



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN PROCESO DE COMPOSTAJE A PARTIR DEL
CONTENIDO RUMINAL DE BOVINOS EN EL CAMAL
MUNICIPAL DE RIOBAMBA”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: JENNY KAROL BARRAGÁN GUERRERO

TUTOR: ING. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA PhD.

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

© 2018 Jenny Karol Barragán Guerrero

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de titulación, certifica que: El trabajo de investigación: Tipo Proyecto Técnico “DISEÑO DE UN PROCESO DE COMPOSTAJE A PARTIR DEL CONTENIDO RUMINAL DE BOVINOS EN EL CAMAL MUNICIPAL DE RIOBAMBA”, de responsabilidad de la señorita Jenny Karol Barragán Guerrero, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|--|--------------|---------------------|
| Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moína PhD. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN | _____ | 16/08/2018 _____ |
| Ing. Marcela Yolanda Brito Mancero Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL | _____ | 16/08/2018 _____ |
| Ing. Segundo Hugo Calderón Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL | _____ | 16/08/2018 _____ |

Yo, Jenny Karol Barragán Guerrero soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jenny Karol Barragán Guerrero
Cédula de identidad: 060379300-1

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta este punto, por sus infinitas bendiciones. A mis padres Angelito y Sarita que son el pilar fundamental y quienes han sido el apoyo incondicional moral y económico durante el periodo de mis estudios. A mis hermanos: Milton, Virginia, Carmita, Isabel y David.

Todo este trabajo ha sido gracias a ellos.

Jenny

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química por la experiencia enriquecedora de haber estudiado en tan prestigiosa institución.

A mi tutor Ing. Hannibal Brito y colaboradora Ing. Marcela Brito. A mis maestros quienes aportaron sus conocimientos durante toda mi etapa estudiantil que con su esfuerzo, dedicación, experiencia y paciencia ha hecho posible la culminación del presente trabajo.

A los funcionarios del Camal Municipal Riobamba, Ing. William Luzuriaga e Ing. Rosario Jara por su colaboración.

TABLA DE CONTENIDOS

| | Pp. |
|--|------------|
| RESUMEN | xv |
| ABSTRACT | xvi |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I | |
| 1. DIAGNOSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.1. Identificación del Problema | 3 |
| 1.2. Justificación del proyecto | 4 |
| 1.3. Línea base del proyecto | 5 |
| 1.3.1. Antecedentes de la Empresa | 5 |
| 1.3.2. Marco conceptual | 6 |
| 1.3.2.1. Problemática de los residuos de bovinos | 6 |
| 1.3.2.2. Compostaje | 6 |
| 1.3.2.3. Sistemas de Compostaje | 15 |
| 1.3.2.4. Normativa para el proceso de compostaje | 19 |
| 1.3.2.5. Cavidad Ruminal o Rumen | 20 |
| 1.3.2.6. Residuo foliar | 22 |
| 1.3.2.7. Ecuaciones para cálculos | 23 |
| 1.4. Beneficiarios directos e indirectos | 29 |
| 1.4.1. Beneficiarios Directos: | 29 |
| 1.4.2. Beneficiarios Indirectos: | 29 |
| CAPÍTULO II | |
| 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO | 30 |
| 2.1. General | 30 |
| 2.2. Específicos | 30 |
| CAPÍTULO III | |
| 3. ESTUDIO TÉCNICO | 31 |
| 3.1. Localización del proyecto | 31 |
| 3.2. Ingeniería del proyecto | 32 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.2.1. | <i>Tipo de estudio</i> | 32 |
| 3.2.2. | <i>Métodos y técnicas</i> | 32 |
| 3.2.2.1. | <i>Métodos</i> | 32 |
| 3.2.2.2. | <i>Técnicas</i> | 34 |
| 3.2.3. | <i>Parte experimental</i> | 41 |
| 3.2.3.1. | <i>Muestreo</i> | 41 |
| 3.2.3.2. | <i>Variables de diseño a controlar durante el proceso de compostaje</i> | 46 |
| 3.2.3.3. | <i>Equipos, materiales y herramientas</i> | 47 |
| 3.2.3.4. | <i>Construcción del sistema pasivo con aireación forzada a escala</i> | 50 |
| 3.2.4. | <i>Datos experimentales</i> | 53 |
| 3.3. | Cálculos | 56 |
| 3.4. | Verificación de las variables durante el proceso | 64 |
| 3.5. | Resultados | 73 |
| 3.6. | Análisis de variables | 76 |
| 3.7. | Análisis de costos | 81 |
| 3.8. | Cronograma del proyecto | 84 |
| 3.9. | Análisis y discusión de resultados | 85 |
| | CONCLUSIONES | 94 |
| | RECOMENDACIONES | 95 |
| | BIBLIOGRAFÍA | |
| | ANEXOS | |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-3: Ubicación Geográfica del Centro de Acopio Residuos Sólidos | 31 |
| Figura: 2-3: Ubicación satelital del Camal Municipal de Riobamba | 32 |
| Figura 3-3: Áreas intervenidas por el departamento de Mantenimiento y Desarrollo físico de la ESPOCH..... | 45 |
| Figura 4-3: Soporte para el biodigestor | 50 |
| Figura 5-3: Caja térmica..... | 51 |
| Figura 6-3: Tapa de la caja térmica | 51 |
| Figura 7-3: Diagramas de entradas y salidas del material | 60 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1-1: Valores para el proceso de compostaje de residuos de matadero | 6 |
| Tabla 2-1: Condiciones ideales para el compostaje | 7 |
| Tabla 3-1: Clasificación de los valores de diferentes parámetros en el compost | 9 |
| Tabla 4-1: Muerte de algunos microorganismos de acuerdo a la temperatura y el tiempo de exposición | 12 |
| Tabla 5-1: Microorganismos que participan en el proceso de compostaje..... | 17 |
| Tabla 6-1: Características generales que deben cumplir los tipos de compost..... | 19 |
| Tabla 7-1: Géneros y especies de bacterias según su afinidad por el tipo de sustrato presentes en la cavidad ruminal | 21 |
| Tabla: 8-1: Géneros y especies de protozoos basados en la afinidad del sustrato que degradan. | 21 |
| Tabla 9-1: Géneros de hongos presentes en la cavidad ruminal | 22 |
| Tabla: 10-1: Composición de algunos residuos foliares | 22 |
| Tabla 11-1: Principales características de los residuos producto del cortado de césped | 23 |
| Tabla 1-3: Coordenadas Geográficas del Centro de Acopio de Residuos Sólidos | 31 |
| Tabla 2-3: Coordenadas Geográficas del Camal Municipal de Riobamba | 32 |
| Tabla 3-3: Técnica de muestro del contenido ruminal no separado | 34 |
| Tabla 4-3: Técnica de muestro del contenido ruminal separado | 36 |
| Tabla 5-3: Técnica de muestro del césped..... | 36 |
| Tabla 6-3: Técnica de muestreo durante el proceso de compostaje | 37 |
| Tabla 7-3: Técnica para la determinación de humedad | 37 |
| Tabla 8-3: Técnica para la determinación de pH..... | 38 |
| Tabla 9-3: Técnica para la determinación de conductividad eléctrica | 38 |
| Tabla 10-3: Técnica para la determinación del índice de germinación..... | 40 |
| Tabla 11-3: Peso promedio generado de Contenido Ruminal por Cavidad Ruminal del Camal Municipal Riobamba..... | 41 |
| Tabla 12-3: Peso promedio generado de contenido ruminal a la semana del Camal Municipal Riobamba..... | 42 |
| Tabla 13-3: Promedio del número de bovinos faenados al mes del Camal Municipal Riobamba | 42 |
| Tabla 14-3: Generación mensual de contenido ruminal del Camal Municipal Riobamba | 43 |
| Tabla 15-3: Muestreo del contenido ruminal separado..... | 43 |
| Tabla 16-3: Generación mensual de césped de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo | 44 |
| Tabla 17-3: Muestreo del césped..... | 46 |
| Tabla 18-3: Variables de diseño controladas durante el proceso de compostaje | 46 |
| Tabla 19-3: Elementos utilizados en la recolección de las materias primas | 47 |

| | |
|--|----|
| Tabla 20-3: Materiales y herramientas para la construcción del sistema de compostaje pasivo con aireación forzada..... | 48 |
| Tabla 21-3: Elementos usados durante el proceso de compostaje | 49 |
| Tabla:22-3: Datos experimentales para la determinación del porcentaje humedad del contenido ruminal no separado | 54 |
| Tabla 23-3: Promedio del porcentaje de humedad del contenido ruminal no separado | 54 |
| Tabla 24-3: Datos experimentales para la determinación del porcentaje humedad del contenido ruminal separado | 54 |
| Tabla 25-3: Promedio del porcentaje de humedad del contenido ruminal separado | 55 |
| Tabla 26-3: Datos experimentales para la determinación del porcentaje de humedad del césped | 55 |
| Tabla 27-3: Promedio del porcentaje de humedad del residuo foliar (césped) | 55 |
| Tabla 28-3: Porcentaje de materia orgánica y nitrógeno de las materias primas para el cálculo de la relación Carbono - Nitrógeno inicial para la formulación 1. | 55 |
| Tabla 29-3: Formulaciones según la proporción peso/peso de las materias primas | 56 |
| Tabla 30-3: Datos adicionales para el cálculo de la aireación | 56 |
| Tabla 31-3: Datos adicionales para el balance de energía para los biodigestores | 57 |
| Tabla 32-3: Flujo másico diario compostado de los biodigestores | 58 |
| Tabla 33-3: Cantidad de agua a eliminar de la mezcla de los biodigestores | 58 |
| Tabla 34-3: Flujo másico y volumétrico de aire suministrado a los biodigestores..... | 59 |
| Tabla 35-3: Porcentaje de materia orgánica y nitrógeno de los ensayos experimentales para el cálculo de la relación Carbono - Nitrógeno final..... | 62 |
| Tabla 36-3: Peso inicial y final de los ensayos experimentales | 63 |
| Tabla 37-3: Verificación de temperatura y humedad del biodigestor 1 | 64 |
| Tabla 38-3: Verificación de temperatura y humedad del biodigestor 2 | 65 |
| Tabla 39-3: Verificación de temperatura y humedad del biodigestor 3 | 65 |
| Tabla 40-3: Verificación de temperatura y humedad de la pila 1 | 66 |
| Tabla 41-3: Verificación de temperatura y humedad de la pila 2 | 67 |
| Tabla 42-3: Verificación de temperatura y humedad de la pila 3 | 67 |
| Tabla 43-3: Promedio de la temperatura de los ensayos experimentales | 68 |
| Tabla 44-3: Promedio de humedad de los ensayos experimentales | 69 |
| Tabla 45-3: Insuflación de aire a los biodigestores | 70 |
| Tabla 46-3: Volteos de las pilas | 70 |
| Tabla 47-3: Conductividad eléctrica (dS/m)..... | 71 |
| Tabla 48-3: pH..... | 71 |
| Tabla 49-3: Índice de germinación..... | 72 |
| Tabla 50-3: Parámetros iniciales analizados del Contenido ruminal no separado | 73 |

| | |
|--|----|
| Tabla 51-3: Parámetros iniciales analizados a las materias primas..... | 73 |
| Tabla 52-3: Resultados de las formulaciones | 74 |
| Tabla 53-3: Resultados del balance de masa para los porcentajes de la descomposición orgánica | 74 |
| Tabla 54-3: Resultados del balance de energía para el flujo másico y volumétrico de aire a la salida de los biodigestores..... | 75 |
| Tabla 55-3: Relación Carbono – Nitrógeno inicial y final de los ensayos experimentales | 75 |
| Tabla 56-3: Resultados del índice de germinación | 75 |
| Tabla 57-3: Resultados del rendimiento de los ensayos experimentales | 76 |
| Tabla 58-3: Resumen del análisis estadístico ADEVA de temperatura de acuerdo a (Tukey > 0,05) | 76 |
| Tabla 59-3: Resumen del análisis estadístico ADEVA de humedad de acuerdo a (Tukey > 0,05) | 77 |
| Tabla -60-3: Prueba de Chi-Cuadrado de las muestras iniciales y finales para la conductividad eléctrica..... | 79 |
| Tabla 61-3: Prueba de Chi Cuadrado de las muestras iniciales y finales para el pH..... | 80 |
| Tabla 62-3: Repeticiones de las muestras del índice de germinación | 80 |
| Tabla 63-3: Resumen del análisis estadístico ADEVA del índice de germinación de acuerdo a (Tukey > 0,05) | 81 |
| Tabla 64-3: Costos de materiales utilizados en el proyecto | 82 |
| Tabla 65-3: Consumo energético..... | 83 |
| Tabla 66-3: Costo del consumo energético | 83 |
| Tabla 67-3: Cronograma de las actividades realizadas | 84 |

INDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1-3: Prueba de Chi Cuadrado de las muestras iniciales y finales para la conductividad eléctrica..... | 79 |
| Gráfico 2-3: Prueba de Chi Cuadrado de las muestras iniciales y finales para el pH..... | 80 |
| Gráfico 3-3: Resultados físico - químicos del contenido ruminal no separado y separado | 85 |
| Gráfico 4-3: Porcentaje de los parámetros físico-químicos iniciales de las materias primas | 86 |
| Gráfico 5-3: Evolución de temperatura del compostaje pasivo con aireación forzada..... | 86 |
| Gráfico 6-3: Evolución de temperatura del Compostaje en pilas con volteo | 87 |
| Gráfico 7-3: Evolución de humedad del compostaje pasivo con aireación forzada | 88 |
| Gráfico 8-3: Evolución de humedad del compostaje en pilas con volteo | 89 |
| Gráfico 3-9: Porcentaje de Índice de germinación del Compostaje pasivo con aireación forzada y compostaje en pilas con volteo..... | 92 |
| Gráfico 3-10: Porcentaje de los parámetros finales en el compost del Compostaje pasivo con aireación forzada y compostaje en pilas con volteo..... | 92 |
| Gráfico 3-11: Porcentaje C/N inicial y final del Compostaje pasivo con aireación forzada y compostaje en pilas con volteo..... | 93 |

