41,50 | | | NINGUNO |
| 09/05/2017 | PORCINOS | | | | | 0,25 | | NINGUNO |
| | BOVINOS | 7 | 129,71 | 148,35 | 34,00 | | | NINGUNO |
| 11/05/2017 | PORCINOS | 3 | | | | 4,20 | 0,09 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 7 | 170,73 | 93,75 | 38,50 | | | NINGUNO |
| 12/05/2017 | PORCINOS | 7 | | | | 7,05 | 0,15 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 14 | 272,77 | 171,65 | 45,25 | | | NINGUNO |
| 13/05/2017 | PORCINOS | | | | | | | NINGUNO |
| | BOVINOS | 19 | 383,43 | 257,1 | 93,00 | | | NINGUNO |
| 15/05/2017 | PORCINOS | 14 | | 32,9 | | 7,95 | | NINGUNO |
| | BOVINOS | 14 | 280,19 | 162,3 | 49,60 | | | NINGUNO |
| 17/05/2017 | PORCINOS | 1 | | | | 1,35 | 0,05 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 10 | 263,41 | 230,05 | 50,90 | | | NINGUNO |
| 19/05/2017 | PORCINOS | 7 | | | | 6,05 | 0,15 | NINGUNO |
| | BOVINOS | 18 | 400,65 | 204,5 | 51,15 | | | NINGUNO |
| 20/05/2017 | PORCINOS | 2 | | | | | | NINGUNO |
| | BOVINOS | 18 | 439,25 | 224,65 | 66,00 | | | NINGUNO |
| TOTAL DE RESIDUO | | | 5676,41 | 3414,54 | 852,62 | 81,19 | 4,55 | |

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

✓ **Descripción del proceso**

La siguiente descripción del proceso está relacionada con el proceso de faenamiento de bovinos que se realizó durante el levantamiento de la información inicial en el Centro de faenamiento Cantón Guaranda-Provincia Bolívar

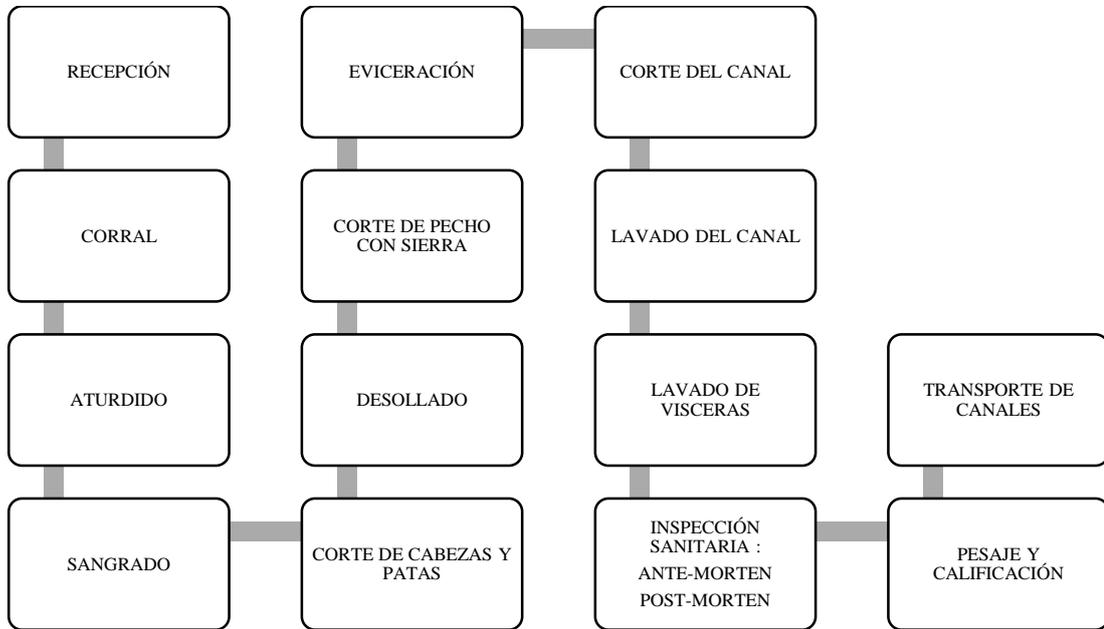


Gráfico 1-2: Proceso de faenamiento de bovinos en el Camal de Guaranda

Elaborado por: Chimbo Victoria, 2018

La siguiente descripción del proceso está relacionada con el proceso de faenamiento de porcinos que se realizó durante el levantamiento de la información inicial en el Centro de Faenamiento Cantón Guaranda- Provincia Bolívar.

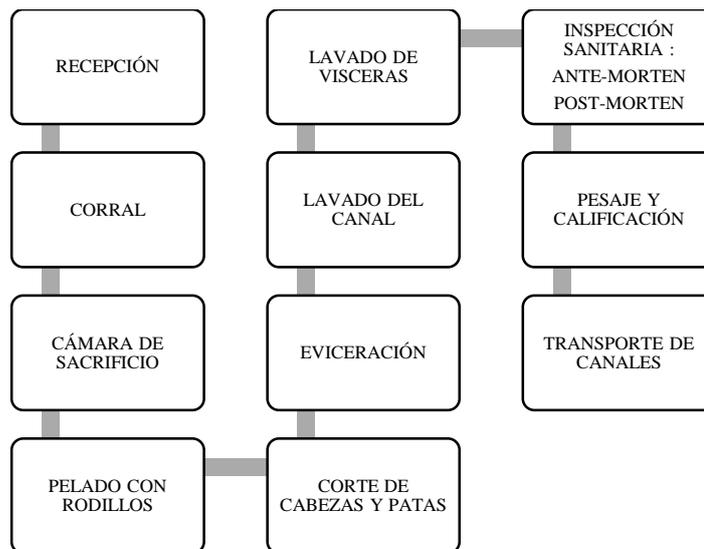


Gráfico 2-2: Proceso de faenamiento de porcinos en el Camal de Guaranda

Elaborado por: Chimbo Victoria, 2018

La siguiente descripción del proceso de faenamiento es la que se pudo constatar durante el levantamiento de información, tanto para bovinos como para porcinos.

- **Recepción**

La recepción es donde se confisca el ganado un día antes del faenamiento, en el Ecuador son incautados solo aquellos animales que tengan a guía de movilización dada por AGROCALIDAD, que es la entidad pública que garantiza el excelente estado del semoviente y faculta la movilización legal dentro de todo el territorio nacional.



Figura 1-2: Recepción del ganado

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Corral**

Espacio físico que cuenta con las adecuaciones requeridas para el ganado que llegue al centro de faenamiento.



Figura 2-2: Corral de vacunos

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Cámara de sacrificio**

El ganado porcino es transportado de los corrales por un pasadizo hacia el lugar donde son sacrificados por medio de un corte en el corazón, en el caso del ganado vacuno van desde el corral hasta la cámara de sacrificio donde son sacrificados a través de un corte en la yugular.



Figura 3-2: Sacrificio de porcinos por corte en la yugular

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Pelado con rodillos**

Esta etapa es solo aplicada en el ganado porcino y consiste en desprender el pelo del cerdo a través de una maquina eléctrica conformada por rodillos que quitan rápidamente toda la superficie.



Figura 4-2: Pelado de porcino con rodillo

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Aturdido**

El aturdido solo se realiza en el ganado bovino, radica en utilizar una pistola magnu que tiene cartuchos de pólvora para noquear al animal con un balazo en la cabeza.

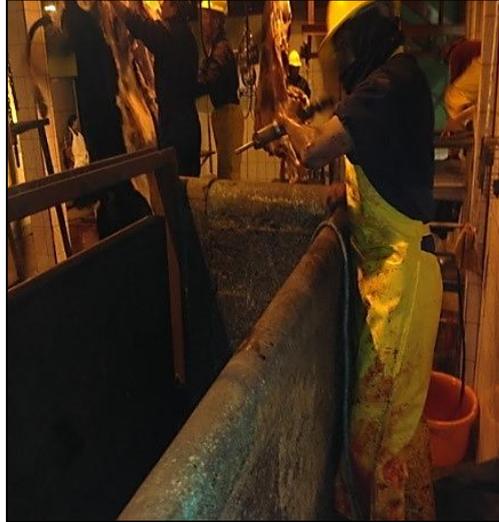


Figura 5-2: Aturdimiento de la res

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Sangrado**

La res aturdida es suspendida de una pata a un riel donde se realiza un corte en la. El objetivo de suspender al animal es evitar que este tenga contacto con el piso y así prevenir la contaminación, facilitando el trabajo de los operarios.



Figura 6-2: Sangrado de la res

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Corte de cabezas y patas**

Con la ayuda de un cuchillo un operario retira la cabeza y patas del ganado para luego ser ubicadas en el lugar correspondiente.



Figura 7-2: Lugar para colocar patas y cabezas de las reses

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Desollado o descuerado**

Las piel del bovino es deprendida con la ayuda de dos operaros cada uno con su cuchillo, evitando sobretodo no dañar la piel.



Figura 8-2: Desollado o descuerado de la res

Realizado por: Chimbo Victoria., 2018

- **Corte de pecho con sierra**

Con una sierra pequeña se realiza un corte en la parte intermedia del esternón o pecho para poder retirar con facilidad las vísceras.



Figura 9-2: Corte de pecho con sierra

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Evisceración**

Luego de realizar el corte se retira el paquete de vísceras rojas y blancas ubicadas en el área abdominal, intestino y estómago. Al área de lavado de vísceras se llevan las vísceras blancas y devueltas a sus dueños.



Figura 10-2: Evisceración de la res

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Corte del canal:**

Se realiza un corte a lo largo de la columna vertebral para seccionar en dos partes al ganado bovino, el operario esta sobre una plataforma empleando una sierra de hoja.



Figura 11-2: Corte del canal

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Lavado de las vísceras**

Los dueños de los semovientes son los encargados de lavar sus respectivas vísceras.



Figura 11-2: Lavado de vísceras

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Inspección sanitaria**

En esta etapa el médico del centro de faenamiento se encarga de vigilar que todas las operaciones se lleven a cabo con mucha rigurosidad e higiene, se realiza el control de la sanidad del ganado, así como la inspección ante y post-mortem.

- **Inspección ante-mortem.**

En la verificación ante-mortem se constata si la carne es óptima para el consumo humano y se asegura que no existe enfermedad alguna. El ganado incautado es observado cuidadosamente para verificar si presenta alguna anomalía. Deben venir con la guía de AGROCALDAD la cual relata su lugar de origen y condición sanitaria. A los animales que presenten fracturas o que tengan alguna anomalía se los sacrifica por emergencia, posteriormente se les realiza un examen clínico para comprobar los parámetros fisiológicos del animal.



Figura 12-2: Inspección ante-mortem

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Inspección post-mortem**

La inspección post-mortem es realizada por el médico veterinario que es la máxima autoridad sanitaria del camal. Esta inspección es obligatoria en todo el ganado destinado para el consumo humano, donde se detecta enfermedades o lesiones que pueda infringir a la salud de los consumidores. El ganado bovino y porcino es examinado en la parte interna y externa, se observa la grasa; cartílagos; coloración de la musculatura; huesos y hay o no hematomas, abscesos, fracturas, parásitos en las vísceras y tumores



Figura 13-2: Inspección post-mortem

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Tabla 2-2: Órganos infectados decomisados por inspección post mortem

| Órganos | Patologías | Fotografía |
|---------|--------------------------------|--|
| Hígado | <i>Echinococcus granulosus</i> |  |
| | Abscesos |  |
| Pulmón | Neumonías |  |

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Sellado**

Se realiza la marcación con colorante vegetal color violeta, para evitar el acceso de ganado clandestino a los mercados.



Figura 14-2: Sellado con colorante vegetal.

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Sala de oreo**

Espacio físico donde reposan las vísceras y canales por un tiempo determinado, para quitar el agua y sangre.



Figura 15-2: Espacio donde las canales reposan

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Transporte de canales**

A través de ganchos por las rieles son llevadas las canales hasta el camión para proceder a distribuir la carne.



Figura 16-2: Medio de transporte de canales

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

- **Entrega**

La entrega de las canales a los dueños en los mercados, tercenas o domicilios es la etapa final del proceso de sacrificio y faenamiento.

2.2.2. Pilas de compostaje

.

2.2.2.1. Caracterización preliminar de los lodos del Centro de faenamiento y de poda.

Para poder caracterizar preliminarmente los lodos (estiércol, pezuñas, cerdilla), generados en el Centro de Faenamiento y los residuos de poda de toda la ciudad, se muestreó (Anexo E), los desechos para su posterior caracterización física, física-química y biológica, de acuerdo a normas tomadas de la (EPA, 2001) y normas que utilicen en el laboratorio al cual fueron enviados los residuos, las que permitieron identificar la calidad de los residuos considerados desechos sólidos no peligrosos, optándose por el co-compostaje como técnica biotecnológica a partir de pilas de tratamiento.