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Reporte de análisis del contenido ruminal no separado

ANEXO B: Reporte de análisis del contenido ruminal separado

ANEXO C: Análisis del residuo foliar (césped)

ANEXO D: Reporte de análisis del biodigestor 1

ANEXO E: Reporte de análisis del biodigestor 2

ANEXO F: Reporte de análisis del biodigestor 3

ANEXO G: Reporte de análisis de la pila 1

ANEXO H: Reporte de análisis de la pila 2

ANEXO I: Reporte de análisis de la pila 3

ANEXO J: Características generales que deben cumplir los tipos de composta. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011

ANEXO K: Plano N° 1. Caja térmica

ANEXO L: Plano N° 2. Tapa de caja térmica

ANEXO M: Plano N° 3. Soporte de biodigestor

ANEXO N: Plano de conjunto. Sistema de compostaje pasivo con aireación forzada

ANEXO O: Plano de conjunto. Sistema de compostaje pasivo con aireación forzada

ANEXO P: Sólido del sistema de compostaje pasivo con aireación forzada

ANEXO Q: Muestreo de las materias primas

ANEXO R: Construcción del sistema pasivo con aireación forzada

ANEXO S: Pesado de materias primas

ANEXO T: Mezclado de las materias primas

ANEXO U: Verificación de variables

ANEXO V: Evolución en la degradación de los desechos orgánicos

ANEXO W: Preparación de muestras finales para su caracterización

ANEXO X: pH y Conductividad eléctrica

ANEXO Y: Índice de germinación

RESUMEN

Se realizó el diseño de un proceso de compostaje a partir del contenido ruminal de bovinos en el Camal Municipal de Riobamba para minimizar la contaminación ambiental. Inicialmente se efectuó un muestreo para conocer la cantidad generada de contenido ruminal. Se caracterizaron las materias primas para el proceso de compostaje como el contenido ruminal (C.R.) y el césped (C) de la ESPOCH, en parámetros: porcentaje de nitrógeno, fósforo, potasio, carbono, materia orgánica y humedad. Se construyó un sistema de compostaje pasivo con aireación forzada a escala mediante el uso de tres biodigestores, en los cuales se compostó tres formulaciones con proporciones peso/peso de las materias primas: el biodigestor 1 (Solo C.R.), el biodigestor 2 (2C.R.:1C) y el biodigestor 3 (4C.R.:1C), además de acuerdo a esto se determinó su relación C/N inicial. A la par se compostó en pilas con volteo manual las mismas formulaciones, esto para determinar cuál compost es el mejor. Durante el proceso de compostaje se controló 2 veces por semana la temperatura y humedad en las pilas y en los biodigestores las mismas añadiendo la aireación. El pH, conductividad eléctrica e índice de germinación se analizaron en las muestras iniciales y finales de cada formulación. Finalizado el proceso con una caracterización físico – química se verificó la calidad del compost de las 6 formulaciones de acuerdo con la Norma Mexicana Ambiental NADF-020-AMBT-2011 en parámetros como: Relación C/N final, macronutrientes NPK y materia orgánica. Asimismo, se realizaron análisis estadísticos de varianza ADEVA y Chi Cuadrado, y no existen diferencias significativas entre los dos métodos.

PALABRAS CLAVE: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <COMPOSTAJE>, <COMPOSTAJE PASIVO CON AIREACIÓN FORZADA>, <COMPOSTAJE EN PILAS CON VOLTEO>, <CONTENIDO RUMINAL>, <CÉSPED>, <FORMULACIÓN>, <VARIABLES>, <ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO>, <COMPOST>.

ABSTRACT

The design of a composting process was carried out from the bovines ruminal content in the Riobamba's Municipal Camal in order to minimize the environmental contamination. Initially, a sampling was carried out to know the amount of ruminal content generated. The raw materials for the composting process were characterized like the ruminal content (CR) and the ESPOCH grass (C), in parameters: percentage of nitrogen, phosphorus, potassium, carbon, organic matter and humidity. A system of passive composting with forced aeration in scale was built through the use of three biodigesters, in which three formulations of raw materials with weight / weight proportions were composted: biodigester 1 (CR only), biodigester 2 (2C.R.:1C) and biodigester 3 (4C.R.:1C), furthermore according to this, the initial relation C/N was determined. At the same time the same formulations were composted in piles with manual flipping, this to determine which compost is the best. During the composting process, the piles temperature and humidity in the biodigesters were controlled twice a week, adding aeration. The pH, electrical conductivity and germination index were analyzed in the initial and final samples of each formulation. Finished the process with a physical-chemical characterization, the 6 formulations compost quality was verified according to the Mexican Environmental Standard NADF-020 -AMBT-2011 in parameters as: Final relation C/N, macronutrients NPK and organic matter. Also, ADEVA and Chi square variance statistical analysis were performed, and there are no significant differences between the two methods.

KEYWORDS: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <COMPOSTATION>, <COMPOSTATION-PASSIVE WITH FORCED AIRCRAFT>, <COMPOSITION IN BATTERIES WITH TUMBLING>, <RUMINAL CONTENT>, <CESPED>, <FORMULATION>, <VARIABLES>, <PHYSICAL CHEMICAL ANALYSIS>, <COMPOST>.

INTRODUCCIÓN

Diversos problemas ambientales acarrear el desarrollo ganadero y en especial los residuos generados por el faenamiento de los bovinos en los Camales Municipales o mataderos que perjudican al agua, suelo y atmósfera a causa de la presencia de agentes patógenos por su incorrecta disposición. (Arango, et al., 2016, p.346)

Los Camales generan gran cantidad de residuos especialmente el contenido ruminal de bovinos que es evacuado al alcantarillado público o a fuentes hídricas, ocasionando un desperdicio y no pueda ser utilizado en la elaboración de otros productos. La implementación de Sistemas de Tratamiento como el compostaje es una alternativa en la reducción del volumen de desechos, disminución de agentes patógenos, obteniendo un producto (compost) estable adecuado para el suelo generando ingresos. (Brito, et al., 2016, p.3)

El Camal Municipal Riobamba posee un separador donde el contenido ruminal que es extraído manualmente de las cavidades ruminales es tratado separándolo en su parte líquida – sólida (Contenido ruminal separado), disminuyendo así la humedad de 94 – 96 % a 60 – 70 %, que es adecuada para el proceso de compostaje.

El proyecto tiene como finalidad el diseño de un proceso de compostaje a partir del contenido ruminal de los bovinos, mediante el método de compostaje pasivo con aireación forzada con el uso de biodigestores. Se proponen 3 formulaciones en proporciones peso/peso de contenido ruminal (C.R.) con césped (C), donde el biodigestor 1 contenía solo C.R., el biodigestor 2 una proporción 2C.R.:1C y el biodigestor 3 con 4C.R.:1C.

Para el método propuesto, es un compresor el que emana aire y circula por un tubo que está en contacto con una resistencia calentadora (500W) en una caja térmica que permite calentar el tubo y a la vez el aire circundante, este aire es ingresado mediante una tubería por tres puntos en la base de los contenedores de polietileno (biodigestores) que contiene las formulaciones, en donde, el aire se desplaza por toda la materia orgánica llevándose consigo el exceso de humedad, y manteniendo así las condiciones óptimas aerobias propias del proceso.

Asimismo, las mismas formulaciones propuestas se compostaron por el método de pilas con volteo manual, las cuales se voltearon cada 15 días aproximadamente; esto para comparar mediante su análisis final cuál de los dos métodos obtuvo el compost con mejores resultados de

acuerdo a lo requerido por el Camal Municipal Riobamba. Durante el proceso se controló la temperatura, humedad en las pilas y en los biodigestores sumada la aireación.

Se caracterizaron las muestras iniciales y finales de las variables propias del proceso como pH, conductividad eléctrica e índice de germinación para verificar su variación; así mismo al compost de las 6 formulaciones en los mismos parámetros realizados a las materias primas y así determinar su calidad en cuanto a la relación C/N, nutrientes NPK y el tiempo de compostaje de acuerdo con lo establecido en la Normativa para compost.

CAPÍTULO I

1. DIÁGNOSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

La generación de los desechos orgánicos es una problemática ambiental mundial y en especial los que se generan en la industria cárnica como los camales, frigoríficos que producen grandes cantidades de contenido ruminal de los bovinos y que es desechado por medios inadecuados y almacenados en espacios no aptos. (Sánchez y Correa, 2016, p.27)

El contenido ruminal es un producto obtenido del ganado bovino después de su faenamiento y es el alimento ingerido no evacuado, que es desechado al momento del sacrificio. Es una mezcla de material no digerido de color amarillo verdoso y un olor muy intenso. (Araujo y Vergara 2007, p.2)

Actualmente el contenido ruminal es extraído de las cavidades ruminales de los bovinos manualmente por los operarios del Camal Municipal Riobamba y enviado por un tubo de 20 cm de diámetro aproximadamente ubicado en la mesa de limpieza de vísceras, esta tubería conecta a una cisterna y mediante un sistema de bombeo el contenido ruminal es dirigido a un separador el cual compacta el contenido ruminal separando su parte sólida y líquida.

El sólido producto de la separación es comercializado por parte del Municipio sin ningún tratamiento previo y el líquido es vertido al alcantarillado público de la ciudad.

El contenido ruminal en los efluentes acarrea importantes problemas como: taponamientos de alcantarillas, carga bacteriana excedente, producción de lixiviados, la emisión de gases de efecto invernadero malos olores que perjudican a la población aledaña. (Alcolea y González, 2000, p. 17)

La reutilización del contenido ruminal de los bovinos tiene una amplia aplicación desde la elaboración de compost hasta la alimentación animal y al ser desechado directamente a los efluentes no solo contamina sino también se anula su aprovechamiento.

1.2. Justificación del proyecto

La industria cárnica es una de las más contaminantes produciendo residuos que son desechados a los efluentes o a lugares no adecuados. (Sánchez y Correa 2016, p.24)

La cantidad de contenido ruminal por cavidad ruminal es considerable, ya que tiene aproximadamente una capacidad en volumen de 100 o más litros, (Ramírez 2017, p.45) siendo este un contaminante que provoca un gran impacto ambiental.

El incremento de los residuos sólidos orgánicos por parte del Camal Municipal Riobamba como el contenido ruminal de los bovinos, hace que, este quiera utilizarlo en un proceso de compostaje. Además de cumplir con la Legislación Ambiental Ecuatoriana y reducir el impacto ambiental que genera el desecho.

El compostaje es el proceso mediante el cual los materiales orgánicos se modifican a formas químicas más estables gracias a los micro y macroorganismos, esto con la influencia de factores químicos, físicos y ambientales, bajo condiciones óptimas de humedad, temperatura y aeración, que da un producto final estable (compost), libre de microorganismos perjudiciales, libre de semillas de malas hierbas y con una relación carbono/nitrógeno asimilable para el suelo. (Méndez, 2018, p.3)

El uso de elementos alternativos para la elaboración de compost permite actuar como enmienda para el suelo por uso excesivo de fertilizantes químicos que provocan su erosión. (Real Decreto 506 sobre productos fertilizantes, 2013, p.4)

En cuanto a su factibilidad económica se contará con materias que son consideradas como desechos y son fácilmente adquiribles. Se usará el Contenido Ruminal del Camal Municipal Riobamba y el césped que será recogido de los parques y jardines de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Camal Municipal Riobamba cuando ejecute el proyecto podrá utilizar el césped que recoge de los parques y jardines de la ciudad.

1.3. Línea base del proyecto

1.3.1. Antecedentes de la Empresa

El Camal Municipal Riobamba ubicado entre las calles Av. Leopoldo Freire y Circunvalación, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, a una altura de 2740 m.s.n.m. con una latitud de 01 ° 38' S y una longitud de 78° 40' W (Moreta, 2012, p.28), viene trabajando hace 40 años en sus líneas de faenamiento de bovinos, ovinos, porcinos y chamuscados. En la línea de faenamiento de bovinos cumplen con las etapas de corralaje, aturdimiento, izado, sangrado y degüello, corte de patas y cabeza, desollado, eviscerado, lavado, división de la canal y oreo, la institución no posee cadena de frío por lo tanto las canales y medias canales después de la etapa de oreo son despachadas.

Las vísceras del bovino son recogidas después del eviscerado y son llevadas mediante un ascensor a un segundo piso al cuarto de lavado, donde los operarios limpian las vísceras manualmente. Las cavidades ruminales son abiertas y su contenido ruminal es vertido y enviado por un tubo de 20 cm de diámetro aproximadamente a una cisterna de almacenamiento ubicado a unos cinco metros del cuarto de lavado, el cual mediante un sistema de bombeo es enviado a otra cisterna y este a su vez a un separador. El contenido ruminal es almacenado en las cisternas hasta obtener una cantidad considerable y ser transportado al separador. Se hace énfasis en el contenido ruminal porque es el mayor contaminante que genera la empresa.

El separador fue implantado en el Camal Municipal Riobamba en septiembre del 2017 y entra en funcionamiento en enero del 2018, este trabaja con un tornillo sin fin (no aplica factores como temperatura), que al girar continuamente exprime la mayor parte del líquido que es vertido al sistema de alcantarillado público, quedando la parte sólida que es vendida sin ningún tratamiento.

Se tiene gran interés en el contenido ruminal, por su contenido de materia orgánica y macronutrientes, por lo que, es utilizado para la elaboración de subproductos como abonos orgánicos lo cual ha permitido buscar nuevas técnicas para su producción a menor costo y con resultados que se ajusten a las normativas que garanticen su uso para el suelo.

1.3.2. Marco conceptual

1.3.2.1. Problemática de los residuos de bovinos

La ganadería y su agroindustria ha ido en incremento en cantidades elevadas, como los residuos orgánicos provenientes especialmente de los bovinos que no son aprovechados o reutilizados en la elaboración otro producto. Solo entre el 5 – 10% se emplean en el suelo tras su compostaje y en mayor parte lo utilizan sin tratamiento. (Moreno y Moral, 2008, p.33)

Los desechos han adquirido valor por su cantidad de materia orgánica y nutrientes como NPK, estos son compostados para la obtención de abonos orgánicos dada su facilidad de manejo y en muchas ocasiones por su bajo precio. (Sánchez y Correa, 2016, p. 25)

Es por eso que Autoridades Municipales y la comunidad científica miran a estos desechos como un potencial dentro de la Agricultura, además del mejoramiento para el proceso de obtención de un compost asegurando un desarrollo ordenado cumpliendo Condiciones y Legislaciones Medio ambientales.

Los problemas que ocasionan los desechos si no son tratados, pueden atraen vectores de enfermedades transmisibles por virus, bacterias, hongos, protozoos y parásitos. (Sánchez y Correa, 2016, p.25)

Tabla 1-1: Valores para el proceso de compostaje de residuos de matadero

| Material | Porcentaje de humedad | Porcentaje de Nitrógeno | Relación C/N |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Residuos de matadero | 10 – 78 | 13 – 14 | 20 – 24 |

Fuente: Nogués, 2010. (Energía de la biomasa II, Energías renovables) p. 191
Realizado por: Jenny Barragán, 2018

1.3.2.2. Compostaje

El compostaje es un proceso controlado de transformación biológica aeróbica de materiales orgánicos biodegradables ya sea origen animal o vegetal que da lugar a los tipos de abonos o enmiendas orgánicas. (Real Decreto 506 sobre productos fertilizantes, 2013, p.4)

La transformación se da gracias a las reacciones microbianas, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa (Moreno y Moral, 2008, p.75) dando como resultado la mineralización y humificación parcial de las sustancias orgánicas. (Laich, 2011, p.1)

La adecuada humedad, aeración y temperatura asegura la conversión higiénica de los desechos en un material uniforme y aprovechable por las plantas (Román y Martínez, 2013, p.23) gracias a una compleja sucesión de poblaciones de microorganismos capaces de degradar o descomponer una materia orgánica compleja. (Laich, 2011, p. 2).

Un proceso de compostaje aplicado con materiales apropiados, reduce la humedad, el peso, el volumen de los desechos tratados hasta una tercera parte del original. (Román y Martínez, 2013, p.23) y como resultado se obtiene un producto estable con menos C y N, (Moreno y Moral, 2008, p.87) de olor agradable, aspecto a tierra de bosque y libre de patógenos. (Alcolea y González, 2000, p.36)

Tabla 2-1: Condiciones ideales para el compostaje

| Condición | Rango aceptable | Condición óptima |
|----------------------|-----------------|--|
| Relación C/N inicial | 20:1 – 40:1 | 25:1 – 30:1 |
| Humedad | 50 – 70 % | 50 – 60 % |
| Oxígeno | 5 % | 10 – 15 % (0,2 m ³ /min/Tn) |
| pH | 5,5 – 9,0 | 6,5 – 8,0 |
| Temperatura (°C) | 55 – 70 °C | 65 – 70 °C |
| Tamaño de partícula | 0.5 – 1.0 | Variable |

Fuente: Contretas y Molero, 2011, p.231

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Compost

El compost es el producto obtenido de la degradación de la materia orgánica por acción de los microorganismos. (Palmero, 2010, p.1) Este proporciona al suelo nutrientes como: N, P, K, Ca, Mg en cantidades considerables. (García y Gomez, 2012, p.15)

La utilización de compost ayuda a controlar enfermedades de las plantas, evita la reducción de los niveles de materia orgánica del suelo, (Moreno y Moral, 2008, p.87) aporta la formación de una fracción orgánica que dificulta la eliminación de carbono. (Méndez, 2018, p. 273)

La esterilidad de los suelos se refleja en la baja producción y calidad de la cosechas, (Moreno y Moral, 2008, p.8) es por eso que un compost maduro estable biológicamente tiene el objetivo de enmendar de forma orgánica el suelo erosionado (Ansorena, 2016, p.4) y contribuye a la “reinoculación” de microorganismos implicados en el ciclo de los nutrientes. (Laich, 2011, p.1)

Ventajas del compostaje

- En corto tiempo se puede obtener un producto final fértil y a un bajo costo.
- No se producen gases de efecto invernadero ni malos olores.
- El proceso desactiva agentes patógenos perjudiciales para los cultivos.
- Fuente progresiva de materia orgánica.
- Costos bajos si se los compara con los abonos químicos. (Bongcam, 2003, p. 14)
- Favorece la aeración, humedad del suelo y desarrolla una mayor permeabilidad.
- Contribuye a regular las características físicas, químicas y biológicas del suelo, mejorando así a fertilidad del suelo gracias a los microorganismos.
- Fácil implementación a diversas escalas y bajo costo de operación dependiendo del sistema de compostaje. (Ruven, 2013, p.21)

Calidad del compost

La calidad del compost se refiere a la madurez, es decir, que las materias primas originales hayan pasado por todas las etapas de evolución hasta su mineralización, este se determina por parámetros químicos como: contenido de materia orgánica, relación C/N, macronutrientes NPK y micronutrientes, valores que están descritos en Normas para compostaje. (CATIE, 2003, p.108)

Un compost que todavía no está maduro, contiene inhibidores del crecimiento, un valor en sales solubles bastante alto y posee un olor parecido al amoníaco. (Álvarez de la Puente, 2014, p.30)

En general la calidad del compost puede estar basada según los siguientes parámetros:

- Calidad física: granulometría, capacidad de retención de agua, humedad, presencia de partículas extrañas, olor.
- Calidad química: contenido y estabilidad de la materia orgánica, contenido y velocidad de mineralización de los nutrientes vegetales que contenga y presencia de contaminantes inorgánicos u orgánicos.
- Calidad biológica: presencia de semillas de malas hierbas, patógenos primarios y secundarios. (Soliva y López, 2004, p.3)

Los parámetros que determinan la calidad de un compost según su contenido nutricional son:

Tabla 3-1: Clasificación de los valores de diferentes parámetros en el compost

| Parámetros | Bajo | Medio | Alto |
|---------------------------|---------------|----------------|---------|
| Macronutrientes (%) | | | |
| N | 0,5 – 1,5 | 1,5 – 3 | 3 |
| P | 0,5 – 1 | 1,0 – 2,0 | 2 |
| K | 0,02 – 0,15 | 0,16 – 0,3 | 0,3 |
| Elementos secundarios (%) | | | |
| Ca | 0 – 1,5 | 1,5 - 3,5 | 3,5 |
| Mg | 0,1 – 0,25 | 0,25 - 0,4 | 0,4 |
| S | 0,5 – 1 | 1 – 1,5 | 1,5 |
| Micronutrientes (ppm) | | | |
| Fe | 1.000 – 8.000 | 8.000 – 13.000 | 15.000 |
| Mn | 20 – 150 | 150 – 400 | 400 |
| Metales pesados (ppm) | | | |
| Pb | 100 - 400 | 400 – 1.000 | 1.000 |
| Zn | 100 – 1.200 | 1.200 – 2.000 | 2.000 |
| Cu | 100 – 600 | 600 – 1.200 | 1.200 |
| Ni | 20 – 100 | 100 - 200 | 200 |
| Cd | 1,0 – 15 | 15 – 35 | 35 |
| Conductividad (MS/cm) | 0 – 1 | 1,0 -2,0 | 2 |
| Humedad (%) | 10,0 – 25 | 25 – 50 | 50 |
| Materia orgánica (%) | 35 – 50 | 50 - 65 | 65 – 80 |

Fuente: (Nogués et al., 2010, Energía de la biomasa II. Energías renovables) p. 204

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Materiales que no se compostan

- Material no degradable: plásticos, papel aluminio, envases tetra pack, cerámicos, vidrio.
- Materiales que han sido procesados: Piel curtida, corcho, filtros de cigarrillos.
- Restos de madera tratados químicamente: pueden contener residuos de plásticos, pegamentos, etc.
- Plantas enfermas: debido a que no se puede asegurar que cada partícula en el compostaje haya pasado por altas temperaturas para pasteurizarlas.
- Huesos, grasa y cartílagos: estos atraen a ratas que pueden contaminar el proceso, además que, la grasa crea una superficie aceitosa que no permite circular el aire.
- Heces humanas: contiene microorganismos patógenos que causan graves enfermedades.
- Heces de gatos y perros: contienen enfermedades como *Toxoplasma* que infectan a las personas.
- Lodos provenientes de aguas residuales: son excelentes para el compostaje, asegurándose de las elevadas cantidades de metales pesados como: cadmio, cobre, zinc. (Alonso, 2011, p.62)

Materia orgánica

Los microorganismos utilizan la materia orgánica para formar sus tejidos y otros son transformados en anhídrido carbónico y agua, por lo que la materia orgánica final adquiere características físicas y químicas diferentes. (Cantero et al. 2015, p.58)

La materia orgánica es imprescindible para fortalecer la vida microbiana en los suelos agrícolas y el compostaje es una vía óptima para contribuir con ello y si estos materiales provienen de la misma unidad productiva se pueden ahorrar costos de transportación. (Labrador, 2013, p.2)

Durante el compostaje la materia orgánica tiende a descender, esto ocurre por un rápido decrecimiento de los carbohidratos, transformando las cadenas carbonadas largas en otras cortas con la producción de compuestos simples (mineralización), algunos se reagrupan para formar moléculas complejas dando lugar a los compuestos húmicos (humificación). (CATIE, 2003, p.35)

La velocidad de transformación de materia orgánica depende de su naturaleza física y química, de los microorganismos que participan y de las condiciones físico-químicas del proceso como: humedad, aireación, temperatura, conductividad eléctrica y pH. (Robles, 2015, p. 15)

Mineralización

Es el proceso de transformación química de la materia orgánica inicial a estructuras inorgánicas esenciales, en el proceso de compostaje decrece al final por su mineralización y es adecuada para el desarrollo de las plantas, mediante la acción de microorganismos (Naranjo, 2013, p.16), dependiendo de la disponibilidad del oxígeno. (Román y Martínez, 2013, p.14)

Humidificación

La humidificación es la etapa final en la degradación de la materia orgánica, (Pascual y Venegas, 2010, p.9) obteniendo humus que es un elemento que conforman el compost maduro y es la materia orgánica residual de la degradación de restos vegetales como hojas o flores, que fueron parte de la materia prima inicial, es la parte orgánica reestructurada que tiene propiedades únicas para la mejora continua de cultivos y calidad del suelo. (Kalil, 2007, p. 20)

El proceso de humidificación se da gracias a la acción de los microorganismos del compostaje y por las actividades de invertebrados como los nemátodos y artrópodos. (Alonso, 2011, p.73)

Macronutrientes

Son elementos como el carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) elementales para el desarrollo y reproducción microbiana.

El carbono es esencial para síntesis celular y la constitución del protoplasma, como de carbohidratos, grasas y lípidos; mientras ocurre el metabolismo se oxida produciendo así energía y anhídrido carbónico. (Márquez et al., 2005, p. 6) El nitrógeno es el elemento principal para la multiplicación celular por la esencia proteica del protoplasma, este componente está relacionado al compost como fertilizante que ayuda a las plantas en el mantenimiento de sus hojas verdes. (CATIE, 2003, p.35)

El fósforo crea compuestos celulares ricos en energía, además de ser indispensable para el metabolismo microbiano y combatir enfermedades de las plantas. (Márquez et al., 2005, p.6) El potasio en el compost se encuentra en forma semejante a las fuentes inorgánicas y ayuda a un rápido crecimiento de tallos de las plantas. (CATIE, 2003, p. 35)

Parámetros de monitoreo durante el compostaje

- Oxígeno

El compostaje es un proceso aerobio que mediante una aireación adecuada permite la respiración de los microorganismos liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. (Proietti et al., 2016, p.3) Una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente anaerobio, a causa de esto se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico o metano en exceso. (Román et al., 2013, p.28) La aerobiosis se mantiene artificialmente mediante volteos del material o insuflando aire a las pilas. (Masaguer et al. 2015, p.231)

- Humedad

El agua es indispensable para fomentar la migración y la colonización microbiana propia de cada fase, así como, los intercambios de nutrientes. (Soliva y López, 2004, p.6) Durante el proceso la humedad óptima es de 50 - 70 %, los valores menores restringen la actividad microbiana mientras que los valores más altos favorecen la aparición de condiciones anaeróbicas y putrefacción del residuo. (Proietti et al., 2016, p.6) Un exceso de agua puede ocupar completamente los poros de la materia orgánica compostándose y no permite la circulación de oxígeno. (Márquez et al., 2005, p.5)

- Temperatura

Los microorganismos oxidan la materia orgánica y se promueve el rompimiento de las moléculas de carbono con liberación de energía en forma de calor. (Romero y Lozano, 2003, p.34) El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de agregar ninguna sustancia externa para llegar nuevamente a temperaturas altas y bajar en la fase de maduración a una temperatura ambiente. (Román et al., 2013, p.30)

La variación de temperatura depende de la fase en que se encuentre el proceso, además que, las poblaciones microbianas son reemplazadas por otras mejor adaptadas y cada una de ellas posee una duración limitada. (Brito y Sandoval 2003, p.50)

Tabla 4-1: Muerte de algunos microorganismos de acuerdo a la temperatura y el tiempo de exposición

| Organismos | Tiempo | Temperatura (°C) |
|--------------------------------|-------------|------------------|
| <i>Salmonella typhosa</i> | 30 min | 55 – 60 |
| <i>Salmonela sp</i> | 1 h | 55 |
| <i>Shigella sp</i> | 1 h | 55 |
| <i>Escherichia coli</i> | 20 min | 60 |
| | 1 h | 55 |
| <i>Estamoeba histolytica</i> | pocos min | 45 |
| <i>Taenia saginaria</i> | pocos min | 55 |
| <i>Trichinella spiralis</i> | Instantánea | 60 |
| <i>Streptococcus pyrogenes</i> | 10 min | 55 |

Fuente: Brito, 2003 (Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta) p. 51
Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- pH