❖ Muestreo de residuos

Materiales

Los materiales para el muestreo fueron:

- Mandil
- Caretilla
- Pala
- Contenedor
- Guantes de látex
- Fundas Ziploc
- Cooler
- Hielo Seco
- Mascarilla
- Botas de caucho

Equipo

- Balanza

Procedimiento

El método del cuarteo se realizó de la siguiente forma:

- Los puntos críticos fueron en los días: Lunes, Miércoles, Jueves, Viernes y Sábado. En las etapas donde se producía la mayor cantidad de desechos fue en el faenamiento de bovinos: desollado, lavado de vísceras y en el faenamiento de porcinos: pelado con rodillos.
- La toma de la muestra para los lodos se hizo acumulando todos los residuos generados en el centro de faenamiento de Guaranda, se los homogenizó y por medio del método del cuarteo se obtuvo una muestra representativa de 2 Kg, de igual manera fue para los residuos de poda, para el posterior análisis químico, físico-químico y biológico.
- Luego de tomadas las muestras se las codificó.
- Las muestras tomadas fueron colocadas en fundas ziploc, las mismas que se almacenaron en cooler a una temperatura de 4°C.

Las muestras recolectadas fueron llevadas inmediatamente al Laboratorio de Biotecnología de Ciencias Químicas en la Facultad de Ciencias para su posterior análisis.

Análisis físico-químico de la muestra de lodo residual, poda y aserrín

Las técnicas para la determinación de la humedad, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica, de las muestras iniciales se realizaron mediante las metodologías de la EPA, los análisis se realizaron en el laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

En la siguiente tabla se detalla el parámetro, la unidad, y el método utilizado para cada parámetro analizado:

Tabla 3-2: Análisis físico-químico y químicos de materiales iniciales de los lodos de camal C y poda y aserrín.

| ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO | | |
|--------------------------------|---------------|-----------------|
| Parámetro | Unidad | Método |
| Humedad | % | Gravimétrico |
| Conductividad Eléctrica | dS/m | EPA 9045 D |
| Materia Orgánica | % | NEN 5754.2005 |
| pH | UpH | Potenciométrico |

Fuente: EPA, 2001

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Humedad

Materiales

- Bandejas de aluminio
- Mandil
- Guantes de látex
- Cofia
- Mascarilla
- Papel de aluminio
- Toallas de papel
- Tubos falcón de 50 mL

Equipos

- Balanza
- Estufa

Procedimiento

Se pesó las bandejas de aluminio antes y después de colocar las muestras en estas, esto se realizó por duplicado es decir dos bandejas por muestra, con la codificación LC1 y LC2, para los lodos del camal, y P1 y P2 para los residuos de poda, se secaron las muestras en estufa eléctrica a 70°C. Al transcurrir 3 horas se pesaron cada una de las muestras, este paso se repitió cada 3 horas, hasta llegar a un peso constante el cual se logró al cabo de 6 días, con estos datos se hizo una curva de humedad de cada muestra tratada. Una vez obtenido un peso constante las muestras fueron colocadas en fundas ziploc con su etiqueta correspondiente. Ver Anexo F.

Ecuación para el cálculo de la humedad

$$\%H = Pi - \frac{Pf}{Pi} * 100$$

Dónde:

%H = porcentaje de humedad

Pi = Peso inicial

Pf = Peso final

Ejemplo:

Calculo de humedad de los LC

$$\%H = 2539 - \frac{498}{2539} * 100$$

$$\%H = 81,98\%$$

De igual manera de calcularon las otras muestras

Conductividad eléctrica

Materiales

- Mandil
- Guantes de látex
- Cofia
- Mascarilla
- Toallas de papel
- Papel de aluminio
- Tubos falcón de 50 mL
- Pizeta

Equipos

- Balanza
- Centrífuga
- Conductímetro
- Cámara fotográfica

Procedimiento

Se pesaron 3 o 4 g de muestra (balanza de 3 cifras) en un tubo falcón, al instante se adicionaron 30 o 40 ml de agua (siempre se hace en una proporción 1:10), rápidamente se agito en el agitador rotatorio por 2 horas, pronto se retiró del agitador y se centrifugo por 4 minutos a 1000 rpm, se filtró en papel filtro normal en un tubo falcón, finalmente se midió la conductividad eléctrica. Ver Anexo G.

De igual manera se analizaron las demás muestras

pH

Materiales

- Mandil
- Guantes de látex

- Cofia
- Mascarilla
- Toallas de papel
- Papel de aluminio
- Tubos falcón de 50 MI
- Pizeta

Equipos

- pH-metro

Procedimiento

Se pesaron 3 o 4 g de muestra (balanza de 3 cifras) en un tubo falcón, luego se adicionaron 30 o 40 ml de agua destilada (Siempre se hace en una proporción 1:10), posteriormente se agitaron en agitador rotatorio por 2 horas, en seguida se retiró del agitador, al instante se dejó sedimentar y se midió directamente en el líquido sobrenadante el pH. Ver Anexo H.

De igual manera se analizaron las otras muestras

Materia Orgánica

Materiales

- Mandil
- Guantes de látex
- Cofia
- Mascarilla
- Toallas de papel
- Papel de aluminio
- Crisol

Equipos

- Balanza
- Mufla
- Desecador

Procedimiento

Se taro el crisol (105 grados centígrados por 2 horas), posteriormente se pasó al desecador por 30 minutos, se enumeró el crisol en la base y se pesó el crisol vacío, se anotó el peso, en seguida se

añadió 3 g de muestra y se anotó el peso. Se colocó en la mufla por 24 horas a 430 grados Celsius (la medición dura 2 días pues la temperatura sube y baja en forma gradual). Se colocó en el desecador por 30 minutos. Por último se pesó el crisol con la muestra calcinada. Ver Anexo I.

Ecuación para el cálculo de MO

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

Ejemplo:

Calculo de Materia Orgánica de P1-01

$$\%MO = \frac{((38,9803+3,0100)-(38,9803+2,6771))}{((38,9803+3,0100)-(38,9803))} * 100$$

$$\%MO = 92,26$$

De igual manera se realizaron los cálculos para las demás muestras

Análisis químico preliminar de las muestra de lodo residual, poda, aserrín y compost maduro

En la siguiente tabla se detalla el parámetro, la unidad, y el método utilizado para cada parámetro analizado:

Tabla 4-2: Análisis Químico de materiales iniciales y compost maduro

| ANÁLISIS QUÍMICO | | |
|------------------|--------|---------------------|
| Parámetro | Unidad | Método |
| Cloruros | mg/Kg | Volumétrico |
| Nitratos | mg/Kg | Espectrofotométrico |
| Fosfatos | mg/Kg | Espectrofotométrico |
| Sulfatos | mg/Kg | Espectrofotométrico |

Fuente: EPA, 2001

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Las técnicas para la determinación de Cloruros, sulfatos, nitratos y fosfatos, de las muestras iniciales y finales, se realizaron siguiendo las metodologías de la EPA, los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Cloruros

Materiales

- Varilla de agitación
- Vaso de precipitación de 250 mL
- Papel filtro
- Embudo simple
- Balón de aforo
- Erlenmeyer
- Pipeta volumétrica
- Bureta
- Probeta

Reactivos

- Indicador Cromato de potasio
- Nitrato de plata 0,01 N

Procedimiento

Se diluyeron 5 gramos de muestra en 100 mL de agua destilada, se agitó la solución para homogenizar, se dejó la mezcla reposar durante la noche, luego se filtró la solución, se colocó 20 mL de la solución y se aforó a 100 mL en un balón, posteriormente se tomó con una pipeta volumétrica 25 mL de la solución en un Erlenmeyer, pronto se pusieron de 5 a 6 gotas del indicador cromato de potasio sobre dicha solución, se colocaron en la bureta nitrato de plata 0,01 N para titular, finalmente se tituló hasta que exista el viraje de amarillo a rojo ladrillo. Ver Anexo J.

Ecuación para el cálculo de cloruros

Paso 1.

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

Dónde:

X= resultado de la titulación

N= Normalidad del nitrato de plata

Eq= Equivalente químico del Cloro

1000 = factor de dilución

25mL= de muestra para titular

Paso 2.

$$Cl^{-} \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(X * FD)}{100}$$

Donde:

X= Resultado del paso 1

FD= Factor de dilución de la muestra

Ejemplo:

Calculo de cloruros de P1-08

Paso 1

$$Cl^{-} (g) = \frac{(0,25mL * 0,01eq/L * 35,45g/eq * 1000L)}{25mL}$$

Paso 2

$$Cl^{-} \left(\frac{g}{Kg} \right) = \frac{\left(3,545 \frac{g}{L} * 100L \right)}{1000Kg}$$

$$Cl^{-} \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{0,3545 \text{ mg/Kg} * 1000g}{5g}$$

$$Cl^{-} \left(\frac{mg}{Kg} \right) = 62,392 \text{ mg/Kg}$$

De igual manera se calcularon las demás muestras

Nitratos

Materiales

- Varilla de agitación
- Vaso de precipitación de 250 mL
- Papel filtro
- Embudo simple
- Balón de aforo

- Erlenmeyer
- Probeta
- Cuba

Equipos

- Espectrofotómetro

Reactivos

- Kit para determinación de nitratos

Procedimiento

Se diluyeron 5 gramos de muestra en 100 mL de agua destilada, luego se agito la solución para homogenizar la mezcla, posteriormente se dejó la mezcla reposar durante la noche, se filtró la solución, se colocó 10 mL de muestra en una cuba y se puso sobre ésta el kit para determinación de nitratos, finalmente se midió en espectrofotómetro a 420 nm. Ver Anexo K.

Ecuación para el cálculo de nitratos

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

Dónde:

X= resultado dado por el fotómetro DR 2800.

100 = factor de dilución

Ejemplo:

Calculo de nitratos de P1-08

$$NO_3 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{\left(2,79 \frac{mg}{L} * 100L \right)}{1000Kg}$$

$$NO_3 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{0,279mg/Kg * 1000g}{5g}$$

$$NO_3 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = 55,8 \text{ mg/Kg}$$

De igual manera se calcularon las otras muestras

Fosfatos

Materiales

- Varilla de agitación
- Vaso de precipitación de 250 mL
- Papel filtro
- Embudo simple
- Balón de aforo
- Erlenmeyer
- Probeta

Equipos

- Fotómetro

Reactivos

- Amonio Molibdato
- Cloruro Estannoso

Procedimiento

Se diluyeron 5 gramos de muestra en 100 mL de agua destilada, se agitó la solución para homogenizar, luego se dejó la mezcla reposar durante la noche, se filtró la solución; en un balón de 100 mL se colocó 50 mL de muestra, 4 mL de Amonio Molibdato 0.01 N y 0,5 mL Cloruro Estannoso 0.01N (Glicerina). Se observó el cambio a color azul, se aforo con la muestra. Finalmente se midió en el fotómetro a 520 nm. Ver Anexo L.

Ecuación para el cálculo de fosfatos

$$PO_4 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(X * 1000)}{100}$$

Dónde:

X= resultado dado por el fotómetro

100 = factor de dilución

Ejemplo:

Calculo de nitratos de P1-08

$$PO_3 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{\left(2,81 \frac{mg}{L} * 100L \right)}{1000Kg}$$

$$PO_3 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{0,281 mg/Kg * 1000g}{5g}$$

$$PO_3 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = 56,2 mg/Kg$$

De igual manera se calcularon las otras muestras

Sulfatos

Materiales

- Guantes
- Mandil
- Cofia
- Varilla de agitación
- Vaso de precipitación de 250 mL
- Papel filtro
- Embudo simple
- Balón de aforo
- Erlenmeyer
- Probeta

Equipos

- Fotómetro
- Balanza
- Cámara fotográfica

Reactivos

- Solución acondicionadora
- Cloruro de Bario

Procedimiento

Se diluyeron 5 gramos de muestra en 100 mL de agua destilada, se agitó la solución para homogenizar, se dejó reposar durante toda la noche, posteriormente se filtró la solución, luego se colocó 10 mL de la solución y se aforó a 100 mL en un balón. En un balón de 100 mL se colocó 2 mL de solución acondicionadora y aproximadamente 1 g de BaCl₂. Se aforó con la muestra y finalmente se midió en fotómetro a 410 nm. Ver Anexo M.

Ecuación para el cálculo de sulfatos

Paso 1.

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

Donde:

X = Resultado dado por el fotómetro

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

Paso 2.

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

Dónde:

X = resultado del Paso 1.

100 = factor de dilución

Ejemplo:

Calculo de nitratos de P1-08

$$SO_4 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = 0,016 * 146$$

$$SO_4 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(2,336 \frac{mg}{L} * 100L)}{1000Kg}$$

$$SO_4 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{0,2336mg/Kg * 1000g}{5g}$$

$$SO_4 \left(\frac{mg}{Kg} \right) = 46,72 mg/Kg$$

Análisis químico de la muestra de lodo residual, poda y compost maduro

En la siguiente tabla se detalla el parámetro, la unidad, y el método utilizado para cada parámetro analizado, los análisis se llevaron a cabo en los Laboratorios: CENTRO CESAL, CESTTA y Laboratorio de Servicios Ambientales-UNACH.