El pH en el compostaje es amplio y depende de los materiales de origen, donde crea un ambiente para la conservación y reproducción de los microorganismos. (Román et al., 2013, p.31) El pH está entre 6,5 – 7,5 ligeramente de ácido a básico garantiza la evolución de la totalidad de los grupos fisiológicos. (Robles M., 2015, p. 12) La mayor actividad bacteriana se produce a un pH 6,0 - 7,5, mientras que la fúngica se produce a pH 5,5 - 8,0. (Román et al., 2013, p. 31)

La etapa inicial del compostaje es favorecida por un pH ligeramente ácido (Proietti et al., 2016, p.3) puesto que los productos iniciales de la descomposición son ácidos orgánicos simples, después de pocos días se vuelve ligeramente alcalino a medida que las proteínas son atacadas y se libera amoníaco. (Proietti et al., 2016, p.3)

En la fase termófila, los microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH sube alcalinizando el medio, en especial a los 60 °C. (Román et al., 2013, p.31) Al final en fase de maduración el pH está próximo a la neutralidad donde se estabiliza la materia orgánica y se dan reacciones lentas de policondensación. (Romero y Lozano, 2003, p.34)

- Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica está de acuerdo a la concentración de sales que puede aumentar durante el proceso por la degradación de la materia orgánica y disminuir por la presencia de iones amonio o nitrato. (Márquez et al., 2005, p.8) Los valores excesivamente elevados pueden relacionarse con un mal control del proceso, con materiales contaminados o con riegos excesivos de lixiviados y aguas salinas. (Soliva y López, 2004, p.8) Un exceso de salinidad en el compost dificulta la absorción de agua por las raíces de las plantas. (Chica y Artola, 2015, p.43)

- Relación Carbono / Nitrógeno (C/N)

Se obtiene mediante la relación numérica al dividir el contenido de Carbono total sobre el contenido de Nitrógeno total de los materiales iniciales que se compostan, (Brito y Sandoval 2003, p.54) donde los microorganismos utilizan las partes de carbono por cada parte de nitrógeno. Esta relación también varía a lo largo del proceso teniendo una reducción continua (Román et al., 2013, p.29) y suele ser una herramienta útil para estudiar la evolución del proceso y definir la madurez del compost. (Álvarez de la Puente, 2014, p.12)

Los materiales carbonados tienen dos funciones: una actúa como fuente de energía y por otra constituye sobre el 50% de la masa de las células microbianas como su elemento estructural básico. (Proietti et al., 2016, p.4) El nitrógeno es un constituyente de los materiales celulares que participa en el intercambio de electrones en el metabolismo energético. (Soliva y Huerta, 2004, p.7) Las bacterias cuya biomasa está formada en un 50 % por proteínas, necesitan mucho Nitrógeno para su ágil desarrollo (Proietti et al., 2016, p.4) y si hay suficiente nitrógeno disponible en la materia orgánica la mayoría de los otros nutrientes estarán también disponibles en cantidades adecuadas.

Según (Dalzell et al., 1992, p.27) es deseable que la relación C/N esté en el rango de 25 a 35/1 en la mezcla inicial, ya que un adecuado valor es primordial para la rápida formación de compost y el proceso consiga altas temperaturas indispensables para matar semillas de malas hierbas. Si es menor a los valores descritos, el nitrógeno es mayor y produce un exceso de vapores nitrogenados (amoníaco) por lo que adquiere mal olor. Una proporción más alta tiene más Carbono y disminuye la temperatura de la etapa termófila necesitando así, un mayor número de generaciones de

microorganismos y como resultado un proceso lento. Según (Alonso, 2011, p.79) es necesario conseguir una relación C/N final de 12 - 15 considerada apta para el suelo.

Los residuos de origen vegetal poseen una relación C/N elevada, en cambio los de origen animal tienen una relación relativamente baja, por lo que, cuando se quiere compostar se hacen mezclas con otros materiales para obtener una adecuada relación C/N, a el proceso se conoce como Balance de Nutrientes. (Brito & Sandoval, 2003, p.50)

- Índice de germinación (IG)

Es un parámetro utilizado para determinar las propiedades fitotóxicas de un compost en estado de maduración, ya que, un compost inmaduro posee ácidos orgánicos, elevadas concentraciones de sales, metabolitos intermediarios fitotóxicos (Varnero et al., 2007, p.2) que afecta a las plantas inhibiendo la germinación de semillas o el crecimiento de raíces. (Muñoz et al. 2015, p.2)

Se determina con el crecimiento de semillas con respuesta rápida como es el Berro (*Lepidium Sativum L.*) o el rábano (*Raphanus sativus L.*), donde valores mayores al 80% garantizan que el compost se puede utilizar en los cultivos. (Barraza y Benavides, 2016, p.2)

Etapas del proceso de compostaje

Los microorganismos al descomponer el Carbono y Nitrógeno de las materias primas, desprenden calor medible con variación de temperatura durante el tiempo. Según los altibajos de temperatura se contemplan 3 etapas principales, incluso una etapa de maduración. (Román y Martínez, 2013, p.23)

- Fase Mesófila

Se da en los primeros días del proceso de compostaje, donde la temperatura alcanza los 40 - 45 °C, esto gracias a la actividad de los microorganismos mesófilos, que utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor, (Román et al., 2013, p.25) específicamente las bacterias consumen fácilmente los carbohidratos y los hongos degradan la celulosa y la hemicelulosa. (Romero & Lozano, 2003, p.34)

- Fase Termófila o de Higienización

Los microorganismos mesófilos disminuyen y son reemplazados por termófilos que crecen a mayores temperaturas entre 55 - 65 °C, en su mayoría bacterias que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de Carbono, como la lignina, celulosa y lípidos, además,

las bacterias producen esporas y actino bacterias, que son las encargadas en ayudar a degradación de dichos compuestos. (Román et al., 2013, p.25) Los hongos y actinomicetos degradan la celulosa y hemicelulosa. (Romero y Lozano, 2003, p.34)

Esta etapa toma el nombre de higienización debido al calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp*. Incluso elimina los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden hallar en las materias primas, dando lugar a un producto higienizado. (Román et al., 2013, p.26)

- Fase de Enfriamiento o Mesófila II

En esta fase disminuye la temperatura a 40 – 45 °C, (Romero y Lozano, 2003, p.34) así como el carbono y en especial el nitrógeno en el material en compostaje. Continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos que se observan a simple vista. Cuando baja la temperatura desde los 40 °C, los organismos mesófilos reanudan su labor y el pH baja levemente, aunque el pH se mantiene ligeramente alcalino. (Román et al., 2013, p.26)

- Fase de Maduración

La temperatura se mantiene estable y fomenta la presencia de organismos tales como nemátodos, protozoarios, insectos y lombrices de tierra. (Romero y Lozano, 2003, p.34) Se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. (Román 2013, p. 26)

1.3.2.3. Sistemas de Compostaje

Sistemas abiertos

- Compostaje en pilas con volteo

El material compostable se coloca en forma de triangular o trapezoidal lo más alto posible para conservar el calor, con una altura de 1,5 – 2 m y una base 2,5 – 3 m. (Castells et al., p.728) Se realizan volteos para proporcionar oxígeno natural a los microorganismos presentes en los materiales del proceso de fermentación, estos se realizan al descender la temperatura hasta 20 – 25 °C cada 6 – 10 días, (Navarro y Navarro, 2014, p.192) y así nuevamente esta vuelva a subir. (Moreno y Moral, 2008, p.155)

Los volteos también ayudan a evaporar excesos de humedad presentes en la pila, en cada uno de ellos se debe homogenizar el material asegurando que todas las partículas pasen por el interior de la pila en donde se mantienen temperaturas altas para su higienización. (Castells et al., 2012, p.728)

- Compostaje en pilas estáticas con ventilación natural

Se utilizan pilas de altura reducida que no se mueven durante todo el proceso, por eso es necesario utilizar material estructutrante para la ventilación natural, ya que si no existen espacios por los cuales fluya el aire empezaran aparecer condiciones anaerobias. (Navarro y Navarro, 2014, p.191)

- Compostaje pasivo (estático) con aireación forzada

La pila se coloca sobre un sistema de tuberías que aspira (Deltsville) o insufla (Sistema Rutgers) aire mediante un sistema mecánico de ventilación, suministrando oxígeno y eliminando el exceso de humedad mediante evaporación. (Moreno y Moral, 2008, p.157)

Este sistema permite controlar la concentración de oxígeno y temperatura que posibilitan la rápida transformación de las materias primas en compost, (Moreno y Moral, 2008, p.155) y mantenerla en valores apropiados de 15 - 20 % para beneficiar la actividad biológica de los microorganismos aerobios que evolucionan el proceso. (Castells et al., 2012, p.728)

Se deben mezclar con precaución las materias primas; un material estructurante será excelente para prevenir el taponamiento del sistema de tuberías del aire suministrado, además de, resistir a la compactación y problemas con el sistema eléctrico de aeración. Una vez constituida la pila, no se voltea hasta su maduración. (Navarro y Navarro, 2014, p.191)

Sistemas semiabiertos

El compostaje del material se realiza entre dos paredes sin cubierta denominadas trincheras que miden aproximadamente entre 2 – 5 m de ancho y con paredes que tienen una altura de 1 - 3 m. Las condiciones de aerobias se mantienen con aireación forzada desde el inferior y con volteos.

Sistemas cerrados

Se realiza en reactores cerrados horizontales o verticales en lo que se puede controlar variables de fermentación como: humedad, temperatura, pH, cantidad de gas. Tienen ventilación forzada para el aporte adecuado de oxígeno a los microorganismos y sistemas de mezcla interna con motores o paletas reforzadas que mueve los materiales. (Navarro y Navarro, 2014, p.191)

Esta clase de sistema logra un mejor control de las variables, son rápidos, necesita menos espacio, pero suelen ser costosos. (Castells et al., 2012, p. 728) El compost no es suficientemente maduro al terminar el proceso, por lo que su maduración se realiza al aire libre.

Microorganismos que intervienen en el compostaje

Los microorganismos obtienen energía de la actividad enzimática de los organismos existentes en el residuo aprovechando de esta manera el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes en él para producir su propia biomasa generando calor al descomponerlos de la materia orgánica inicial, (Laich, 2012, p.2) permitiendo la ejecución del trabajo celular, la construcción de estructuras celulares y la asimilación de nutrientes, es decir, la reproducción celular. (Chica et al., 2015, p.65)

Las estrategias de los microorganismos quimiorganotrofos obtienen energía utilizando como fuente al carbono a través de reacciones químicas de oxido-reducción. (Sánchez y Correa, 2016, p.25)

Durante el proceso de compostaje, ocurre una compleja cadena de poblaciones microbianas que descomponen la materia orgánica compleja, estas cambian de acuerdo a la evolución de la temperatura, el pH, la disponibilidad de nutrientes, la concentración de oxígeno, el contenido de agua y la acumulación de compuestos inhibitorios. (Laich, 2012, p. 2)

Bacterias y hongos se encargan de la fase mesófila, especialmente bacterias del género *Bacillus sp*, aunque existen también algunos *Bacillus termófilos*. El 10 % de la descomposición es realizado por bacterias, del 15 – 30 % es realizado por *Actinomycetes*. (CATIE, 2003, p. 36)

Tabla 5-1: Microorganismos que participan en el proceso de compostaje

| Microorganismos | Fase mesófila | Fase termofílica | Fase de maduración |
|-----------------|--|---|---|
| Bacterias | <i>Bacillus brevis</i> , <i>Bacillus Circulans</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> . | <i>Bacillus stearothermophilus</i> | |
| Actinomicetos | | <i>Thermophyllum</i> | <i>Absidia glauca</i> |
| Hongos | | <i>Absidia glauca</i> , <i>Mucor</i> , <i>Allescheria spp.</i> , <i>Trichoderma sp.</i> , <i>Penicillium spp.</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Verticillium tenerum</i> | <i>Nocardia, sp.</i> , <i>Streptomyces sp.</i> , <i>Thermoactinomicetes</i> |

Fuente: CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza de la Universidad de Costa Rica, 2003 (Taller de abonos orgánicos)

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- Actinomicetos

Los *Actinomycetes* degradan moléculas orgánicas complejas como la celulosa, la lignina, la quitina y muchos tipos de proteínas. Las enzimas que producen estos microorganismos permiten degradar químicamente restos duros y leñosos como ramas, cortezas. (Laich, 2011, p.2)

Algunas especies de actinomicetos en la fase termófila pueden soportar hasta una temperatura de 50 °C y pueden vivir a un pH neutro o ligeramente alcalino, (Alonso, 2011, p.70) otras se desarrollan en las últimas fases del compostaje y se pueden observar en forma de colonias circulares, lo que representa un indicador de madurez del compostaje. (Kalil, 2007, p.21) Los actinomicetos forman filamentos ramificados largos de color grisáceo con un aspecto similar a telarañas extendiéndose a través del compost. Dos más comunes son *Streptomyces* y *Micromonospora*. (Kalil, 2007, p. 21)

- Bacterias

Las bacterias son los microorganismos más numerosos y activos que tienden a dominar el proceso en un 80 - 90% gracias a su tiempo de duplicación tan corto utilizando sustratos simples, y la mayoría pueden vivir en altas temperaturas y bajas tensiones de oxígeno. (Laich, 2011, p.3)

Un grupo destacado son las *Pseudomonas* fluorescentes, constituido por algunas especies de bacterias que realizan procesos de biocontrol a patógenos de las plantas. (Laich, 2011, p.3) Al ser pequeñas están en contacto directo con la materia orgánica y descomponen los azúcares, proteínas, grasas de los residuos vegetales y animales. Por ser numerosas se convierten en alimento de macroorganismos como colémbolos, nemátodos. (García y Hugo, 2007, p.22)

- Hongos filamentosos

Constituyen un grupo muy amplio que incluye mohos, levaduras y setas, en el compostaje actúan sobre la materia orgánica debido a su alta capacidad lignocelulolítica posterior a la actuación de las bacterias una vez que la mayoría de celulosa ha sido eliminada. (Alonso, 2011, p.70)

Estos son incapaces de producir sus propias azúcares y la obtienen de los compuestos presentes en la materia de animales y plantas muertas. A temperaturas por encima de 55 – 60 °C los hongos mueren y cuando la temperatura baje reinadirán el compost. (Laich, 2011, p.2) Son numerosos en la fase termófila y mesófila, donde la mayoría de hongos viven en la zona superficial del compost cuando las temperaturas son altas formando colonias grises o blancas. (Alonso, 2011, p.71)

- Protozoos

Son animales microscópicos unicelulares que son la forma más sencilla animal como son los paramecios, se encuentran en las gotas de agua del compost, pero tiene un papel secundario en el proceso de descomposición. Se alimentan de la materia orgánica y bacterias, algas, hongos y otros protozoos; también se cree que son reguladores del número de bacterias. (Alonso, 2011, p.71)

- Nemátodos

Son gusanos de color blanco y tienen 6 mm de tamaño, aparecen generalmente por el uso de estiércol, no parásita o perjudica al proceso de compostaje y mueren después de las primeras semanas dejando en su cuerpo cierto contenido de proteínas. (Alonso, 2011, p.73)

1.3.2.4. Normativa para el proceso de compostaje

En el Ecuador existen Normas INEN para: Describir conceptos y clasificar abonos orgánicos como la NTE INEN 330 Fertilizantes o Abonos. Clasificación., y la NTE INEN 221 Fertilizantes o Abonos. Requisitos. Etiquetado; pero no existen Normas para describir procesos de compostaje y sus especificaciones; es por eso que, tomé como referencia la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011, que establece los requisitos mínimos para el proceso de obtención de compost teniendo como materia prima residuos sólidos orgánicos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad del compost obtenido. (Órgano de Difusión del Gobierno del Distrito Federal, 2012, p.2)

Tabla 6-1: Características generales que deben cumplir los tipos de compost

| Parámetro | TIPO DE COMPOSTA | | |
|-------------------------|--|--|--|
| | A | B | C |
| Uso recomendado | Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta. | Agricultura ecológica y reforestación. | Paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación. |
| Humedad | 25 - 35 % en peso | | 25-45 % en peso |
| pH | 6.7 – 7.5 | 6.5 – 8 | |
| Conductividad eléctrica | < 4 dS/m | < 8 dS/m | < 12 dS/m |
| Materia orgánica | | | |
| Carbono total | Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado | | |
| Nitrógeno total % | | | |
| Relación C/N | < 15 | < 20 | < 25 |
| Macronutrientes | De 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma ≤ 7%: portará la leyenda “Composta - | | |

| | | | |
|--------------------|---|-----------|-----------|
| (NPK) En % MS | mejorador de suelos. Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% Debe portar la leyenda “Composta para nutrición vegetal” y se indicarán las cantidades para cada macronutriente. | | |
| Granulometría | ≤ 10mm | ≤ 30 mm | |
| Fitotoxicidad (IG) | IG ≥ 85 % | IG ≥ 75 % | IG ≥ 60 % |

Fuente: Órgano de Difusión del Gobierno del Distrito Federal, 2012. (Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011) p. 10

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

1.3.2.5. Cavidad Ruminal o Rumen

Cavidad ruminal o rumen es un gran saco y es el más voluminoso de los cuatro compartimentos del sistema digestivo de los rumiantes (rumen, retículo, omaso y abomaso). Se encuentra situado en el flanco izquierdo de la cavidad abdominal y está dividido por medio de pilares o tabiques en cuatro sacos, ocupando el 75 % del aparato digestivo que tiene aproximadamente una capacidad en volumen de 100 o más litros. Su gran capacidad gástrica es necesaria para mantener los alimentos el tiempo suficiente para absorber los nutrientes de los alimentos. (Díaz, et al., 2007, p.4)

Contenido Ruminal

Es un subproducto obtenido después del sacrificio de ganado bovino, que contiene una mezcla no digerida de materiales fibrosos ricos en celulosa, hemicelulosa, almidón, pectina proveniente de forrajes y otros alimentos concentrados. (Arango, 2016, p.26).

El contenido ruminal tiene materia biodegradable con un alto contenido de nitrógeno, que lo hace idóneo para el proceso de compostaje asegurando la destrucción de sus agentes patógenos. La humedad y olor poco agradable pueden complicar su manejo. (García et al., 2014, p.203)

Microorganismos ruminales

Los microorganismos ruminales están constituidos por bacterias, protozoarios, hongos anaeróbicos, micoplasmas, bacteriófagos, sus condiciones ecológicas de anaerobiosis son: pH ± 6 - 6,5 y temperatura 38 – 40 °C, (Álvarez y Pérez, 2009, p.28) e interactúan entre sí de forma compleja para realizar la fermentación. (Díaz, et al., 2007, p.5)

- Bacterias

Están alrededor de 10 billones por gramo de contenido ruminal y son más de doscientas especies, (Rodríguez y Valencia, 2008, p.2) participan en la degradación de nutrientes alimenticios y

comprenden: cocos, bacilos, vibrios y espirilos que tienen un papel importante dentro del proceso fermentativo que degradan la celulosa, hemicelulosa, almidón, pectina, grasas y aceites de los alimentos. (Álvarez y Pérez, 2009, p.32)

Tabla 7-1: Géneros y especies de bacterias según su afinidad por el tipo de sustrato presentes en la cavidad ruminal

| Celulolíticas | Hemicelulolíticas | Amilolíticas |
|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| <i>Fibrobacter succinogenes</i> | <i>Ruminococcus spp.</i> | <i>Streptococcus bovis</i> |
| <i>Ruminococcus flavefaciens</i> | <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> | <i>Succinomonas amilolítica</i> |
| <i>Ruminococcus albus</i> | <i>Bacteroides ruminicola</i> | <i>Bacteroides amylophylus</i> |
| <i>Proteolíticas</i> | <i>Metanogénicas</i> | <i>Lipolíticas</i> |
| <i>Prevotella spp.</i> | <i>Methanobrevibacter ruminantium</i> | <i>Anaerovibrio lipolytica</i> |
| <i>Selenomonas ruminantium</i> | <i>Methanobacterium formicicum</i> | <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> |
| <i>Eubacterium spp.</i> | <i>Metanomicrobium mobile</i> | <i>Treponema bryantii</i> |
| <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> | | <i>Eubacterium spp.</i> |

Fuente: Rodríguez & Valencia, 2008 (Microbiología Ruminal, Universidad de Puerto Rico)

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- Protozoos

Son microorganismos simples unicelulares con núcleo diferenciado, están aproximadamente veinte especies en altas concentraciones y su población en número es inferior a la bacteriana. (Álvarez y Pérez, 2009, p.32) También degradan la celulosa, hemicelulosa, almidón y proteínas, que ejecutan actividad amilolítica digiriendo el almidón. (Rodríguez y Valencia, 2008, p.3)

Tabla: 8-1: Géneros y especies de protozoos basados en la afinidad del sustrato que degradan

| Celulolíticas | Amilolíticas | Proteolíticas |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| <i>Polyplastron</i> | <i>Entodinium</i> | <i>Entodinium</i> |
| <i>Eudiplodinium</i> | | <i>Eudiplodinium</i> |
| <i>Epidinium</i> | | |

Fuente: Rodríguez y Valencia, 2008 (Microbiología Ruminal, Universidad de Puerto Rico) p.3

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- Hongos:

Poseen la capacidad enzimática de debilitar e hidrolizar la pared celular formada por celulosa y xilano del alimento, acción que continuarán las bacterias. (Rodríguez y Valencia, 2008, p.3) Determinados hongos parecen ser más eficientes en la digestión de los polisacáridos estructurales que las bacterianas celulolíticas. (Díaz, et al., 2007, p.20)

Tabla 9-1: Géneros de hongos presentes en la cavidad ruminal

| Géneros de hongos en el rumen |
|-------------------------------|
| <i>Neocallimastix spp.</i> |
| <i>Piromyces</i> |
| <i>Orpinomyces</i> |
| <i>Caecomyces</i> |
| <i>Sphaeromyces</i> |
| <i>Cyllamyces</i> |

Fuente: Rodríguez y Valencia, 2008. (Microbiología Ruminal, Universidad de Puerto Rico) p.3

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

1.3.2.6. Residuo foliar

Se consideran a tallos, raíces, hojas de las plantas y restos de poda, que no son aprovechadas y que no constituyen la cosecha propiamente dicha; las cuales pueden ser reincorporadas al suelo como fertilizante mediante tratamientos de valorización. (Vargas y Andreu, 2014, p.19) La acumulación de residuos foliares constituyen un gran problema para la población por la propagación de enfermedades, ya que no existen sistemas de procesamiento con gestión de calidad higiénico-sanitaria. (Vargas y Andreu, 2014, p.22)

Tabla: 10-1: Composición de algunos residuos foliares

| Material | Porcentaje de humedad | Porcentaje de Nitrógeno | Relación C/N |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------|
| Corteza maderas duras | 30 - 40 | 0,24 | 223 |
| Corteza de maderas blandas | < 57 - 60 | 0,14 | 496 |
| Residuos vegetales | < 65 | 2,5 - 4 | 11 - 13 |
| Hojas | 38 | 0,9 | 54 |
| Restos vegetales de jardinería urbana | 82 | 3,4 | 17 |
| Poda de árboles | 70 | 3,1 | 16 |

Fuente: Nogués, 2010. (Energía de la biomasa II, Energías renovables) p.191

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Césped

Es considerado como fracción vegetal de pequeño tamaño y tipo no leñoso, tiene mayor valor nutritivo en nutrientes como el calcio. (Vargas y Andreu, 2014, p.30) Un ajuste adecuado equilibrará la relación C/N presente en la mezcla con césped y mantendrá la actividad biológica y el desarrollo del proceso. (García et al., 2014, p.200)

En una mezcla de compostaje actúa como complemento y es utilizado como agente estructurante permitiendo una adecuada aireación, además que, su tamaño de partícula proporciona un mayor contacto superficial que favorece su degradación. También, es una fuente de carbono para

residuos excesivamente ricos en nitrógeno. (Vargas & Andreu, 2014, p.23) La ventaja de tener baja humedad en el césped, es que, puede adsorber el exceso de humedad presente en la otra parte de la mezcla. (López et al., 2014, p.42)

Tabla 11-11: Principales características de los residuos producto del cortado de césped

| Parámetros | Residuos de césped |
|-------------------------|--------------------|
| pH | 6,05 |
| CE (dSm ⁻¹) | 3,32 |
| Humedad (%) | 63,91 |
| MO (%) | 87,26 |
| N org (%) | 2,23 |
| C/N | 20 |
| P (%) | 0,34 |
| K (%) | 1,71 |
| Ca (%) | 1,48 |
| Mg (%) | 0,24 |
| Na (%) | 0,11 |
| Fe (%) | 0,11 |
| Zn (mg/Kg) | 32 |
| Mn (mg/Kg) | 48 |
| Cu (mg/Kg) | 6 |
| Ni (mg/Kg) | 1 |
| Cr (mg/Kg) | 1 |
| Pb (mg/Kg) | 1 |
| Cd (mg/Kg) | 0,23 |

Fuente: López, 2014 (Valorización de la fracción orgánica de residuos municipales: Materia prima, proceso y producto. Residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad), p.48

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

1.3.2.7. Ecuaciones para cálculos

Porcentaje de humedad

Ecuación 1-1: Porcentaje de humedad

$$\% H = \frac{\text{Peso húmedo} - (\text{Peso cápsula más muestra seca} - \text{Peso cápsula})}{\text{Peso húmedo}} * 100$$

Porcentaje de carbono

Ecuación 2-1: Porcentaje de carbono

$$\% C = \frac{\text{Materia orgánica}}{1,84}$$

Donde:

1,84 = Factor de conversión

Relación Carbono – Nitrógeno

Ecuación 3-1: Relación Carbono – Nitrógeno

$$C/N = \frac{\% \text{ Carbono}}{\% \text{ Nitrógeno}}$$

Índice de germinación

Según Zucconi las fórmulas para determinar el índice de germinación son:

Ecuación 4-1: Germinación relativa de las semillas, en porcentaje

$$GRS = \frac{\text{Número de semillas germinadas con la muestra de agua problema}}{\text{Número de semillas germinadas en agua dura (testigo)}} * 100$$

Donde:

GRS = Germinación relativa de las semillas, en porcentaje

Ecuación 5-1: Crecimiento relativo de la radícula, en porcentaje

$$CRR = \frac{\text{Longitud promedio de la radícula con la muestra de agua problema}}{\text{Longitud promedio de la radícula en agua dura (testigo)}} * 100$$

Donde:

CRR = Crecimiento relativo de la radícula, en porcentaje

Ecuación 6-1: Índice de germinación

$$IG = \frac{GRS * CRR}{100}$$

Donde:

IG = índice de germinación

Cantidad diaria compostada

Ecuación 7-1: Cantidad diaria compostada

$$C_s = \frac{\text{Peso de residuos a compostar}}{\text{tiempo de retención}}$$

Donde:

C_s = Cantidad diaria compostada

Tiempo de retención = Tiempo que se compostó la materia orgánica de cada ensayo

Cantidad de agua a eliminar de la mezcla

Ecuación 8-1: Cantidad de agua a eliminar de la mezcla

$$m_{Arem} = \frac{mh1 * (H_1 - H_2)}{100 - H_2}$$

Donde:

m_{Arem} = masa de agua a remover en Kg

H_1 = humedad inicial de la mezcla

H_2 = humedad deseada de la mezcla

$mh1$ = masa del sustrato diario en Kg

Presión de aire

Ecuación 9-1: Presión de aire

$$\text{Log PVS} = \left(\frac{a}{T_a} \right) + b$$

Donde:

PVS = presión de vapor saturado del agua (mm Hg)

$a = - 2238$ constante para vapor de agua

$b = 8,896$ constante para vapor de agua

T_a = temperatura

Presión de vapor de agua

Ecuación 10-1: Presión de vapor de agua

$$PV = (Hr)PVS$$

Donde:

PV = presión del vapor de agua

Hr = humedad relativa del ambiente

Humedad específica

Ecuación 11-1: Humedad específica

$$W = 0,622 \left(\frac{Pv}{Pt - Pv} \right)$$

Donde:

W = humedad específica (lb H₂O/lb aire seco)

Pv = presión de vapor de agua, mm Hg

Pt = presión atmosférica total, mm Hg

Masa de aire para evaporar el agua

Ecuación 12-1: Masa de aire para evaporar el agua

$$m_{aire} = \frac{\text{masa de agua a eliminar}}{W_s - W_e}$$

Donde:

W_e = Humedad específica a la entrada

W_s = Humedad específica a la salida

Flujo volumétrico del aire a suministrar

Ecuación 13-1: Flujo volumétrico del aire a suministrar

$$V_{aire} = \dot{m}_{aire} * \hat{V}$$

Donde:

\dot{m} = flujo másico del aire

\hat{V} = Volumen específico del aire

V_{aire} = Flujo volumétrico

Balance de masa

Balance general

Permite calcular la cantidad de masa que entra y que sale de un proceso.