Tabla 5-2: Análisis químico de materiales iniciales y compost maduro

| ANÁLISIS QUÍMICO | | |
|------------------------------------|---------------|-------------------------|
| Parámetro | Unidad | Método |
| Carbono Orgánico Total | mg/Kg | Método WALKEY Y BLACK |
| Nitrógeno Orgánico Total | mg/Kg | Método de MACROKJELDHAL |
| Cadmio | mg/Kg | EPA 3050 –B |
| Cromo | mg/Kg | EPA 3050 –B |
| Cobre | mg/Kg | MU 689 |
| Mercurio | mg/Kg | EPA 3050 –B |
| Níquel | mg/Kg | EPA 3050 –B |
| Plomo | mg/Kg | EPA 3050 –B |
| Zinc | mg/Kg | MU 689 |
| Nitrógeno | % p/p | MU 687 |
| Potasio | % p/p | MU 679 |
| Fósforo | % p/p | MU 676 |
| Calcio | % p/p | MU 674 |
| Magnesio | % p/p | MU 674 |
| Sodio | mg/Kg | MU 679 |
| Hierro | mg/Kg | MU 689 |
| Manganeso | mg/Kg | MU 689 |
| Polifenoles | g/Kg | Fotométrico |
| Capacidad de intercambio catiónico | meq/100g | MU 681 |
| Ácidos Húmicos | POE 5.4.11 | % p/p |
| Ácidos Fúlvicos | POE 5.4.11 | % p/p |

Fuente: Centro CESAL, 2018; Laboratorio CESTTA, 2018; Laboratorio de Servicios Ambientales-UNACH, 2018

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

2.2.2.2. Elaboración de pilas

✓ *Construcción de protección de las pilas*

Materiales

- Plástico transparente
- Palos
- Cañas

- Malla plástica
- Flexómetro

Procedimiento

- El experimento se realizó en la Provincia Bolívar-Cantón Chimbo-Parroquia San José de Chimbo-Barrio San José. Ver Anexo O.
- Se construyó la estructura protectora para las pilas en un área de 13 x 4m².

✓ **Construcción de pilas**

Materiales

- Mandil
- Guantes de látex
- Mascarilla

Equipos

- Balanza
- Flexómetro
- Cámara fotográfica

Procedimiento

Se elaboraron tres pilas de compostaje cada una con diferente concentración de residuos (LC, P y A), dichas concentraciones fueron:

- Pila 1: 30% lodos de camal, 20% de poda y 50% de aserrín.
- Pila 2: 30% lodos de camal, 15% de poda y 55 % de aserrín.
- Pila 3: 30% de lodos de camal, 10% de poda 60% de aserrín.

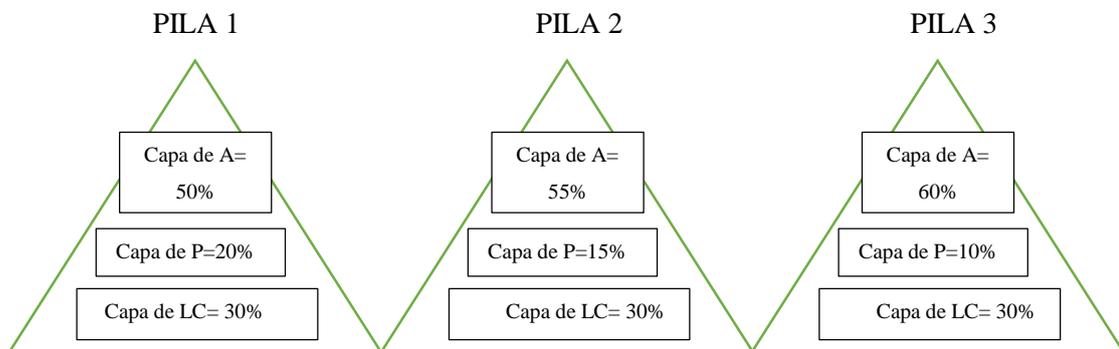


Gráfico 3-2: Modelo para las pilas (P1, P2, P3) de compostaje

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

El modelo de las pilas se hizo distribuyendo los residuos en las diferentes capas de LC, de P y A, hasta la cantidad total de la pila.

Cada pila ocupó un área de $2 \times 3 \times 2 \text{ m}^3$; 2 metros largo por 3 metros de ancho y 2 metros de alto, con 1.5 m de separación entre cada pila. Ver Anexo P.

2.2.2.3. Control del proceso

Materiales

- Mandil
- Guantes de látex
- Mascarilla
- Cofia

Equipos

- Medidor de Temperatura de sustratos
- Medidor de pH y humedad de sustratos
- Cámara fotográfica
- Termohigrómetro

Procedimiento

El procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera y se puede constatar en el Anexo Q.

- Temperatura.- Se tomó la temperatura todos los días con un termómetro de vástago de 30 cm, en cinco lugares distintos alrededor de cada una de las pilas, cuando la temperatura de las pilas descendía hasta la temperatura ambiental se realizaba un volteo en el área destinada para la misma (1,5 m).
- pH y Humedad.- Se tomó el pH y humedad en cinco lugares diferentes alrededor de cada pila, con un medidor de dos sondas de 30 cm, propio para suelos, en aquellos lugares donde la humedad comprendía entre el 10% y 30% se procedió a regar, puesto que la humedad óptima debía ser entre el 40% y 70%.
- La temperatura y humedad ambiental fue tomada durante todos los días con un termohigrómetro.

2.2.2.4. Evaluación de la calidad del compost

✓ *Volteo de pilas*

Materiales

- Pala

Equipos

- Cámara fotográfica

Procedimiento

- El volteo de las tres pilas se las realizo aproximadamente cada dos semanas, cuando las temperaturas descendían hasta la temperatura ambiental, en el espacio destinado para el mismo (1,5 m) y luego se las regresó al mismo lugar. Ver Anexo R.

✓ *Toma de muestras*

Las pilas de compostaje se elaboraron el 11 de julio de 2017, el compost maduro se obtuvo al cabo de 185 días contando desde que comenzó la etapa biooxidativa hasta el culmen de esta el 11 de noviembre de 2017, para dar inicio a la etapa de maduración el mismo día con un periodo de duración de 61 días la misma que culmino el 11 de enero de 2018. El código y fecha de cada muestra se muestra en la Tabla. 6-2.

Materiales

- Cofia
- Guantes de látex
- Mascarilla
- Mandil
- Fundas ziploc
- Rotulador

Equipo

- Cámara fotográfica
- Estufa eléctrica

Procedimiento

La toma de la muestra se la realizo tomando un puñado de siete lugares diferentes de cada pila hasta llegar a una cantidad aproximada de 2 Kg, utilizando los equipos de protección personal adecuados, para asegurarnos que tenemos una muestra representativa que llevaba a cabo el

método del cuarteo hasta contar con una cantidad de 1 Kg, las muestras se sellaron y etiquetaron en fundas ziploc.

Una vez en el laboratorio las muestras fueron colocadas en bandejas de aluminio y secadas en estufa de aire forzado a 60°C, hasta peso constante, estas se molieron y guardaron en fundas ziploc, para su posterior análisis de laboratorio

Tabla 7-2: Fechas de toma de muestras

| Numero de muestra | Fecha de volteo | Explicación de volteo | Código de muestra |
|-------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|
| 1 | 11-07-17 | Primer muestra | P1-01, P2-01, P3-01 |
| 2 | 26-07-17 | Segunda muestra | P1-02, P2-02, P3-02 |
| 3 | 17-08-17 | Tercer muestra | P1-03, P2-03, P3-03 |
| 4 | 21-09-17 | Cuarta muestra | P1-04, P2-04, P3-04 |
| 5 | 9-10-17 | Quinta muestra | P1-05, P2-05, P3-05 |
| 6 | 2-11-17 | Sexta muestra | P1-06, P2-06, P3-06 |
| 7 | 11-11-17 | Séptima muestra | P1-07, P2-07, P3-07 |
| 8 | 11-01-18 | Octava muestra | P1-08, P2-08, P3-08 |

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

✓ *Análisis de las muestras intermedias*

Análisis químico de las muestras intermedias, tomadas durante el desarrollo del proceso

En la siguiente tabla se detalla el parámetro, la unidad, y el método por cada parámetro analizado, el análisis se llevó a cabo en los laboratorios: Centro CESAL, CESTTA y Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias.

Tabla 8-2: Análisis químico de muestras tomadas durante la evolución del proceso de compostaje y compost maduro

| ANÁLISIS QUÍMICO | | |
|------------------------------------|----------|-------------------------|
| Parámetro | Unidad | Método |
| Carbono Orgánico Total | mg/Kg | Método WALKEY Y BLACK |
| Nitrógeno Orgánico Total | mg/Kg | Método de MACROKJELDHAL |
| Capacidad de intercambio catiónico | meq/100g | MU 681 |

Fuente: Centro CESAL, 2018; CESTTA, 2018

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Análisis de muestras intermedias, tomadas durante el desarrollo del proceso

En la siguiente tabla se detalla el parámetro, la unidad y el método por cada parámetro analizado:

Tabla 9-2: Análisis biológico de muestras tomadas durante la evolución del proceso de compostaje y compost maduro

| ANÁLISIS BIOLÓGICO | | |
|---------------------------|---------------|------------------------|
| Parámetro | Unidad | Método |
| Índice de germinación | % | Zucconi et al., (1981) |

Fuente: EPA, 2001

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Índice de germinación

Materiales

- Mandil
- Guantes de látex
- Cofia
- Mascarilla
- Toallas de papel
- Papel de aluminio
- Frascos margarita
- Pizeta
- Cajas Petri
- Papel filtro 0,45 micras
- Pipeta automática
- Semillas de berro
- Matraces buckner
- Pie de rey

Equipos

- Bomba de succión
- Incubadora
- Balanza

Procedimiento

Se pesó 10 g de muestra, se añadió 15 mL de agua, se agitó suavemente y se dejó en reposo por 30 minutos, se añadió 67,5 ml de agua, se movió el frasco margarita, luego se filtró en matraces buckner con un papel filtro de 0,45 micras para análisis cualitativo, se pipeteo con la pipeta automática 1 ml de muestra y se colocó sobre caja Petri que contiene 8 semillas de berro. Por cada muestra se trabajó con 10 cajas Petri, se preparó el blanco (10 cajas) colocando 8 semillas de berro y se añadió 1 ml de agua destilada. (1 blanco por cada medición), luego se tapó y se rotulo correctamente, se envolvió 5 cajas con papel aluminio para evitar que se sequen, posteriormente se precalentó la estufa de incubación por 30 minutos a 27,5 °C, se dejó 48 H en la incubadora, se sacó las cajas y añadir 1 ml de alcohol al 50% para inhibir el crecimiento de las semillas, en seguida se colocó las cajas por 10 minutos en la refrigeradora, se contó las semillas que han germinado, se retiró las semillas para colocarlas en una hoja de papel y se midió con el pie de rey la longitud de la raíz. Se realizaron los cálculos en hoja de Excel. Ver Anexo S.

Tabla 7-2: Análisis físico de las muestras de compost maduro, tomadas al final del proceso

| ANÁLISIS FÍSICO | | |
|--------------------------------|-------------------|---|
| Parámetro | Unidad | Método |
| Densidad aparente | g/cm ³ | Método propuesto por De Boot et al., (1974) |
| Espacio poroso total | % | Método propuesto por De Boot et al., (1974) |
| Capacidad de retención de agua | g/cm ³ | Método propuesto por De Boot et al., (1974) |
| Capacidad de aireación | % | Método propuesto por De Boot et al., (1974) |
| Contracción de volumen | % | Método propuesto por De Boot et al., (1974) |

Fuente: De Boodt et al., 1974

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Densidad aparente

Materiales

- Mandil
- Guantes de látex
- Cofia
- Mascarilla

- Anillas
- Ligas
- Tela velo de novia
- Toallas de papel
- Papel de aluminio
- Cajas petri
- Pizeta
- Papel filtro
- Baldes plásticos
- Recipiente plástico
- Pie de rey

Equipos

- Estufa eléctrica
- Balanza

Procedimiento

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

Un extremo de la anilla de 4cm , de volumen conocido (V , cm^3), se cubrió con tela de nylon y se determinó el peso del conjunto (A) con una precisión de 0,1 g, al otro extremo se acoplo la anilla de 3 cm y, en el cilindro formado, se introdujo la muestra de sustrato a caracterizar (previamente humedecida), el cilindro se coloca en un recipiente, al que se le añadió agua hasta 0,5 mm del borde superior y se dejó saturar por 48 horas. Luego de que transcurrió ese tiempo, y con el fin de someter la muestra a una tensión de 10 cm de c.a., el cilindro se colocó en un baño de arena durante 48 horas. Posteriormente se sacó el cilindro del baño de arena y se pesaron las anillas. Se cortó con una espátula el material sobrante de la anilla inferior (4cm) y se pesó el conjunto anilla sustrato húmedo (B). Finalmente, y siguiendo la metodología propuesta por Martínez (1992), se introdujo el conjunto en estufa a 105°C hasta peso constante. Ver Anexo T y V.

Ecuación para el cálculo de la densidad aparente

$$DA = ((B - A)/V) * ((100 - X)/100)$$

Donde:

- A:** Peso del conjunto anilla – tela Nylon (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.

Ejemplo

A continuación el cálculo de la densidad aparente de la muestra de compost maduro P1-08:

$$DA = ((B - A)/V) * ((100 - X)/100)$$

$$DA = ((289,00 - 99,925)/318,862) * ((100 - 30,780)/100)$$

$$DA = 0,129\text{g/cm}^3$$

De igual manera los cálculos se realizaron para todas las muestras.

Espacio poroso total:

Procedimiento:

El espacio poroso total se calculó a partir de los datos de densidad real y densidad aparente, aplicando la ecuación.

Ecuación para el cálculo del espacio poroso total

$$ETP = (1 - (DA)/(DR)) * 100$$

Ejemplo:

Cálculo de densidad aparente compactada para la muestra P1-08

$$ETP = (1 - (0,129)/(2,031)) * 100$$

$$ETP = 93,642 \%$$

De igual manera los cálculos se realizaron para todas las muestras.

Capacidad de retención de agua:

Procedimiento:

La CRA se determinó según la modificación de la metodología de Booldt, propuesta por Martínez, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación para el cálculo de la capacidad de la retención de agua

$$\text{CRA} = (\text{B} - \text{C})/(\text{V}) * 1000$$

Donde:

V: Volumen de la anilla de 4cm utilizada por la determinación de la densidad aparente:

B y C: Son los pesos obtenidos para su cálculo.

Ejemplo:

Calculo de la capacidad de la retención de agua de la muestra P1-08

$$\text{CRA} = (289,00 - 141,04)/(31,862) * 1000$$

$$\text{CRA} = 464,37\%$$

De igual manera los cálculos se realizaron para todas las muestras.

Capacidad de aireación:

Procedimiento:

Se calculó el contenido del aire presente en la muestra, después de haber usado una presión hidrostática de menos de 10cm aplicando la ecuación siguiente:

Ecuación para el cálculo de la capacidad de aireación

$$\text{CA} = \text{EPT} - (\text{CRA}/10)$$

Ejemplo:

Calculo de la capacidad de la capacidad de aireación de la muestra P1-08

$$\text{CA} = 93,65 - (464,02/10)$$

$$\text{CA} = 47,250\%$$

De igual manera los cálculos se realizaron para todas las muestras.

Contracción de volumen:

Procedimiento:

Se calculó a partir de la pérdida de volumen experimentada por el sustrato contenido en la anilla de 4cm, tras secarlo a 105 °C. Se utilizó la siguiente ecuación.

Ecuación para el cálculo de la contracción de volumen

$$C = ((V - V_{ss})/V) * 100$$

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.

Ejemplo:

Calculo de la contracción de volumen de la muestra P1-08

$$C = ((318,8 - 217,8)/318,8) * 100$$

$$C = 28,54 \%$$

De igual manera los cálculos se realizaron para todas las muestras.

CAPÍTULO III

1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados.

Con el objeto de llevar una secuencia lógica en el análisis e interpretación de resultados se estableció el siguiente esquema:

3.1.1 Análisis químico de los materiales iniciales: LC, P y A

Tabla 1-3: Resultado de análisis químico de los materiales iniciales de los lodos de camal, poda y aserrín

| Parámetros | LC | P | A |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| Humedad (%) | 81,4 | 78,0 | 63,6 |
| pH | 8,6 | 5,8 | 5,7 |
| CE(dSm ⁻¹) | 0,04 | 0,06 | 0,89 |
| MO (%) | 4,4 | 27,3 | 98,8 |
| Corg (%) | 2,4 | 25,7 | 51,4 |
| N _T (%) | 5,57 | 8,40 | 0,18 |
| Corg/ N _T | 0,428 | 3,1 | 285,7 |
| Polifenoles (mg Kg ⁻¹) | 3,225 | 5,605 | 684 |
| CIC (meq/100g) | 23,84 | 35,73 | - |
| P (% p/p) | 1,10 | 0,05 | 0,51 |
| Na (mg/Kg) | 964,39 | 583,18 | 0,20 |
| K (% p/p) | 0,5 | 0,3 | 0,7 |
| Fe (mg/Kg) | 185 | 129 | 296 |
| Mn (mg/Kg) | 69 | 23 | 22 |
| Cu (mg/Kg) | 7,00 | 0,03 | 3,00 |
| Zn (mg/Kg) | 37 | 12 | 6 |
| Mg (% p/p) | 76,3 | 17,5 | - |
| Cr (mg/Kg) | 2,2 | 4,7 | 27 |
| Ni (mg/Kg) | 0,56 | 0,03 | 20,00 |
| Cd (mg/Kg) | 0,29 | 0,17 | 0,09 |
| Hg (mg/Kg) | 0,04 | 0,01 | <0,05 |
| Pb (mg/Kg) | 1,42 | 2,35 | 0,06 |
| Cl ⁻¹ (mg/Kg) | 779,9 | 1517,0 | 510,5 |
| NO ₃ ⁻ (mg/Kg) | 194,0 | 4,0 | 22,0 |
| SO ₄ ²⁻ (mg/Kg) | 261,34 | 705,18 | 232,14 |
| PO ₄ ⁻ (mg/Kg) | 28,9 | 30,5 | 14,6 |

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Fuente: Laboratorio UNACH, 2017; Centro CESAL, 2018; Chimbo Victoria, 2018; Gavilanes Irene, 2015

La Tabla 1-3 muestra los parámetros de partida, siendo la humedad, % de Corg y % de N_T los que permitieron realizar el diseño óptimo para cada pila (Ver Fig. 17-2). Para tener un correcto compostaje (Márquez et al., 2012), mencionan que la relación C/N adecuada teóricamente es de 25-35 debido a que los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de N.

Además, el análisis inicial de los sustratos permitió la verificación del aumento o descenso de los mismos luego de haber aplicado los diferentes ensayos; resaltando el gran contenido de MO, siendo sustratos ideales para el proceso de compostaje (Lacalle et al., 2010) y principales causas de contaminación para el medio ambiente (Castro, 2011).

En los trabajos revisados no se tiene referencia de la característica de los parámetros descritos en la Tabla 1-3, en cuanto a LC, por lo que se tomó como referencia el contenido de dichos parámetros en el estiércol de vacuno que fue el principal componente en los lodos del centro de faenamiento de Guaranda. Investigaciones en diferentes países dieron: P (885,9 mg/Kg), Ca (746 mg/Kg), Mg (77,19 mg/Kg), K(589 mg/Kg), Na (2680 mg/Kg), Zn (7,16 mg/Kg), Mn (40,59 mg/Kg), Fe(59,2 mg/Kg), Cu (1,12 mg/Kg), Cd (0,035 mg/Kg), Cr (0,025 mg/Kg) y Ni (0,17mg/Kg) fueron menores a los valores de P (2-2,5 %) y K (1,6-2%) (Eghball, 2000); P (9200 mg/Kg), K (15000 mg/Kg) y Na (1100 mg/Kg) (Alvaréz *et al.*, 2004); P (0,42-1,08%), Ca (2,9%), Mg (0,01-0,33%), K (0,58-1,89%), Na (0,7%) y Zn (41-272%) (Céspedes, 2005); P (0,1-1,5%), Ca (0,35%), Mg (0,8 %), K (2,5%), Na(1,6%), Zn (130,6 ppm), Mn (264 ppm) y Fe (< 354 ppm) (Romero, 1997); P (1,2%), Ca (2,2 %), Mg (1,1%) y K (1,8%) (Bertsch, 1995); P (0,46%) y K (2,5) (Fleming y MacAlpine, 2004).

Comparando los valores de los parámetros anteriormente mencionados con los obtenidos de la concentración de metales pesados contenidos en lodos del Centro de faenamiento del Cantón Guaranda se evidenció que la calidad de los LC fue muy buena y cumplieron con los requisitos necesarios en los parámetros Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, y Zn (NCh2880, 2004), en materias primas a ser compostadas. Ver Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Comparación de resultados de concentración de metales pesados en materias primas para compostaje

| Parámetros | Norma Chilena | LC de Guaranda |
|------------|---------------|----------------|
| Cd (mg/Kg) | 10 | 0,285 |
| Cu (mg/Kg) | 1500 | 6,945 |
| Cr (mg/Kg) | 1000 | 2,29 |
| Hg (mg/Kg) | 10 | 0,0368 |
| Ni (mg/Kg) | 200 | 0,555 |
| Pb (mg/Kg) | 800 | 1,42 |
| Zn (mg/Kg) | 3000 | 37,03 |

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Fuente: Norma Chilena 2880, 2004

3.1.2 Evolución de temperatura en pilas durante el compostaje

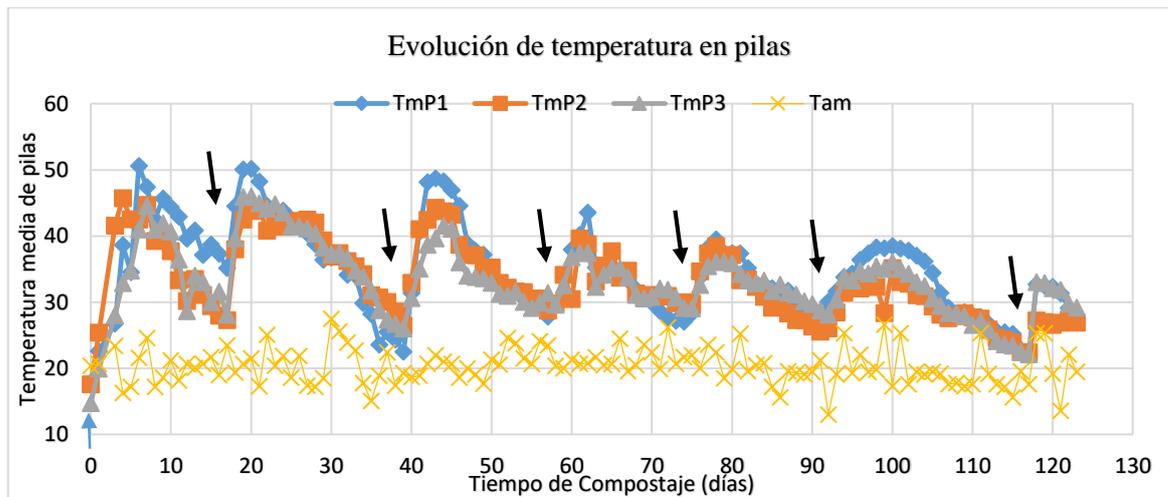


Gráfico 1-3: Evolución de la temperatura en las pilas durante el compostaje

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

En la Fig. 1.3 se muestra la evolución de las temperaturas en las 3 pilas vs los días transcurridos de compostaje, evidenciándose un rápido incremento de temperatura en los primeros días de compostaje, manteniéndose de esta manera la fase termofílica durante los primeros 50 días del desarrollo del proceso. Este rápido incremento de temperatura fue observado por otros autores en la producción de este tipo de abono orgánico (Gavilanes et al., 2016; Vargas-García et al., 2006-2001; Kalamdhad et al., 2009; Ali et al., 2014; Jurado et al., 2014).

La pila 1 tuvo períodos más largos a altas temperaturas, llegando a alcanzar la máxima temperatura de 53°C, las pila 2 y 3 tuvieron similares comportamientos, alcanzando una máxima temperatura de 46 °C.

Cuando las temperaturas de las pilas descendieron aproximadamente a la temperatura ambiental era un indicativo de que se tenía que realizar un volteo y estos fueron a los 15, 37, 56, 78, 90, y 123, días; luego de hacer este procedimiento se pudo evidenciar que las temperaturas subían debido a la oxigenación y homogenización de las mezclas. Este aumento de temperatura fue también evidenciado en trabajos realizados por Chávez, (2006) y Apaza, (2004); durante el compostaje con residuos de camal.

Después de 16 semanas de compostaje, las temperaturas descendieron progresivamente hasta llegar a la etapa mesófila, éstas continuaron enfriándose, después de realizar el último volteo a la semana 18 aproximadamente las temperaturas de todas las pilas ya no tuvieron un incremento significativo, finalizándose así la etapa biooxidativa y dando inicio a la fase de maduración que tuvo una duración de 9 semanas.

Las 3 pilas incrementaron sus temperaturas por encima de 46 °C en las primeras semanas lo que contribuyó a la máxima disminución de patógenos de acuerdo con los requisitos europeos sobre el saneamiento del compost (Comisión Europea, 2014).