Ecuación 14-1: Balance general de masa

$$A = B + C + D$$
$$\dot{m}A = \dot{m}B + \dot{m}C + \dot{m}D$$

Donde:

A = Flujo másico de la materia prima a compostar

B = Flujo másico de vapores desprendidos del compostaje

C = Flujo másico de la descomposición de materia orgánica del compostaje

D = Flujo másico del compost

Balance para el nitrógeno

Ecuación 15-1: Balance de masa para el nitrógeno

$$AX_{NA} = BX_{NB} + CX_{NC} + DX_{ND}$$

Donde:

AX_{NA} = Fracción másica de nitrógeno de la materia prima a compostar

BX_{NB} = Fracción másica de nitrógeno en los vapores desprendidos del compostaje

CX_{NC} = Fracción másica de nitrógeno en la descomposición de materia orgánica del compostaje

DX_{ND} = Fracción másica de nitrógeno en el compost

Balance para el fósforo

Ecuación 16-1: Balance de masa para el fósforo

$$AX_{PA} = BX_{PB} + CX_{PC} + DX_{PD}$$

Donde:

AX_{PA} = Fracción másica de fósforo de la materia prima a compostar

BX_{PB} = Fracción másica de fósforo en los vapores desprendidos del compostaje

CX_{PC} = Fracción másica de fósforo de la descomposición de materia del compostaje

DX_{PD} = Fracción másica de fósforo en el compost

Balance para el potasio

Ecuación 17-1: Balance de masa para el potasio

$$AX_{KA} = BX_{KB} + CX_{KC} + DX_{KD}$$

Donde:

AX_{KA} = Fracción másica de potasio de la materia prima a compostar

BX_{KB} = Fracción másica de potasio en los vapores desprendidos del compostaje

CX_{KC} = Fracción másica de potasio de la descomposición de materia orgánica del compostaje

DX_{KD} = Fracción másica de potasio en el compost

Balance para la materia orgánica

Ecuación 18-1: Balance de masa para la materia orgánica

$$AX_{MOA} = BX_{MOB} + CX_{MOC} + DX_{MOD}$$

Donde:

AX_{MOA} = Fracción másica de potasio de la materia prima a compostar

BX_{MOB} = Fracción másica de potasio en los vapores desprendidos del compostaje

CX_{MOC} = Fracción másica de potasio de la descomposición de materia orgánica del compostaje

DX_{MOD} = Fracción másica de potasio en el compost

Balance para el agua

Ecuación 19-1: Balance de masa para el agua

$$AX_{H2O A} = BX_{H2O B} + CX_{H2O C} + DX_{H2O D}$$

Donde:

$AX_{H2O A}$ = Fracción másica de agua de la materia prima a compostar

$BX_{H2O B}$ = Fracción másica de agua en los vapores desprendidos del compostaje

$CX_{H2O C}$ = Fracción másica de agua de la descomposición de materia orgánica del compostaje

$DX_{H_2O D}$ = Fracción másica de agua en el producto (compost)

Balance energía

Ecuación 20-1: Balance general de energía en un reactor

$$E_E - E_S + E_t - E_{rx} = A$$

Donde:

E_e = Energía a la entrada

E_s = Energía a la salida

E_t = Energía que se transfiere desde el tubo al aire

E_{rx} = Energía producida en la materia compostada

A = Acumulación

Ecuación 21-1: Balance general de energía

$$\dot{m}_e C_{p_{aire}} T_e - \dot{m}_s C_{p_{aire}} T_s + \Delta U A (T_2 - T_1) - \dot{m}_{rx} C_{p_{mc}} = 0$$

Donde:

\dot{m}_e = Flujo másico de aire que sale del compresor

\dot{m}_s = Flujo másico que ingresa al biodigestor

\dot{m}_{rx} = Flujo másico de los residuos compostados en el biodigestor 1

ΔU = Conductividad térmica del acero

A = Área de contacto de la niquelina con el tubo

$C_{p_{aire}}$ = Capacidad calorífica del aire

$C_{p_{mc}}$ = Capacidad calorífica de la materia orgánica compostada

Rendimiento

Ecuación 22-1: Rendimiento

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Donde:

Peso inicial: Peso de las materias primas a compostar

Peso final: Peso del producto final (compost)

1.4. Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1. Beneficiarios Directos:

- Camal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Riobamba, ya que el contenido ruminal que genera será reutilizado para su beneficio en la producción de compost minimizando el impacto ambiental.

1.4.2. Beneficiarios Indirectos:

- Comunidad del sector aledaño del Camal Municipal de Riobamba por la disminución de olores en el alcantarillado público sin contenido ruminal.
- Agricultores quienes quieran adquirir el compost que el Camal Municipal posteriormente elabore a gran escala.

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. General

- Diseñar un proceso de compostaje a partir del contenido ruminal de bovinos en el Camal Municipal de Riobamba.

2.2. Específicos

- Caracterizar las materias primas que intervienen en el proceso de compostaje y determinar su relación adecuada dentro del mismo.
- Realizar 3 formulaciones de compostaje mediante el uso de biodigestores para determinar las variables de diseño óptimas en el proceso acorde a las necesidades del contenido ruminal.
- Verificar mediante análisis físico - químicos la calidad del producto en cuanto a su relación Carbono/nitrógeno, nutrientes y el tiempo que dura el proceso, según los requerimientos del Camal Municipal de Riobamba.
- Validar el diseño del proceso de obtención de Compost.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. Localización del proyecto

El proyecto se desarrolló en el Centro de Acopio de Residuos Sólidos de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

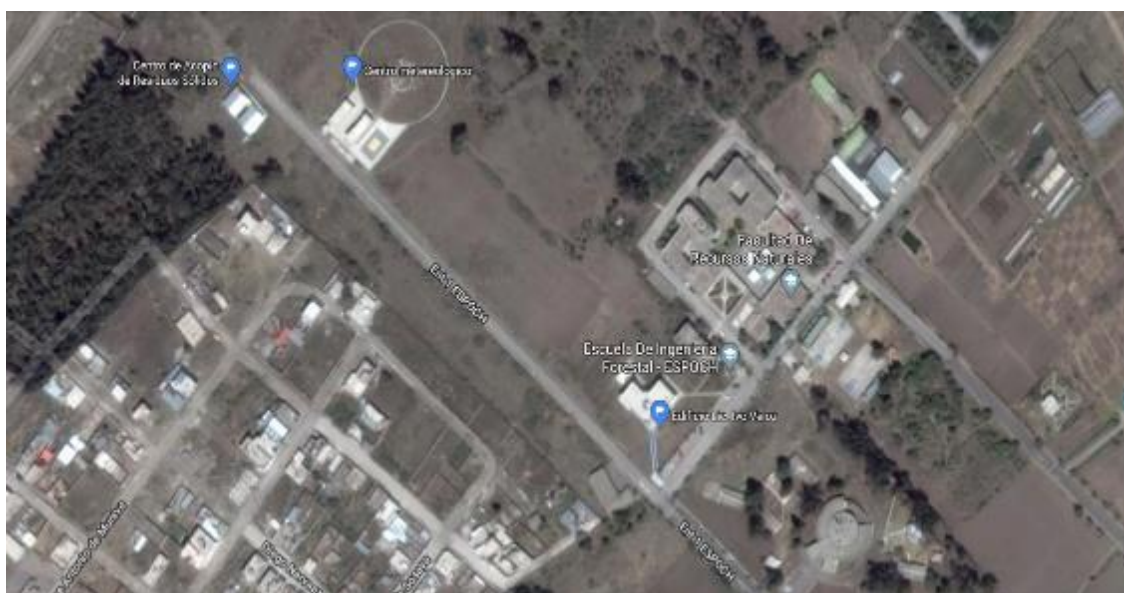


Figura 1-3: Ubicación Geográfica del Centro de Acopio Residuos Sólidos

Fuente: GOOGLE MAPS, 2018

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 1-3: Coordenadas Geográficas del Centro de Acopio de Residuos Sólidos

| COORDENADAS GEOGRÁFICAS | |
|-------------------------|--|
| Provincia | Chimborazo |
| Cantón | Riobamba |
| Parroquia | Lizarzaburu |
| Coordenadas Geográficas | Latitud: 1°39'07.59" S Longitud: 78°40'56.67" O |
| Elevación | 2843 |

Fuente: GOOGLE EARTH, 2018

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

La posterior implementación del proyecto lo realizará el Camal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Riobamba que se encuentra ubicado en la Av. Leopoldo Freire y Av. Edilberto Bonilla (Circunvalación), en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

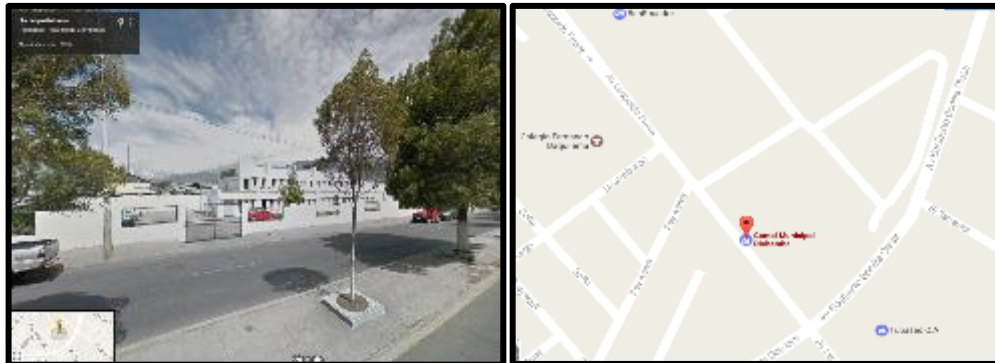


Figura: 2-3: Ubicación satelital del Camal Municipal de Riobamba

Fuente: GOOGLE.MAPS, 2018

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 2-3: Coordenadas Geográficas del Camal Municipal de Riobamba

| COORDENADAS GEOGRÁFICAS | |
|-------------------------|--|
| Provincia | Chimborazo |
| Cantón | Riobamba |
| Parroquia | Lizarzaburu |
| Coordenadas Geográficas | Latitud: 1°41'19.01" S Longitud: 78°37'56.71" O |
| Elevación | 2734 m |

Fuente: GOOGLE EARTH, 2018

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

3.2. Ingeniería del proyecto

3.2.1. Tipo de estudio

El proyecto que se presenta es tipo Técnico, y este se realizó mediante un estudio analítico, descriptivo y experimental en consecuencia los datos serán controlados de manera experimental.

3.2.2. Métodos y técnicas

3.2.2.1. Métodos

Método de análisis – síntesis

- Análisis

El análisis permite que estudiar individualmente las partes que componen un proceso, para evaluar cada una de ellas y determinar su relación. En este caso, el proceso de compostaje es dividido en las distintas etapas que pasa la materia orgánica hasta su maduración, además estudia las variables que influyen en el proceso.

- Síntesis

La síntesis permite agrupar las hipótesis que se originan en el análisis, sobre las probables dificultades y si entre estas existe alguna correlación que repercutan de forma importante al proceso. Lo que permite crear una explicación del funcionamiento de las variables que trabajan en conjunto para un adecuado desarrollo.

- Método descriptivo

Describe y analiza los datos recolectados para observar e interpretar cómo se relacionan las variables.

A continuación, se describe el proyecto:

Se recolectó el contenido ruminal separado del Camal Municipal Riobamba y el césped de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y se analizaron en parámetros como porcentaje de nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica y humedad.

El compostaje se realizó por el método de “Compostaje pasivo con aireación forzada”, donde el proceso se desarrolló mediante uso de contenedores de polietileno de 120 litros el cual posee agujeros por donde se ingresó las sondas del higrómetro y termómetro para facilitar el monitoreo de temperatura y humedad de cada formulación. Un compresor emana aire con un flujo volumétrico de acuerdo a la cantidad de la formulación a compostar, el aire recorre por una tubería la cual está en contacto con una resistencia calentadora (níquel – cromo) de 500 W de potencia que calienta el tubo y a su vez el aire a 38 - 40 °C (imitando a la temperatura de la cavidad ruminal donde los microorganismos viven en condiciones normales de fermentación) que es ingresado por la parte inferior de cada biodigestor. Este circula por cada formulación garantizando la supervivencia y actividad de los microorganismos que degradan el sustrato.

Se compostaron tres formulaciones con una proporción peso/peso: en el biodigestor 1 (Solo C.R.), el biodigestor 2 (2C.R.:1C) y el biodigestor 3 (4C.R.:1C), además de acuerdo a esto se determinó su relación C/N inicial. A la par se compostó en pilas con volteo manual con las mismas formulaciones. Se controla durante su proceso la humedad y temperatura en las pilas, y en los biodigestores añadido la aireación, dos veces por semana.

Parámetros verificados como pH, conductividad eléctrica e índice de germinación ayudarán a validar la calidad del compost en base a los valores descritos Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 a la que se hace referencia.