3.1.3. Degradación de la materia orgánica.

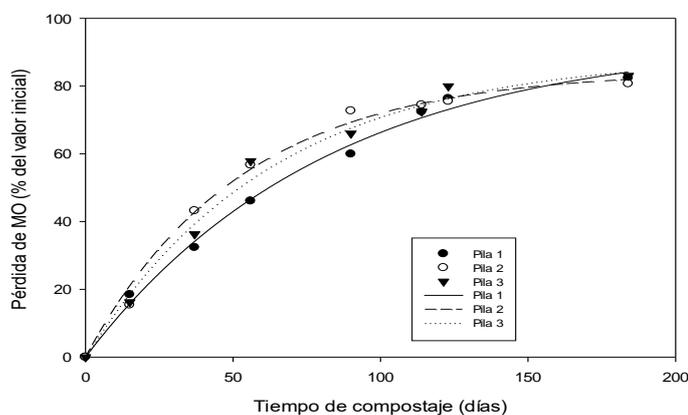


Gráfico 2-3: Degradación de la MO

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

El contenido inicial de MO en la pila 1 fue en menor proporción, que en las otras pilas, lo que se puede atribuir a que tenía mayor proporción de poda, que es un material de fácil y rápida biodegradación y menor cantidad de aserrín (Tabla 3-3), los porcentajes de MO en las pilas 1, 2 y 3, fueron disminuyendo gradualmente durante el proceso de compostaje de 79,7%; 82,3% y 89,0% a 40,9%; 47,4%; 57, 8%, respectivamente. (Tabla 3-3), lo que muestra la mineralización de MO.

Las pérdidas de MO fueron relevantes durante la fase de biooxidación en las 3 pilas (Fig. 2-3), debido a las elevadas temperaturas y la excesiva actividad microbiana. La mineralización de la MO, se observó en menor cantidad durante la etapa de maduración, lo que indica la estabilidad alcanzada por los productos después de la etapa biooxidativa. Barros et al., (2012) y Chavéz, (2012), también observaron una menor degradación de MO durante la fase de maduración de compostaje a partir de residuos de camal.

El perfil de la degradación de la MO durante el compostaje en función del tiempo se explicó utilizando una ecuación cinética de primer orden en las 3 pilas:

Ecuación para el cálculo de la pérdida de MO

$$Pérdida de MO = A(1 - e^{-kt})$$

Donde:

A= máxima degradación de materia orgánica

k= constante de velocidad

t= tiempo transcurrido en días

A partir del ajuste de curvas de los datos experimentales (PILAS) dieron los siguientes valores:

Tabla 3-3: Valores del ajuste de curvas de las 3 pilas

| PILA | A | K | R ² |
|------|---------|--------|----------------|
| 1 | 94,1189 | 0,0122 | 0,9934 |
| 2 | 84,4963 | 0,0191 | 0,9914 |
| 3 | 89,1224 | 0,0159 | 0,9880 |

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

En las 3 pilas, la cantidad de variación explicada por el modelo fue superior al 98%. Resultados similares de A fueron obtenidos en trabajos realizados por Gavilanes et al., (2015) y Bustamante et al., (2008). Sin embargo, los valores de k de este experimento fueron menores a los encontrados por los autores anteriormente mencionados. El uso de mayor cantidad de poda (P1) aumentó los valores de la tasa de degradación (A).

3.1.3. Evaluación de los principales parámetros durante el compostaje

Tabla 4-3: Resultado de parámetros considerados en la evaluación del proceso de compostaje

| PILA 1: 30% lodos de camal, 20% de poda y 50% de aserrín. | | | | | | | | |
|--|-------|------------|--------|--------|---------|--------|--------|--|
| Tiempo (días) | pH | EC (dsm-1) | OM (%) | Nt(%) | Corg/Nt | CIC | IG | |
| 0 | 6,4 | 1,1 | 79,7 | 1,4 | 30,9 | 29,3 | 5% | |
| 15 | 6,9 | 1,1 | 76,2 | 1,9 | 22,0 | 39,2 | 11% | |
| 37 | 7,0 | 1,1 | 72,7 | 2,5 | 16,0 | 49,5 | 18% | |
| 56 | 7,0 | 1,3 | 67,9 | 1,5 | 14,7 | 54,4 | 29% | |
| 90 | 7,2 | 1,3 | 61,2 | 2,6 | 14,3 | 58,5 | 43% | |
| 114 | 7,1 | 1,4 | 52,0 | 2,4 | 14,1 | 61,4 | 46% | |
| 123 | 7,4 | 1,5 | 48,2 | 2,0 | 13,1 | 65,5 | 65% | |
| 184 | 7,7 | 2,5 | 40,9 | 2,1 | 12,4 | 65,7 | 76% | |
| DMS | 0,05 | 0,0163 | 1,397 | 0,1369 | 1,1885 | 3,5423 | 0,0967 | |
| PILA 2: 30% lodos de camal, 15% de poda y 55 % de aserrín. | | | | | | | | |
| 0 | 6,1 | 0,5 | 82,3 | 1,9 | 24,1 | 23,5 | 2% | |
| 15 | 6,2 | 0,5 | 79,8 | 2,1 | 20,5 | 37,7 | 6% | |
| 37 | 6,3 | 0,6 | 72,6 | 2,1 | 18,6 | 40,5 | 18% | |
| 56 | 6,8 | 0,8 | 66,8 | 2,0 | 17,7 | 50,3 | 40% | |
| 90 | 6,5 | 0,8 | 56,0 | 2,1 | 14,5 | 55,3 | 46% | |
| 114 | 6,5 | 0,9 | 54,4 | 2,1 | 14,2 | 60,4 | 57% | |
| 123 | 7,3 | 1,2 | 53,3 | 2,2 | 13,6 | 67,3 | 73% | |
| 184 | 6,5 | 2,2 | 47,4 | 2,0 | 12,9 | 69,5 | 82% | |
| DMS | 0,082 | 0,0191 | 1,311 | 0,1304 | 1,1319 | 3,4417 | 0,1043 | |
| PILA 3: 30% de lodos de camal, 10% de poda 60% de aserrín. | | | | | | | | |
| 0 | 6,1 | 0,6 | 89,0 | 1,7 | 29,6 | 41,7 | 2% | |
| 15 | 6,4 | 0,5 | 87,1 | 2,1 | 22,1 | 48,2 | 6% | |
| 37 | 6,6 | 0,8 | 83,7 | 2,2 | 20,5 | 49,0 | 15% | |
| 56 | 6,7 | 0,8 | 77,3 | 2,1 | 19,9 | 52,3 | 33% | |
| 90 | 6,6 | 0,7 | 73,3 | 2,2 | 18,4 | 58,1 | 42% | |
| 114 | 6,6 | 0,9 | 69,0 | 2,2 | 17,4 | 60,1 | 56% | |
| 123 | 7,0 | 1,8 | 61,8 | 2,2 | 15,5 | 62,5 | 69% | |
| 184 | 7,7 | 2,3 | 57,8 | 2,1 | 15,5 | 67,5 | 79% | |
| DMS | 0,1 | 0,0321 | 2,169 | 0,1268 | 1,3238 | 3,6176 | 0,0699 | |

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Fuente: Chimbo Victoria, 2018; Centro Cesal, 2018, Laboratorio CESTTA, 2018.

Los valores de pH iniciales en las pilas 1, 2 y 3 fueron 6,4; 6,1; 6,1; respectivamente (Tabla 4-3). Las 3 pilas mostraron un aumento significativo de pH durante el proceso a 7,7; 6,5 y 7,7; respectivamente; según Paredes et al., (2000) debido a la degradación de compuestos ácidos, tales como grupos carboxílicos y fenolíticos, y a la mineralización de proteínas, aminoácidos y péptidos a amoníaco. Comportamientos parecidos se presentaron en investigaciones hechas por Chávez., (2012), iniciando con un pH de 7,24, para terminar con un pH de 7,51; en sus 7 tratamientos; mientras que Ordoñez, (2014), partió de un pH de 5,1 y terminó en 6,4 y 6,5 en sus dos tratamientos lo que ese evidencia un aumento significativo.

En la Tabla 4-3 se muestra que los valores de CE (1,1 dS/m; 2,2 dS/m; 2,3 dS/m) para la pila 1, 2 y 3, respectivamente; ascendieron a 2,5 dS/m, 2,2 dS/m; 2,3 dS/m; demostrando lo dicho por Paredes et al., (2000), que durante la degradación de MO, se produce un aumento en la CE, debido a la liberación de sales minerales e iones de amonio y la creciente concentración relativa de iones debido a la pérdida de masa de la pila. Otra propiedad importante que menciona el autor es que la CE refleja el grado de salinidad del compost.

Estudios realizados por Apaza, (2012) a partir de residuos de camal para la obtención de compost, tuvieron comportamientos similares donde se evidenciaron un aumento en la CE de 2,0 dS/m y 1,5 dS/m a 3,0 dS/m; 2,2 dS/m; 3,1 dS/m. Asimismo Chávez, (2012) en la caracterización inicial obtuvo CE de 1,1 dS/m; 1,5 dS/m; 0,5 dS/m; y finalizó en 3,3 dS/m; 3,6 dS/m, 3,8 dS/m, en compost producido a partir de desechos de camal.

La relación C/N al comienzo de la investigación tomo valores de 30,9%; 24,1%, 29,6%; para la pila 1, 2, y 3; respectivamente, los cuales disminuyeron considerablemente especialmente en la fase de biooxidación cuando la degradación de MO fue mayor, y luego se estabilizó, alcanzando valores de 12,4% en P1; 12,9% en P2 y 15,5% en P3 (Tabla 4-3). La relación del compost 1, 2, y 3 (12,4% en P1; 12,9% en P2 y 15,5%), fueron parecidas a 13,87-17,18 en compost a partir de residuos de camal, aserrín de pino, mezcla de balica-trébol y cascarilla de rosa mosqueta en proporciones iguales (Céspedes, 2005), 16-20 en compost de residuos sólidos urbanos (Zandvliet, 2009) y 10-23 en compost de pulpa de café (Vásquez de Días, 2010) y 13,43-16,02 en compost de 45 días que contenía rumen y aserrín (Vélez, 2012).

Los valores finales de la relación C_{org}/N_T sugieren que los 3 camposts alcanzaron un grado aceptable de maduración ya que fueron <20 (Bernal et al., 2009).

Con respecto a las transformaciones de N_T de las 3 pilas (Tabla 4-3) se observa que se tuvo un aumento significativo de 1,4; 1,9; 1,7; a 2,1; 2; y 2,1 para P1, P2, y P3, respectivamente. Estos resultados están de acuerdo con los datos obtenido por Kalamdhad et al., (2009), para el

compostaje realizado a partir de hojas de árboles, estiércol de ganado y aserrín, en el cual la concentración de N_T aumento de 1,4-1,8% a 1,7-2,6%.

La concentración de N_T generalmente aumenta durante el compostaje como consecuencia del efecto producido por la pérdida neta de masa seca, como el CO_2 y a la pérdida de agua por evaporación debido a la evolución del calor durante la oxidación de la MO (Gavilanes et al., 2015).

Otro parámetro ampliamente utilizado como indicador de humificación es la CIC, que aumentó su valor durante todo el proceso de compostaje (Tabla 4-3) mostrando la humificación debido a la formación de grupos funcionales carboxílicos y / o hidroxifenólicos (Iglesias Jiménez y Pérez García, 1991), este aumento progresivo de CIC se obtuvo también en el estudio realizado por Gavilanes et al., (2015), de 25 y 42 meq/100g a 88 y 100meq/100g, respectivamente durante el proceso de compostaje con residuos agrícolas, gallinaza y aserrín.

El IG aumentó durante todo el proceso de compostaje del 5%, 2%, 2% a 76%, 82% y 79% (Tabla 4-4) en las pilas 1, 2, y 3, respectivamente. Los valores iniciales de este parámetro en las 3 pilas fueron muy bajos posiblemente debido a la alta salinidad y concentración de polifenoles solubles de las mezclas iniciales. Sin embargo, los 3 compost finales mostraron una ausencia total de fitotoxinas, ya que los IG finales fueron superiores al 50%, que es el mínimo establecidos por Zuconí et al., (1981) para un compost maduro.

Gavilanes et al., (2015), obtuvo valores similares en compost a partir de residuos agrícolas, gallinaza y aserrín, cuyos valores iniciales de IG fueron de 2,6% y 0,1; con un IG de 86,6% y 70,3% en su compost maduro.