Este proyecto tiene como fin obtener datos cuantitativos de las variables de diseño como temperatura, aireación y humedad las cuales permitan obtener un compost de calidad en cuanto a parámetros como: relación carbono/nitrógeno, nutrientes y tiempo que dura el proceso acorde a las necesidades del Camal Municipal Riobamba.

3.2.2.2. Técnicas

Muestreo

- Contenido ruminal no separado

Para la caracterización del contenido ruminal que es retirado manualmente de las cavidades ruminales después del faenamiento de los bovinos se siguió el procedimiento descrito en el Instructivo para toma de muestras de fertilizantes de Agrocalidad. La muestra fue secada a 70 °C debido a su cantidad considerable de humedad y enviada en base seca para su análisis.

Tabla 3-3: Técnica de muestro del contenido ruminal no separado

| Concepto | Materiales | Reactivos | Método | Procedimiento |
|---|----------------|---------------|--|--|
| Procedimiento de obtención de una parte del contenido ruminal extraído de las cavidades ruminales (Contenido ruminal no separado) | Balde plástico | No necesarios | Muestreo al azar y reducción por cuarteo | <ul style="list-style-type: none"> • Determinar el número de bovinos faenados al día. • Muestrear al azar según el número de bovinos faenados al día: 51 - 90 recoger 7 muestras elementales. 91 - 150 recoger 10 muestras elementales de 200 gramos cada una. |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Recolectar en un balde hermético con su respectiva etiqueta. • Secar la muestra en una estufa a 70°C por 24 horas. • Reducir la muestra mediante cuarteo, en donde se toma la muestra global y se mezcla. • Dividir en 4 partes iguales y eliminar las dos porciones diagonalmente opuestas, las otras dos se mezclan nuevamente. • Repetir la operación hasta obtener 200 gramos. • Guardar las muestras en recipientes con cierre hermético y con su respectiva identificación para asegurar su trazabilidad. |
|--|--|--|--|--|

Fuente: Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro, 2016. (Instructivo para toma de muestras de fertilizantes)

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- Contenido ruminal separado

El contenido ruminal que es recién extraído de las cavidades ruminales por los operarios en las mesas de lavado de vísceras es enviado a una cisterna y mediante un sistema de bombeo hasta el separador que está ubicado a unos 40 metros de distancia y a una altura 6 metros del suelo, este separa el contenido ruminal en su parte líquida – sólida. La parte sólida del contenido ruminal es acumulada en la superficie del suelo formando una pila o amontonamiento. Para su muestreo se siguió el procedimiento del Instructivo para toma de muestras de fertilizantes de Agrocalidad.

Durante la trayectoria del contenido ruminal hasta llegar al separador se mezcla con una cierta cantidad de sangre y otros subproductos propios del faenamiento, por esta razón pueden diferir los resultados en ciertos parámetros con el primer análisis del contenido ruminal que no está mezclado con sangre, además de contener menos humedad. Es por eso que el muestreo lo realicé tomando la muestra global directamente de la pila y la reduje mediante cuarteo.

Tabla 4-3: Técnica de muestro del contenido ruminal separado

| Concepto | Materiales | Reactivos | Método | Procedimiento |
|---|---------------|---------------|--|--|
| Procedimiento de obtención de una parte del contenido ruminal separado. | Fundas ziploc | No necesarios | Se realizó el método de cuarteo para obtener una muestra representativa y homogénea. | <ul style="list-style-type: none"> • Tomar una muestra global de diferentes puntos de la pila de contenido ruminal y mezclarla. • Dividir en 4 partes iguales • Eliminar dos porciones diagonalmente opuestas, las otras dos se mezclan nuevamente. • Repetir sucesivamente la operación hasta obtener el tamaño requerido de la muestra que no debe ser menor a 200 gramos. • Guardar las muestras en recipientes adecuados con cierre hermético con su respectiva identificación para asegurar su trazabilidad. |

Fuente: Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro, 2016. (Instructivo para toma de muestras de fertilizantes)
Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- Césped (Residuo foliar)

La toma de muestras del césped para su análisis inicial se siguió el procedimiento descrito del Instructivo de toma de muestras de foliares del Laboratorio de Suelos, foliares y aguas de Agrocalidad.

Tabla 5-3: Técnica de muestro del césped

| Concepto | Materiales | Reactivos | Método | Procedimiento |
|---|---------------|---------------|--|---|
| Procedimiento de obtención de una parte del residuo foliar. | Fundas ziploc | No necesarios | Se realizó el método de cuarteo para obtener una muestra representativa y homogénea. | <ul style="list-style-type: none"> • Tomar una muestra global y mezclarla. • Dividir en 4 partes iguales • Eliminar dos porciones diagonalmente opuestas, las otras dos se mezclan nuevamente. • Repetir sucesivamente la operación hasta obtener el tamaño requerido de la muestra |

| | | | | |
|--|--|--|--|---|
| | | | | <p>que no debe ser menor a 200 gramos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guardar las muestras en recipientes adecuados con cierre hermético con su respectiva identificación para asegurar su trazabilidad. |
|--|--|--|--|---|

Fuente: Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro, 2015. (Instructivo para toma de muestras de Foliare)

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- Muestreo durante el proceso de compostaje

Tabla 6-3: Técnica de muestreo durante el proceso de compostaje

| Concepto | Equipos y Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|---|----------------------|---------------|--|---------------|
| Obtención de una parte de cada ensayo durante el proceso de compostaje. | Fundas ziploc | No necesarios | Se toma aproximadamente 1 Kg de diferentes puntos al azar de cada ensayo. Se tomaron muestras iniciales, intermedias y finales de cada ensayo para realizar su caracterización. | No necesarios |

Fuente: Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro, 2016. (Instructivo para toma de muestras de fertilizantes)

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Humedad

Para la determinación de humedad se prosiguió según el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0222:1978 Fertilizantes. Determinación del contenido de humedad.

Tabla 7-3: Técnica para la determinación de humedad

| Concepto | Equipos y materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|----------------------------|--|---------------|--|---|
| Cantidad de humedad (agua) | <ul style="list-style-type: none"> • Cápsula de aluminio o vidrio • Estufa eléctrica • Desecador • Balanza analítica • Balanza analítica. Sensible a 0,1 mg. 4.2 de vacío, con regulador de temperatura capaz de controlar. | No necesarios | <ul style="list-style-type: none"> • Lavar, secar y pesar la cápsula. • Colocar 2 g de muestra en la cápsula previamente tarada con una aproximación a 0,1 mg. • Colocar la cápsula con el producto en la estufa a 70 °C, por 24 horas. | $\%H = \frac{m_1 - (m_2 - m)}{m_1} \times 100$ <p>donde: H = Contenido de humedad en porcentaje de masa. m = masa de la cápsula en g. m₁ = masa de la muestra húmeda, en g. m₂ = masa de la cápsula con la muestra seca en g.</p> |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | <ul style="list-style-type: none"> • Introducir la muestra en el desecador y dejar enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente y pesar. | |
|--|--|--|--|--|

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0222. 1978. (Fertilizantes. Determinación del contenido de humedad)

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

pH

Tabla 8-3: Técnica para la determinación de pH

| Concepto | Equipos y materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|--|---|----------------|--|----------------------------------|
| Concentración de iones H^+ en la solución problema | <ul style="list-style-type: none"> • Medidor de conductividad • Varilla de agitación • Muestra a medir • Balanza analítica • Medidor de pH • Varilla de agitación • Piceta • Probeta de 50 mL • Vasos de precipitación de 150 mL | Agua destilada | <ul style="list-style-type: none"> • En un vaso de precipitación pesar 4 g de muestra. • Agregar 40 mL de agua destilada (relación 1:10) • Agitar por 10 minutos para homogenizar la solución. • Dejar sedimentar. • Introducir el electrodo. • Esperar el valor de pH. • Retirar el electrodo y lavarlo. | Lectura directa sobre el equipo. |

Fuente: Fernández et al., 2006 (Manual de técnicas de análisis de suelos)

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Conductividad eléctrica (CE)

Tabla 9-3: Técnica para la determinación de conductividad eléctrica

| Concepto | Equipos y materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|--|--|----------------|--|---------------------------------|
| Conductividad Eléctrica (CE) disociación electrolítica | <ul style="list-style-type: none"> • Muestra a medir • Balanza analítica • Medidor de conductividad • Varilla de agitación • Piceta • Probeta de 50 mL • Vasos de precipitación de 150 mL | Agua destilada | <ul style="list-style-type: none"> • En un vaso de precipitación pesamos 4 g de muestra. • Agregar 40 mL de agua destilada • Agitar por 10 minutos para homogenizar la solución • Dejar sedimentar • Colocar la solución problema en tubos de ensayo • Centrifugar por 5 minutos a 1000 rpm • Filtrar la solución | Lectura directa sobre el equipo |

| | | | | |
|--|--|--|---|--|
| | | | <ul style="list-style-type: none"> • Introducir el electrodo en la solución. • Esperar el valor de Conductividad eléctrica. • Retirar el electrodo y lavarlo | |
|--|--|--|---|--|

Fuente: Fernández et al., 2006 (Manual de técnicas de análisis de suelos)

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Índice de germinación

Tabla 10-3: Técnica para la determinación del índice de germinación

| Concepto | Equipos y materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|---|--|---|---|--|
| <p>Índice de germinación determina las propiedades fitotóxicas del compost de acuerdo a su estado de madurez.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Vasos de precipitación • Equipo de filtración al vacío Buckner • 1 pipeta de 1 mL • Cajas Petri • Semillas de rábano • Papel filtro • Papel aluminio • Pie de rey • Estufa | <ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • Agua dura • Solución de alcohol al 50 %. | <ul style="list-style-type: none"> • En un vaso de precipitación pesamos 10 g de muestra. • Agregar 15 mL de agua • Agitar suavemente y dejar en reposo • Añadir 67,5 mL de agua y mover el vaso. • Filtrar al vacío en matraces buckner • Pipetear 1 mL de solución y verter sobre la caja Petri preparada con papel filtro. • Colocar 8 semillas de rábano sobre el papel filtro húmedo por cada caja Petri. • Se realizan 3 cajas Petri por cada muestra con un blanco respectivamente, tapar y rotular. • Envolver 5 cajas Petri con papel aluminio para evitar que se sequen. • Dejar las cajas en la estufa por 48 horas. • Sacar las cajas y añadir 1 mL de alcohol al 50 % para inhibir el crecimiento de las semillas. • Colocar las cajas por 10 segundos en la refrigeradora. • Contar las semillas que han germinado. • Retirar las semillas, colocarlas en una hoja de papel y medir con el pie de rey la longitud de la raíz. | $GRS = \frac{\text{Número de semillas germinadas con la muestra de agua problema}}{\text{Número de semillas germinadas en agua dura (testigo)}} * 100$ <p>Donde: GRS = Germinación relativa de las semillas, en porcentaje</p> $CRR = \frac{\text{Longitud promedio de la radícula con la muestra de agua problema}}{\text{Longitud promedio de la radícula en agua dura (testigo)}} * 100$ <p>Donde: CRR = Crecimiento relativo de la radícula, en porcentaje</p> $IG = \frac{GRS * CRR}{100}$ <p>Donde: IG = índice de germinación</p> |

Fuente: Zucconi et al., 1981 (Evaluating toxicity in immature compost)

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

3.2.3. Parte experimental

En esta etapa se verifican las variables que se manifiestan durante el proceso de compostaje gracias a la actividad microbiológica de acuerdo a las formulaciones de las materias primas presentes en cada mezcla. Estas se constatan desde el principio hasta la maduración del compost.

3.2.3.1. Muestreo

Muestreo del contenido ruminal no separado

Para conocer la generación del contenido ruminal por parte del Camal Municipal Riobamba realicé un muestreo durante una semana laborable (lunes, martes, jueves, viernes y sábado) del 17 al 22 de Julio del 2017. Donde tomé una cavidad ruminal cada cinco, la cantidad de cavidades muestreadas en total fue de 10 unidades al día para adquirir una media aritmética representativa.

De esta manera conocer el peso promedio generado de contenido ruminal por cavidad ruminal en Kg, el peso promedio generado de contenido ruminal por día (Kg/día) y el peso promedio generado de contenido ruminal al mes (Kg/mes) de acuerdo al número de bovinos faenados al mes.

Cada unidad de cavidad ruminal la pesé incluido su contenido y después sin su contenido, obteniéndose por diferencia el peso del contenido ruminal, además, que a esta diferencia le resté 2,5 Lb que es el peso del recipiente (gaveta) en el cual pesé las cavidades ruminales.

Tabla 11-3: Peso promedio generado de Contenido Ruminal por Cavidad Ruminal del Camal Municipal Riobamba

| Muestra | Lunes | Martes | Jueves | Viernes | Sábado |
|--------------------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 1 | 64,5 | 87 | 84 | 66 | 64 |
| 2 | 40,5 | 75 | 70 | 67 | 44 |
| 3 | 71,5 | 67 | 55 | 72 | 69 |
| 4 | 85,5 | 80 | 59 | 63 | 60 |
| 5 | 68,5 | 38 | 52 | 58 | 68 |
| 6 | 37 | 38 | 50 | 81 | 76 |
| 7 | 50 | 54 | 43 | 57 | 67 |
| 8 | 69 | 55 | 84 | 54 | 62 |
| 9 | 41 | 43 | 66 | 73 | 76 |
| 10 | 43 | 70 | 60 | 62 | 63 |
| TOTAL POR DÍA (Lb) | 570,5 | 607 | 623 | 653 | 649 |

| | | | | | |
|---|---------|------|------|------|---------|
| Peso promedio generado de contenido ruminal por día (Lb/día) | 57,0571 | 60,7 | 62,3 | 65,3 | 64,9 |
| Peso total del promedio generado de contenido ruminal por día. (Lb/día) | | | | | 310,257 |
| Peso promedio generado de Contenido Ruminal por Cavidad Ruminal (Lb) | | | | | 62,051 |
| Peso promedio generado de contenido ruminal por Cavidad Ruminal (Kg) | | | | | 27,888 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 12-3: Peso promedio generado de contenido ruminal a la semana del Camal Municipal Riobamba

| Generación Día | Peso promedio generado de contenido ruminal por día (Lb/día) | Bovinos faenados al día | Peso promedio generado de contenido ruminal por bovino faenado al día (Lb/día) |
|---|--|-------------------------|--|
| Lunes | 57,0571 | 114 | 6504,5094 |
| Martes | 60,7 | 123 | 7466,1 |
| Jueves | 62,3 | 126 | 7849,8 |
| Viernes | 65,3 | 100 | 6530 |
| Sábado | 64,9 | 69 | 4478,1 |
| Peso promedio generado de contenido ruminal a la semana (Lb/semana) | | | 32828,5094 |
| Peso promedio generado de contenido ruminal a la semana (Kg/semana) | | | 14890,9141 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Los siguientes datos corresponden al número de bovinos faenados del mes de Julio del 2017. Las fechas faltantes pertenecen a los días domingos y miércoles, debido a que esos días no trabajan.