3.1.4. Evaluación de parámetros del compost final obtenido y comparación con normas para compost maduro

Tabla 5-3: Concentraciones de nutrientes y metales pesados en compost maduros (Compost 1: 30% lodos camal, 20% poda y 50 aserrín; Compost 2: 30% lodos camal, 15% poda y 55% aserrín; Compost 3: 30% lodos camal, 10% poda y 60% aserrín).

| Parámetros | Compost 1 | Compost 2 | Compost 3 | Directrices chilenas ^a | Directrices de EU ^b | Directrices Europeas ^c | Criterios ecológicos para mejoradores del suelo ^d |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--|
| OM (%) | 40,9 | 47,4 | 57,8 | >=20 | 50-60 | >15 | >20 |
| Ácidos húmicos | 9,95 | 9,45 | 9,00 | - | - | - | - |
| Ácidos fúlvicos | 6,52 | 8,79 | 7,68 | - | - | - | - |
| Macronutrientes (g/Kg) | | | | | | | |
| N _T | 20 | 20,1 | 20 | - | >= 10 | - | <30 |
| P | 2,8 | 1,5 | 0,2 | - | >=10 | - | - |
| K | 3,56 | 2,25 | 1,58 | - | - | - | - |
| Ca | 2,7 | 1,5 | 1,50 | - | - | - | - |
| Mg | 0,3 | 0,1 | 0,1 | - | - | - | - |
| Na | 5,33 | 4,76 | 3,83 | - | - | - | - |
| Micronutrientes (mg/Kg) | | | | | | | |
| Fe | 126,21 | 54,64 | 157,41 | - | - | - | - |
| Mn | 53,75 | 27,45 | 63,75 | - | - | - | - |
| Cu | 1,39 | 0,78 | 2,32 | - | 1500 | 200 | 100 |
| Zn | 36,8 | 5,31 | 9,55 | - | 2800 | 600 | 300 |
| Metales pesados (mg/Kg) | | | | | | | |
| Cr | 1,83 | 1,44 | 5,60 | 600 | 1200 | 100 | 100 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 80 | 420 | 50 | 50 |
| Pb | 3,28 | 2,21 | 4,61 | 300 | 300 | 120 | 100 |
| Hg | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 4 | 17 | 1 | 1 |
| Cd | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 8 | 39 | 1,5 | 1 |
| Aniones | | | | | | | |
| Cl ⁻ | 66,65 | 331,96 | 581,40 | - | - | - | - |
| NO ₃ ⁻ | 54,6 | 29,6 | 24,7 | - | - | - | - |
| SO ₄ ²⁻ | 45,26 | 53,29 | 33,60 | - | - | - | - |
| PO ₄ ⁻ | 54,4 | 35,6 | 56,7 | - | - | - | - |

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

Fuente: ^a Norma Oficial de Chile (2004), ^b Consejo estadounidense de Compostaje (2001), ^c Comisión Europea (2014), ^d Criterios ecológicos de mejoradores del suelo (2006).

La Tabla 5-3 muestra las principales características relacionadas con los aspectos nutricionales y los contenidos de metales pesados en los compost 1, 2 y 3. El compost 3 tenía un contenido de MO mayor al compost 2 y compost 1 (Tabla 5-3). Además, los 3 compost tenían porcentajes de MO que eran más altos que los valores límite establecido por las directrices europeas, norma chilena 2880, y los criterios ecológicos de mejoradores del suelo y menor que el valor recomendado por las directrices estadounidenses: OM > 15% (Comisión Europea, 2014), OM% >=20 (NCh2880, 2004), y OM>20% (Criterios ecológicos para mejoradores del suelo, 2006) para compost de diferentes orígenes y OM =50-60% para compost a partir de materias primas municipales (Consejo estadounidense de compostaje, 2001).

Según los resultados obtenidos de AH y AF en los compost 1, 2 y 3 (Tabla 5-3), se puede observar que los valores de AH son mayores en comparación a los AF. Similares comportamientos tuvieron en sus investigaciones (Iglesias Jiménez y Pérez García, 1991, 1992b, 199c), los mismos que indicaron que el tipo de proceso predominante (en relación a la humificación) en el compost a partir de lodos de depuradoras, fue un incremento paulatino de AH y un descenso de AF, y por tanto un ascenso en la tasa de polimerización. Esto se puede atribuir a la formación en primer lugar de sustancias de tipo fúlvicas, predominando las cadenas alifáticas sobre los núcleos aromáticos, y luego, en una fase posterior, se forman los ácidos húmicos por el aumento del volumen de los núcleos y descenso de las cadenas alifáticas (Stevenson, 1994).

Las concentraciones de los macronutrientes como N, P, K Ca, Mg, y Na, fueron mayores en el compost 1 que en el compost 2 y 3 (Tabla 5-3). Estos datos son muy importantes debido a que muchos agricultores prefieren utilizar compost como fuente de nutrientes (Miller, 1993). Con respecto al efecto que produce en el suelo la utilización de estas enmiendas sobre las propiedades químicas del suelo Clark et al., (1998), en una evaluación de cuatro años sobre los efectos de la incorporación de fertilizantes sintéticos y orgánicos, encontraron aumentos en las concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg, en los cultivos que recibieron abonos orgánicos continuamente.

Douds et al., (1997) también encontraron incrementos en los contenidos de K y P disponibles luego de la aplicación de compost a partir de estiércol de gallina, ganado vacuno y follaje. Además, los 3 compost (Tabla 5-3) tuvieron contenido de N_T por encima del rango preferido de compost para varias aplicaciones ($N_T \geq 10 \text{ g/Kg}$) de acuerdo al Consejo estadounidense de compostaje, 2001); así mismo los 3 composts tuvieron concentraciones de N_T por debajo del valor máximo establecido por los criterios ecológicos de mejoradores del suelo ($N_T < 30 \text{ g/Kg}$).

En cuanto a los contenidos de micronutrientes como Fe, Mn, Cu y Zn en los composts 1, 2 y 3 subieron en comparación a los valores reportados en los materiales iniciales que se utilizaron para la elaboración de los mismos (Tabla 3-1), sin embargo las concentraciones de Fe, Cu y Zn fueron mayores en el compost 1, que en el compost 2 y 3, pero la mayor concentración de Mn se reportó en el compost 3 (Tabla 5-3). Este incremento es importante en cuanto a los beneficios que trae consigo la utilización de compost en el suelo como: aumento de la actividad microbiana y reducción de microorganismos patógenos (Bulluck et al., 2002).

Los 3 compost tuvieron concentraciones bajas a comparación de los valores obtenidos por Gavilanes et al., (2015), para compost a partir de gallinaza, desechos vegetales y aserrín. Sin embargo se consideró que las concentraciones de Cu y Zn en las 3 pilas están por debajo de los valores límites permisibles: 1500, 200 y 100 mg/Kg, para el Cu; y, 2800, 600, y 100 mg/Kg, para

el Zn, según las directrices utilizadas para comparar con este experimento: (Consejo estadounidense de Compostaje, 2001), (Comisión Europea, 2014), (Criterios ecológicos de mejoradores del suelo, 2006), respectivamente.

Los metales pesados de los 3 compost (Tabla 5-3) estaban por debajo del límite máximo permitido en compost por la NCh2880, directriz estadounidense y europea, y de los criterios ecológicos (Normal Oficial Chilena 2880, 2004; Consejo estadounidense de Compostaje, 2001; Comisión Europea, 2014; Criterios ecológicos para mejoradores del suelo, 2006).

Lo que indica que los compost obtenidos son aptos para uso agrícola sin temor a que se produzca algún tipo de contaminación en los cultivos donde sean colocados, este aspecto es fundamental debido a que los metales pesados son elementos químicos que no se descomponen ni se destruyen, tan solo cambian su estado de oxidación, pero si sus concentraciones no supera los límites definidos por entes reguladoras denomina su inocuidad y le ofrece la certificación al usuario del compost (FAO, 2013).

Tabla 6-3: Resultados de los análisis de las propiedades físicas del compost maduro comparados con la turba

| Parámetro | Unidad | Compost 1 | Compost 2 | Compost 3 | Turba |
|-----------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| DA | (g/cm ³) | 0,131 | 0,145 | 0,139 | 0,045-0,2 |
| DR | (g/cm ³) | 2,005 | 1,961 | 1,953 | 1,350 |
| EPT | (%) | 93,46 | 92,63 | 92,88 | 94,30 |
| CRA | (gr.agua/g.sustrato) | 464,66 | 443,41 | 447,96 | 1049,00 |
| C | (%) | 28,13 | 20,78 | 23,58 | 5,70 |
| CA | (%) | 47,02 | 48,29 | 48,08 | 29,00 |

Realizado por: Chimbo Victoria, 2018

En la Tabla 6-3 se muestra los parámetros físicos que se analizaron en los 3 compost maduros, estos resultados se compararon con la turba que es una norma para evaluar a los sustratos. El compost 1, 2 y 3 tuvieron una DA de 0,131 g/cm³; 0,145 g/cm³ y 0,139 g/cm³; respectivamente, estos valores comparados con la turba fueron óptimos debido a se encuentran entre los límites sugeridos por esta (0,045 g/cm³-0,2 g/cm³). Valores similares a estos se obtuvo en la investigación realizada por Gordillo et al., (2015) en la evaluación comparativa de la calidad del compost producidos a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales con lodos de camal. La densidad aparente está relacionada con el contenido de humedad y el grado de mineralización de las compostas (Mohee y Mudhood, 2005).

Los análisis de las DR en los 3 compost fueron: 2,005 g/cm³, 1,961 g/cm³, y 1, 953 g/cm³; siendo mayores en comparación a la de la turba (1,350 g/cm³). Esto se puede atribuir a que la

densidad real se va incrementando en el proceso de compostaje, a causa de una mayor descomposición y reducción del tamaño de las partículas (Tarre et al., 1987).

Un sustrato ideal presenta un EPT mayor al 85%, recalcando así que el compost 1, 2 y 3, tuvieron un EPT de 93,46%; 92,63%; 92,88% respectivamente, siendo similares a la norma dada por la turba (94,30%). El espacio poroso total está determinado por la DA, el tamaño y forma de partícula, distribución de la partícula, y la disponibilidad del agua y aire en el sustrato. (Raviv et al., 1998).

En compost a partir de mezclas de cáscara de arroz y bagazo de caña con estiércol de ganado, otros investigadores (Pipe y Pereira, 2003) obtuvieron espacios porosos de 85 y 95% respectivamente. En cuanto a la CRA, el compost 1, 2 y 3 presentaron valores de 464,66 g.agua/g.sustrato, 443,41g.agua/g.sustrato y 447,96g.agua/g.sustrato respectivamente, estando dentro de la norma dada por la turba (1049,00 g.agua/g.sustrato).

Las compostas 1, 2 y 3 mostraron una CA, 47,02%, 48,29% y 48,08% respectivamente, valores por encima del recomendado por la turba (29,00%) (Tabla 6-3). Pipe y Pereira (2003), encontraron en sus sustratos de bagazo de caña y cáscara de arroz con estiércol de ganado una aireación de 47% y 68% respectivamente. Un elevado volumen de aireación favorece al libre drenaje, disminuyendo la capacidad de retención de agua y frecuentes riesgos, evitándose problema en el manejo del cultivo (Laos et al., 2000).

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización de los materiales iniciales a utilizarse (LC, P y A), siendo el % de humedad, % de C y % de N_T los que permitieron realizar el diseño óptimo para cada pila, los experimentos tuvieron las siguientes composiciones: 30% de lodos de camal, 20% de poda y 50% de aserrín para la pila 1; 30% de lodos de camal, 15% de poda y 55% de aserrín para la pila 2; y 30% de lodos de camal, 10% de poda y 60 % de aserrín para la pila 3 y se verificó también que los lodos del centro de faenamiento de Guaranda contenían concentraciones de metales pesados bajos siendo un requisito fundamental de partida para realizar compost.
- Se realizó el control del proceso de co-compostaje a través de la medición de parámetros físico-químicos, químicos, biológicos como: temperatura, humedad, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, macronutrientes, micronutrientes, metales pesados, índice de germinación, capacidad de retención de agua, densidad aparente, espacio poroso total, densidad real, capacidad de retención de agua, capacidad de aireación y contracción de volumen.
- Se evaluó la calidad de los 3 compost maduros, para uso agrícola tomando en cuenta parámetros indispensables de evaluación como: incremento paulatino de pH hasta llegar al óptimo comprendido entre 6-5 y 8,5; ascenso de la CE siendo estas > 2 dS/m , las relaciones C/N_T fueron < 25 , las concentraciones de macro y micronutrientes aumentaron, el IG $>$ al 50%, la concentración máxima de metales pesados no fueron significativos y la comparación de la propiedades físicas de los 3 compost con la turba estuvieron dentro de los parámetros óptimos sugeridos por la norma.

De acuerdo a los resultados mencionados anteriormente los 3 compost pertenecen a la Clase A, es decir son aptos para la agricultura.

RECOMENDACIONES

- Utilizar los lodos producidos en los distintos centros de faenamiento del país como materia prima para la elaboración de compost con mezclas adecuadas de otro tipo de residuos para obtener resultados iguales o mejores a los obtenidos en esta investigación.
- Se recomienda al centro de faenamiento de Guaranda que los lodos generados sean aprovechados por medio de tratamientos biológicos como el co-compostaje minimizando los efectos ambientales.
- Implementar otro tipo de técnicas biotecnológicas con residuos parecidos a los utilizados en esta investigación para constatar si se obtiene iguales o mejores resultados.
- Del proceso de compostaje se puede aprovechar los lixiviados, para la elaboración de biol que es un abono líquido muy apreciado por sus componentes nutricionales.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Wilson & PERALTA, Milton. *Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá* [En línea] (tesis).(Grado) Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Colombia, 2015. [Consultado: 17 de Febrero del 2018.] 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>

ALCOLEA, M. y GONZÁLEZ, C. *Manual de compostaje doméstico.* Barcelona. España, 2000. pp. 1-49.

ALTAMIRANO, M. y CABRERA, C. “Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual”. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, [en línea], España: vol. 9, no. 17, 2006. pp. 75–84. [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN 1561-0888. Disponible en: https://research-papers/estudio-comparativo-para-la-elaboracion-compost-por-t%C3%A9cnica-manual/?utm_source=desktop&utm_medium=1.17.13&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B72ee6145-a6f1-4e42-81f3-2e2b93d3aaa7%7D

ALVAREZ Rene, RIERA Victor y VILLCA Saúl. “Producción anaeróbica de biogás aprovechamiento de los residuos del proceso anaeróbico”. *IIDEPROQ-Cámara Nacional de Industrias*. [en línea]. Universidad Mayor de San Andrés Ingeniería Química Instituto de Investigaciones en Procesos Químicos – IIDEPROQ. La Paz – Bolivia, 2004. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/38010121/Produccion-Anaerobica-De-Biogas-Y-Aprovechamiento-De-Los-Residuos-Del-Proceso-Anaerobico>

AJAY S. Kalamdhad, et al. “Rotary drum composting of vegetable waste and tree leaves”. *ELSEVIER-ScienceDirect*. [en línea]. Bioresource Technology. Vol. 100 (24). Diciembre 2009. pp: 6442-6450. [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN: 200907.030. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409009067?via%3DIhub>

APAZA, D. *Compostaje y biodigestión con subproductos de camal en Puno-Perú.* 2013. pp. 1-175.

ARMA, V. Sudharsan, et al. “Effects of Aeration During Pile Composting of Water Hyacinth Operated at Agitated, Passive and Forced Aerated Condition”. *Springer Link-Waste and Biomass Valorization*. [en línea]. 01 de marzo de 2017. pp: 1-9 [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN: 186.46.174.250. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-017-9876-2>

BAHMAN Eghball. Nitrogen Mineralization from Field-Applied Beef Cattle Feedlot Manure or Compost. *Soil Sci*. [en línea]. University of Nebraska, Lincoln, 2000. 2015 [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN: 68583. Disponible en: <https://naldc.nal.usda.gov/download/17110/PDF>

BARROS, M. y GONZALES, L. *Clasificación y manejo de residuos rólidos orgánicos rel mercado y camal municipal del cantón Buena Fe para la obtención de compost.* , pp. 1-49.

BERNAL, M.P. et al. “Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review” *ELSEVIER-ScienceDirect*. [en línea]. Bioresource Technology Vol. 100(22). Noviembre de 2009. pp: 5444-5453. [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN: 2008.11.027. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408009917?via%3Dihub>

BIOLODOS. *Tratamiento biológico* [en línea], Departamento de Cundinamarca Colombia. 2007. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.biolodos.com/web/contacto/>

RIFFALDI, R.; R. Levi-Minzi y PERA, A. “Evaluation of Compost Maturity By Means of Chemical and Microbial Analyses”. *Waste Management y Research*. [en línea]. 1 de junio de 1986. [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN: 0734-242X. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X8600400157>

BUENO MÁRQUEZ, Pedro, DÍAZ BLANCO, Manuel y CABERA CAPITÁN, Francisco. *Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de Compostaje* [en línea]. Universidad de Huelva. Facultad de Ciencias Experimentales, Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Química Orgánica, España - Madrid: s.n. pp. 1-16. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

BUSTAMANTE, M.A. et al. “Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability” *AGRIS - Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO*. [en línea]. 2013 [Consulta: 18 febrero

2018]. ISSN: 0045-6535. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301578623>

CAPTULO IV LODOS. *Lodos residuales*. [en línea], S.l.: s.n. pp. 1-17. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CAPTULO_IV._LODOS_4.1._Introduccion.pdf

GARCÍA DE CORTÁZAR; Víctor, VARNERO, María Teresa, and ESPINOSA, Mauricio. “Efecto de bioabono sobre el área fotosintéticamente activa, producción de cladodios y eficiencia de recuperación de N en un cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.) en el primer año post-plantación”. [en línea]. (tesis) Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos, Casilla 1004, Santiago, Chile, 2001. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/241032615/Tesis-Tratamiento-de-Biol-EnTunas-Chile>

CARVAJAL GAVILANEZ, J.A. *La gestión administrativa en el desarrollo organizacional del camal municipal del cantón Guaranda* [en línea]. Provincia Bolívar año 2012. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: [dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/251/3/TESIS JONATHAN CARVAJAL.pdf](dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/251/3/TESIS%20JONATHAN%20CARVAJAL.pdf).

CÉSPEDES LEÓN María Cecilia. “Producción hortofrutícola orgánica”. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. [en línea]. Centro regional de investigación quilamapa, Chillán – Chile. 2012. [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN: 0717-4829. Disponible en: <http://docplayer.es/1149572-Produccion-hortofruticola-organica.html>

CHANGO, E.G. y SIMBAÑA, I.A. *Evaluación de la gestión de residuos sólido en la planta de tratamiento de aguas residuales del Camal Metropolitano de Quito y propuesta de mejora*. [en línea]. (tesis) Universidad Central Del Ecuador. Quito - Ecuador: 2016. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6602/1/T-UCE-0011-219.pdf

CHÁVEZ REVELO, Luis Miguel. Uso de desechos de camal (contenido ruminal, sangre y estiércol) en la elaboración de compost con la utilización de diferentes sustratos. [en línea] (tesis). Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. Quito – Ecuador. 2012. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/7926>

GARCÍA, O.N. “Lodos residuales: estabilización y manejo”. *Caos conciencia*, vol. 1, no. 1, 2006. pp. 51–58. [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN 77019. Disponible en: http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf

GUERRERO, E. y MONSALVE, P. “Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado”. *Scientia Et Technica*, vol. XIII, no. 34, 2007. pp. 595-600. [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN 0122-1701 Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84934101>

DUARTE, Rubén Macías; GRIJALVA CONTRERAS, Raúl Leonel y ROBLES CONTRERAS, Fabián. “Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño”. *Biotecnia - Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. [en línea]. España: Vol. 14, Núm. 3 (2012). [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/127>

HANS Savenyn y EDER Peter. “End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals” *Joint Research Centre*. [en línea]. Institute for Prospective Technological Studies (IPTS). Nº. 26425. 2014. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=6869>

ILIQÚIN FERNÁNDEZ, Roberth Esteve. *Producción de compost utilizando residuos orgánicos producidos en el camal municipal y viviendas urbanas aplicando los métodos takakura y em-compost en el distrito de Chachapoyas, Región Amazonas*. [en línea]. Universidad Nacional «Toribio Rodríguez de Mendoza» de Amazonas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Chachapoyas - Perú: 18 de julio de 2014. pp. 55-63. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1005/FIA_144.pdf?sequence=1&isAllowed=y

IGLESIAS, E. *Aspectos físico bioquímicos y microbiológicos del proceso de Evaluación de la calidad* [en línea]. (tesis) Universitas Miguel Hernández. Salamanca – España. 2003. S.l.: s.n. pp. 1-30. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/92881/1/3%202%20Unidad%20tematica%204.pdf>

ILMIAH Buletin. *Indeks Artikel Sumber*. [en línea]. 2018 [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/41790203/sumber-jurnal>

BULLUCK, L.R. “Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms” *ELSEVIER – Applied Soil Ecology*. [en línea]. Vol. 19 (2002). 22 de mayo de 2001. pp: 147-160. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <https://ristainolab.cals.ncsu.edu/files/2015/08/Bullock-III-LR-Brosius-M-et-al-Organic-and-synthetic-fertility-amendments-influence-soil.pdf>

JIMÉNEZ, Emeterio y PÉREZ Victor. “Composting of domestic refuse and sewage sludge. I. Evolution of temperature, pH, C/N ratio and cation-exchange capacity” *ELSEVIER-ScieceDirect*. [en línea]. Resources, Conservation and Recycling. Vol. 1 (1), Nombre 1991, pp: 45-60. [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN: 10.1016/0921-3449(91)90005-9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0921344991900059?via%3Dihub>

JURADO, M.M., et al. “Evolution of enzymatic activities and carbon fractions throughout composting of plant waste”. *ELSEVIER-ScieceDirect*. [en línea]. Volumen 133, 15 Junio 2014, pp: 355-364. [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN: 2013.12.020 Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713007688>

LIMÓN, Juan. *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?* [en línea]. México: 2013. S.l.: s.n. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.ai.org.mx/presentacion/los-lodos-de-las-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-%C2%BFproblema-o-recurso>

LIBRO VI - ANEXO 6 - NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS [en línea]. *Ley de gestión ambiental para la prevención y control de la contaminación ambiental*. 2008. S.l.: s.n. pp: 1-46. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/55/LIBRO%20VI%20Anexo%206%20Manejo%20desechos%20solido%20no%20peligrosos.pdf>

LIBRO VI ANEXO 2 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS [en línea]. *Ley de gestión ambiental para la prevención y control de la contaminación ambiental*. S.l.: s.n. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>

MASABNI, Joseph. *Materiales para compostar*. [en línea]. México: 2014 p. 14 [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <https://aggie-horticulture.tamu.edu/vegetable/files/2013/09/EHT-069S-composting.pdf>

MULLO, I. Manejo y Procesamiento de la Gallinaza. *infoAgro.com* [en línea]. Vol. 1(1). 2012 pp: 1-6. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaIntAgronomia/compostaje3.pdf>

NORMAS NCH2880 DEL INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Norma Chilena Compost Clasificacin y requisitos* [en línea]. S.l.: s.n. 2003. p: 5 [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>

ORDÓÑEZ, G. *Evaluación de la eficiencia de (Bacillus thuringiensis) para el control biológico de la araña roja (Tetranychus urticae Koch) en cultivo de fresa (Fragaria vesca) variedad Albión* [en línea]. Master's Thesis. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. 2015. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7877/1/tesis-033%20Maestr%C3%ADa%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20-%20CD%20275.pdf>.

PORTILLO, S. y LARA, P. *Técnicas de compostaje introducción* [en línea]. (tesis). S.l.: Facultad de Ciencias Veterinarias. 2014 [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2011-Tcnicas_De_Compostaje_1_Introduccion.pdf

RAMÍREZ, R., OLIVER, M.A., TORRES, J., GONZÁLEZ, J.L. y MÉNDEZ, G.M. “Diseño, construcción y prueba de un prototipo automático para compostaje”. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* [en línea], no. 70. 2014. 2014 [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN 01206230. Disponible en: <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=5cface2c-6a0f-18cf-0ca4-d6795d818c1a&documentId=d7cf3932-51d8-3777-8501-5e9153b1cbcd>.

ROCA, Ana. *Valoración agronómica del compost y factores limitantes de su aplicación (Parte II)* [En línea] [Consultado: 17 de Febrero de 2018.] Disponible en: http://www.infoagro.com/documentos/valoracion_agronomica_del_compost_y_factores_limitantes_su_aplicacion__parte_ii_.asp.

RODRÍGUEZ DE SANTO, Jesús. *Manual de compostaje casero* [en línea]. Madrid – España: 2008. S.l.: s.n. [Consulta: 18 febrero 2018]. pp: 1-26. Disponible en: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2010-Manual_de_compostaje_casero.pdf

ROMÁN, Pilar, MARTÍNEZ, María y PANTOJA, Alberto. *Manual de Compostaje Del Agricultor.* [en línea]. Experiencias en América Latina, Organización de las Naciones Unidas para

la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile, 2013. S.l.: s.n. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

RON, Alexander. *Field Guide to Compost Use, The US Composting Council* [en línea]. 2001. S.l.: s.n. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: http://compostingcouncil.org/admin/wp-content/plugins/wp-pdfupload/pdf/1330/Field_Guide_to_Compost_Use.pdf

RON Fleming, P. Eng, and MALCOLM Mac Alpine. *Composting Blood (Slaughterhouse Waste) Mixed With Various Substrates.* [en línea]. University of Guelph Ridgetown, ON, N0P 2C0. May 16, 2005. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: https://www.ridgetownc.com/research/documents/fleming_Final_Report_-_Compost_Blood.pdf

TORTOSA, German. *Contenido de nitrógeno en un compost* [En línea] 16 de Julio de 2013. [Consultado: 17 de Febrero del 2018.] Disponible en : <http://www.compostandociencia.com/2014/07/determinacion-del-contenido-total-de-nitrogeno-en-un-compost/>.

SANVEYN, H. y EDER, P. End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals. *European Commission*, pp. 1-132. ISSN 8319424.

SOLIVA, Montserrat y LÓPEZ, Marga, “Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso”. *En Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora* [en línea], 2004. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: http://mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/articulos_ESAB/Calidad%20compost%20lodos.pdf

VAN BEILEN, Nate. “Effects of Conventional and Organic Agricultural Techniques on Soil Ecology”. *Student Pulse-JournalQuest.* [en línea]. Center for development and strategy. Vol. 2016 (1). 2016. pp: 1-2. [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN: 2016.0001.23569. Disponible en: <http://www.inquiriesjournal.com/articles/1529/effects-of-conventional-and-organic-agricultural-techniques-on-soil-ecology>

VÁSQUEZ DE DÍAZ María Cristina, PRADA Paula, MONDRAGON Maritza, "Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la

aplicación de microorganismos nativos" *Publicación científica en ciencias biomédicas*. [en línea]. Universidad de Santander -UDES, Campus Universitario Lagos del Cacique, Bucaramanga, Colombia. Vol. 8, (14). 12 de diciembre de 2010. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/163/326>

VELAZCO, L., “Tipo de lodos”. *LENNTECH* [en línea]. 2014. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/tipo-de-lodos.htm>.

XIAOLIN Xie, et al. “Study of Biochemical and Microbiological Properties During Co-composting of Spent Mushroom Substrates and Chicken Feather”. *Springer Link-Waste and Biomass Valorization*. [en línea]. 29 de Julio de 2017. pp: 1-10 [Consulta: 18 febrero 2018]. ISSN: 186.46.174.250. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-017-0035-6>

ZANDVLIET, J.P. *Proyecto Integral de la Gestión Ambiental de los Residuos Sólidos de Desaguadero (Bolivia y Perú)*. [en línea]. New York, Marzo, 2009 [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.alt-perubolivia.org/sitio/pdf/pigars/PIGARS-compostaje.pdf>

ZUCCONI, F., DE BERTOLDI, M. “Especificaciones y caracterización para producción de compost a partir de MSW”. *Elsevier Applied Science, Scientific Research*. [en línea]. Comunidades europeas. Londres. p. 30-50. 2015 [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: [http://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjct55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1463430](http://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1463430).

ANEXOS

Anexo A: Lodos orgánicos del Centro de faenamiento vertidos al río Guaranda



Anexo B: Inexistencia de tratamiento de Lodos orgánicos en el centro de faenamiento del Cantón Guaranda



Anexo C : Localización del centro de faenamiento del Cantón Guaranda

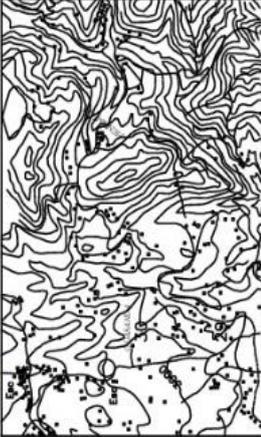
LEYENDA

| | |
|------------|-----------------|
| PROVINCIA: | BOLIVAR |
| CANTON: | GUARANDA |
| PARROQUIA: | VEINTIMILLA |
| SECTOR: | CAMAL MUNICIPAL |

| | |
|------------|-------------|
| DISTANCIAS | |
| NORTE | 15,53 mis. |
| SUR | 23,01 mis. |
| ESTE | 167,23 mis. |
| OESTE | 140,75 mis. |

TESISTA: CHIMBO ORELLANA VICTORIA ESTEFANIA

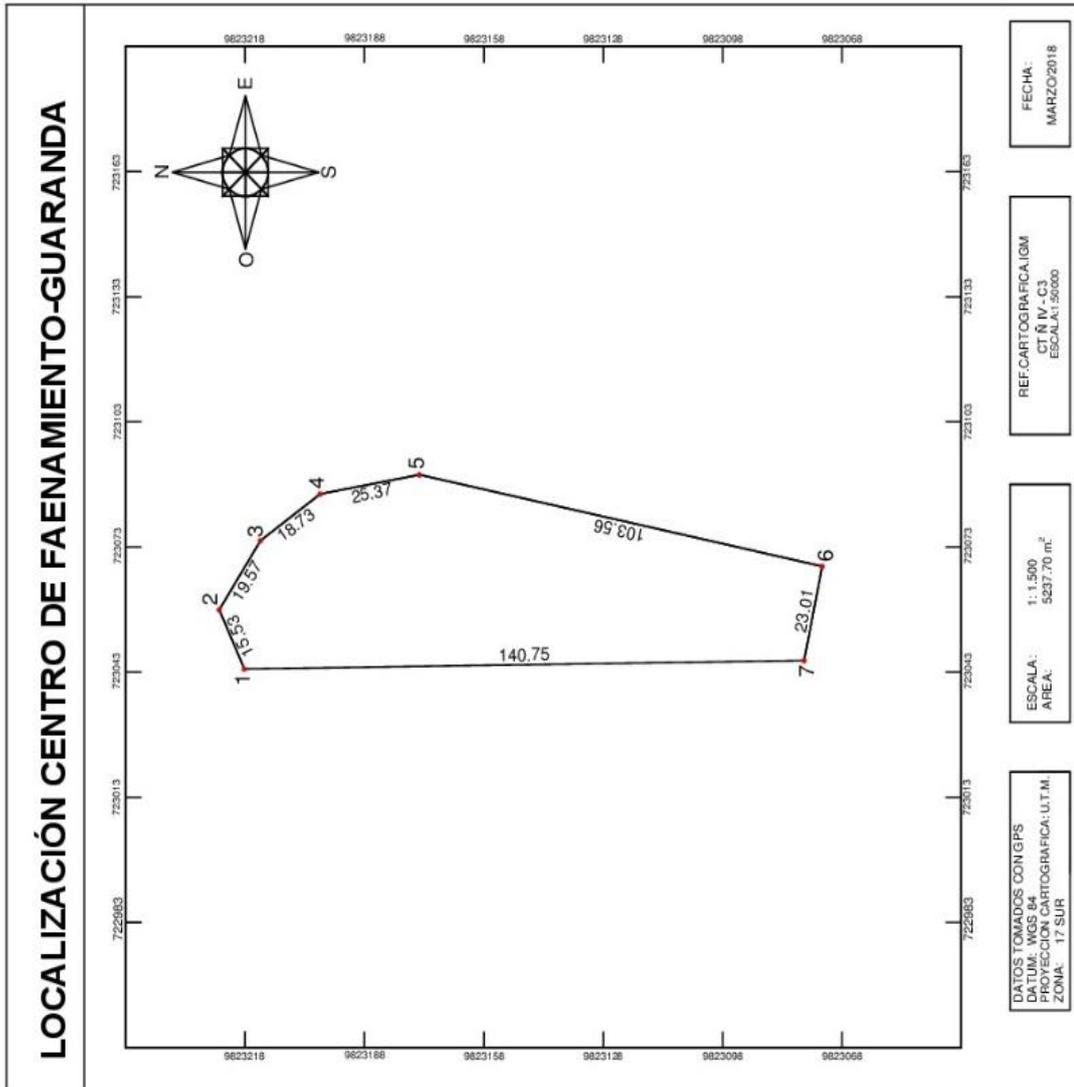
● Ubicación del Predio



| CUADRO DE COORDENADAS | | |
|-----------------------|-----------|------------|
| VERT | ESTE(X) | NORTE(Y) |
| 1 | 723043.45 | 9823218.62 |
| 2 | 723057.64 | 9823224.94 |
| 3 | 723074.22 | 9823214.54 |
| 4 | 723085.39 | 9823199.51 |
| 5 | 723090.05 | 9823174.57 |
| 6 | 723068.08 | 9823073.37 |
| 7 | 723045.52 | 9823077.89 |

ELABORADO POR

VICTORIA CHIMBO ORELLANA



Anexo D: Pesaje de los lodos generados en el centro de Faenamiento del Cantón Guaranda-Provincia Bolívar



Anexo F: Muestreo de lodos del Centro de Faenamiento y residuos de poda de la Ciudad de Guaranda



Anexo G: Determinación de humedad de los lodos del Centro de Faenamiento y de residuos de poda del Cantón Guaranda.



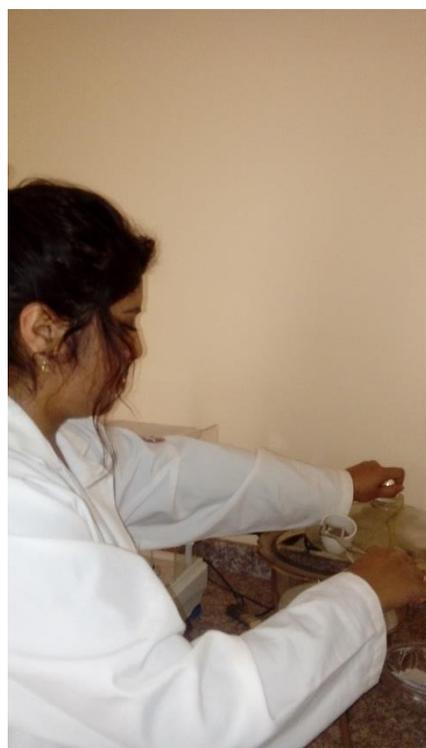
Anexo H: Análisis Físico-Químico- Determinación de Conductividad Eléctrica



Anexo I: Análisis Físico-Químico- Determinación de pH



Anexo J: Análisis Físico-Químico- Determinación de Materia Orgánica



Anexo K: Análisis Químico - Determinación de cloruros



Anexo L: Análisis Químico - Determinación de nitratos



Anexo M: Análisis Químico - Determinación de Fosfatos



Anexo N: Análisis Químico - Determinación de Sulfatos



Anexo O: Elaboración de pilas de compostaje



Anexo P: Localización del experimento

LEYENDA

| | |
|------------|--------------------|
| PROVINCIA: | BOLIVAR |
| CANTON: | CHIMBO |
| PARROQUIA: | SAN JOSE DE CHIMBO |
| SECTOR: | BARRIO SAN JOSE |

| | |
|-------|------------|
| | DISTANCIAS |
| NORTE | 12.00 mts. |
| SUR | 12.00 mts. |
| ESTE | 6.00 mts. |
| OESTE | 6.00 mts. |

TESISTA: CHIMBO ORELLANA VICTORIA ESTEFANIA

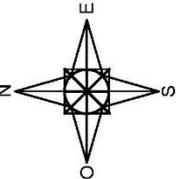
● Ubicación del Predio



| CUADRO DE COORDENADAS | ESTE(X) | NORTE(Y) |
|-----------------------|-----------|------------|
| VERT 1 | 720015.68 | 9813809.26 |
| 2 | 720027.18 | 9813812.68 |
| 3 | 720029.03 | 9813806.97 |
| 4 | 720017.53 | 9813803.56 |

ELABORADO POR
VICTORIA CHIMBO ORELLANA

LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

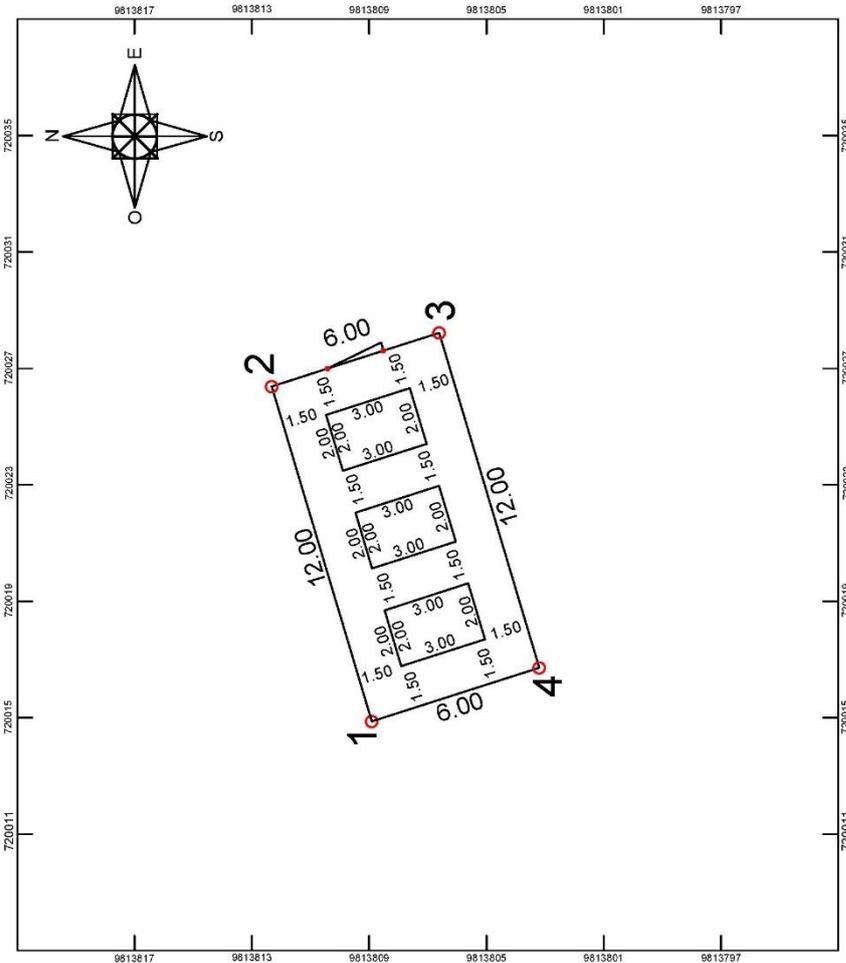


FECHA:
ENERO/2018

REF. CARTOGRAFICA IGM
CT N.I.V. - P2
ESCALA: 1:50000

ESCALA: 1:200
AREA: 71.97 m²

DATOS TOMADOS CON GPS
DATUM: WGS 84
PROYECCION CARTOGRAFICA: U.T.M.
ZONA: 17 SUR



Anexo Q: Control del proceso de compostaje



Anexo R: Volteo de pilas



Anexo S: Análisis biológico- Índice de Germinación



Anexo T: Análisis físicos: Densidad aparente, densidad aparente compactada, espacio poroso total, capacidad de retención de agua, capacidad de aireación y contracción de volumen



Anexo V: Análisis físicos: Densidad aparente, densidad aparente compactada, espacio poroso total, capacidad de retención de agua, capacidad de aireación y contracción de volumen