Tabla 13-3: Promedio del número de bovinos faenados al mes del Camal Municipal Riobamba

| Nº | Fecha de faenamiento | Número de bovinos faenados |
|----|----------------------|----------------------------|
| 1 | 01/07/2017 | 77 |
| 2 | 03/07/2017 | 141 |
| 3 | 04/07/2017 | 122 |
| 4 | 06/07/2017 | 112 |
| 5 | 07/07/2017 | 123 |
| 6 | 08/07/2017 | 72 |
| 7 | 10/07/2017 | 136 |
| 8 | 11/07/2017 | 91 |
| 9 | 13/07/2017 | 109 |
| 10 | 14/07/2017 | 111 |
| 11 | 15/07/2017 | 73 |
| 12 | 17/07/2017 | 114 |
| 13 | 18/07/2017 | 123 |

| | | |
|---|------------|----------|
| 14 | 20/07/2017 | 126 |
| 15 | 21/07/2017 | 100 |
| 16 | 22/07/2017 | 69 |
| 17 | 24/07/2017 | 70 |
| 18 | 25/07/2017 | 130 |
| 19 | 27/07/2017 | 129 |
| 20 | 28/07/2017 | 107 |
| 21 | 29/07/2017 | 123 |
| 22 | 31/07/2017 | 73 |
| Total promedio de Bovinos faenados al mes | | 2331 |
| Promedio de Bovinos faenados al día | | 105,9545 |

Fuente: Camal Municipal Riobamba
Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 14-3: Generación mensual de contenido ruminal del Camal Municipal Riobamba

| Nº | Peso promedio generado de contenido ruminal por Cavidad Ruminal (Kg) | Total promedio de Bovinos faenados al mes | Generación mensual de contenido ruminal (Kg/mes) | Generación mensual de contenido ruminal (Tn/mes) |
|----|--|---|--|--|
| 1 | 27,888 | 2331 | 65006,928 | 65,006 |

Elaborado por: Jenny Barragán, 2018

Muestreo del contenido ruminal separado

La cantidad de contenido ruminal separado producto de separación líquido – sólido que se utilizó en las formulaciones de los dos métodos de compostaje, se especifica en la siguiente tabla.

Tabla 15-3: Muestreo del contenido ruminal separado

| Nº | Fecha | Hora | Cantidad (Kg) |
|----|------------|---------------|---------------|
| 1 | 07/03/2018 | 14:00 – 18:00 | 470 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Muestreo Césped

Para conocer la cantidad generada de los espacios verdes de la ESPOCH que poseen en su mayoría Kikuyo o su nombre científico *Pennisetum clandestinum* y en una minoría otro tipo de especies, por lo que, a esta mezcla en general la llamaremos césped.

Para conocer la cantidad de césped generada en la ESPOCH, abastecí una volqueta de 8 m³ de capacidad con el producto del mantenimiento de parques y jardines que lo realiza el personal del Departamento Mantenimiento y Desarrollo Físico (DMDF). La volqueta se trasladó al relleno

sanitario Porlón de la ciudad de Riobamba donde fue pesada en una báscula al ingreso y a la salida, y por diferencia determiné el peso neto de césped por volqueta.

El peso neto de césped producido al mes lo obtuve multiplicando la frecuencia de volquetas de césped al mes que son 12 volquetas, por el peso neto de césped por volqueta. (DMDF y Flores, 2018)

Tabla 16-3: Generación mensual de césped de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

| N° | Peso de volqueta con césped (Tn) | Peso de volqueta sin césped (Tn) | Peso neto de césped por volqueta (Tn) | Frecuencia de volquetas al mes | Total de césped generado al mes (Tn) |
|----|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 4,55 | 2,9 | 1,6 | 12 | 19,2 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Las áreas verdes que son intervenidas por el DMDF se pueden observar resaltadas de color magenta en el siguiente plano de la ESPOCH. El área superficial intervenida es de 81055,5827m², dato definido por resaltado del dibujo a escala de la ESPOCH en formato AutoCAD.

Para la recolección de césped que se utilizó en las formulaciones de los dos métodos de compostaje, se acudió a las áreas verdes de la ESPOCH donde el personal del DMDF estuvo cortándolo.

Tabla 17-3: Muestreo del césped

| N° | Fecha | Hora | Cantidad (Kg) |
|----|------------|---------------|---------------|
| 1 | 28/02/2018 | 09:00 – 11:00 | 115 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

El césped no fue triturado, ya que, tuvo un tamaño adecuado producto de su podado, con esa longitud existió mayor contacto superficial con el contenido ruminal y por consiguiente se pudo degradar con facilidad. (Proietti et al., 2016, p.4)

El césped se considera como un desecho y en el proceso de compostaje aporta carbono, nitrógeno y otros minerales, además de actuar como agente estructurante.

3.2.3.2. Variables de diseño a controlar durante el proceso de compostaje

Las variables de diseño que se verificaron desde el principio hasta la maduración del compost son: la humedad, temperatura y aeración en el sistema pasivo con aeración forzada, en el sistema en pilas con volteo se verificaron la humedad y temperatura. Estas se controlaron 2 veces por semana.

Las variables como el pH, conductividad eléctrica e índice germinación se determinaron al final con la caracterización de las muestras iniciales, intermedias y finales de las muestras tomadas durante el proceso de compostaje.

Parámetros como: fósforo, nitrógeno, potasio y materia orgánica se analizaron en las materias primas para la realización del proyecto y al final en la obtención del producto final (compost).

Tabla 18-3: Variables de diseño controladas durante el proceso de compostaje

| Variables de diseño | Resultados esperados |
|--------------------------|--|
| Temperatura | Higienización de la materia orgánica con las variaciones de temperatura |
| Humedad | Humedad que permita el desarrollo de la actividad microbiana. |
| Concentración de Oxígeno | Cantidad adecuada favorece la oxigenación microbiana y evita condiciones anaerobias. |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Las mediciones de temperatura se llevaron a cabo con un termómetro digital modelo Hanna que tiene una sonda de 30 cm lo que permite obtener sus valores en diferentes lugares y profundidades, de esta forma se pueden observar los ascensos y descensos.

Las mediciones de humedad de los ensayos se realizaron con un higrómetro digital que posee dos sondas de 20 cm, el cual permite obtener sus valores y de esta manera agregar agua, ya que una deficiencia como un exceso no favorece la actividad microbiana.

3.2.3.3. Equipos, materiales y herramientas

Elementos utilizados en la recolección de las materias primas

Tabla 19-3: Elementos utilizados en la recolección de las materias primas

| Materia prima | Instrumentos, materiales y herramientas | Descripción | Cantidad |
|----------------------------|---|---------------------------|-------------|
| Contenido ruminal y césped | Instrumentos | Balanza de presión romana | 1 unidad |
| | | Calculadora científica | 1 unidad |
| | | Computador | 1 unidad |
| | Materiales | Guantes de caucho | 2 pares |
| | | Overol / mandil | 1 unidad |
| | | Mascarilla | 4 unidades |
| | | Sacos | 25 unidades |
| | | Cofia | 4 unidades |
| | | Casco | 1 unidad |
| | | Libreta de apuntes | 1 unidad |
| | Maquinaria | Vehículo | 1 unidad |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Construcción del sistema de compostaje pasivo con aireación forzada

Para construir del sistema de compostaje pasivo con aireación forzada a escala se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 20-3: Materiales y herramientas para la construcción del sistema de compostaje pasivo con aireación forzada

| Trabajo | Materiales y herramientas | Descripción | Cantidad |
|--|---------------------------|---|------------------|
| Sistema de compostaje pasivo con aireación forzada | Materiales | Tanque de polietileno de 120 litros | 3 unidades |
| | | Tubo de hierro de 1 ¹ / ₄ pulg. | 4,50 metros |
| | | Tela inoxidable 2000 mm N° 9 con luz de malla 2,387 mm | 1 m ² |
| | | Remaches pop | 20 unidades |
| | | Cañería para la conducción de aire 800 mm con diámetro de 5,76 mm | 1 |
| | | Ladrillo refractario para hornos 1550 °C | 1 |
| | | Acople de distribución de aire 3 vías con rosca macho | 1 |
| | | Alambre AWG N° 16 | 1 |
| | | Cañería para la conducción de aire 800 mm con diámetro de 5,76 mm | 1 |
| | | Acople rápido aire a macho NPTF con diámetro 6,35 mm | 2 |
| | | Acople de distribución de aire 3 vías con rosca macho | 1 |
| | | Resistencia calentadora (Alambre de Níquel - Cromo) de 500W | 1 |
| | | Electrodos 60 – 11 | 2 libras |
| | | Pintura de esmalte negra | 1/4 Litro |
| | | Enchufe | 1 unidad |
| | | Tubo de poliuretano 1500 mm con diámetro de 10 mm | 1 m |
| | | Teflón | 1 unidad |
| | | Cinta térmica | 1 unidad |
| | | Brocas 1/8, 1/4, 3/8, 1/2 | 1 unidad |
| | | Taype | 1 unidad |
| | Tijeras | 1 unidad | |
| | Herramientas | Soldadora | 1 unidad |
| | | Compresor de aire de potencia de 1,5 KW | 1 unidad |
| | | Taladro | 1 unidad |
| | | Arco de sierra | 1 unidad |
| | | Desarmadores | 1 unidad |
| | | Martillo | 1 unidad |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Elementos usados durante el proceso de compostaje

Tabla 21-3: Elementos usados durante el proceso de compostaje

| Trabajo | Instrumentos, materiales, herramientas y equipos | Descripción | Cantidad |
|---|---|----------------------------------|----------------------|
| Toma de muestras iniciales, intermedias, finales para su análisis de laboratorio. | Instrumentos | Balanza de presión romana | 1 unidad |
| | | Calculadora científica | 1 unidad |
| | Materiales | Guantes de nitrilo | 1 par |
| | | Mandil / Overol | 1 unidad |
| | | Fundas ziploc | 3 unidades |
| | | Mascarilla | 1 unidad |
| | | Tijeras | 1 unidad |
| | | Papel filtro | 36 unidades redondas |
| | | Papel aluminio | 1 rollo |
| | | Papel film | 1 rollo |
| | | Cinta para identificación | 1 unidad |
| | | Envases estériles | 27 unidades |
| | | Cajas Petri | 27 unidades |
| | Herramientas | Espátula | 1 unidad |
| | | Pinzas | 1 unidad |
| | | Vasos de precipitación de 250 ml | 16 unidades |
| | | Cápsulas | 16 unidades |
| | | Desecador | 2 unidades |
| | | Pizeta | 1 unidad |
| | | Tubos para centrifugar | 8 unidades |
| | | Pipetas | 2 unidades |
| | Equipos | Erlenmeyer | 2 unidades |
| | | pH-metro | 1 unidad |
| | | Secador de bandejas | 1 unidad |
| | | Medidor de conductividad | 1 unidad |
| | | Bomba de vacío Buckner | 1 unidad |
| | | Estufa | 1 unidad |
| Homogenización de las materias primas para el proceso de compostaje | Instrumentos | Centrífuga | 1 unidad |
| | | Balanza de presión romana | 1 unidad |
| | Materiales | Calculadora científica | 1 unidad |
| | | Guantes de caucho | 1 par |
| | | Botas de caucho | 1 par |
| | | Overol | 1 unidad |
| | Herramientas | Mascarilla | 1 unidad |
| Pala | 1 unidad | | |
| Monitoreo de la transformación de la | Instrumentos | Higrómetro | 1 unidad |
| | | Termómetro digital | 1 unidad |

| | | | |
|---|--------------|---------------------------|------------|
| materia orgánica durante el proceso de compostaje | Materiales | Guantes de caucho | 1 par |
| | | Overol | 1 unidad |
| | | Espátula | 1 unidad |
| Recolección del producto final (compost) | Instrumentos | Balanza de presión romana | 1 unidad |
| | Materiales | Guantes de caucho | 1 par |
| | | Overol | 1 unidad |
| | | Sacos | 8 unidades |
| Herramientas | Pala | 1 unidad | |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

3.2.3.4. Construcción del sistema pasivo con aireación forzada a escala

Procedimiento para fabricación de partes

- Soporte para el biodigestor



Figura 4-3: Soporte para el biodigestor

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Los procesos identificados en la fabricación del soporte son:

- Corte de la Tee

Se realizó un corte mediante un arco de sierra a las dimensiones requeridas en el diseño. (ver plano N° 03)

- Barolado de la Tee

En esta etapa se procedió a dar la forma circular a la Tee con un diámetro acorde al diámetro al diámetro de la base del biodigestor que sirvió para su soporte.

La Tee no es directamente barolada al diámetro final, se necesitó un segundo procedimiento hasta obtener el diámetro requerido en el diseño.

➤ Corte de los parantes

Se cortó un tubo redondo de 1 pulg 1/4 y 2 mm de espesor mediante un arco de sierra a las dimensiones requeridas en el diseño.

➤ Soldadura del soporte

La unión de la Tee cilíndrica y sus parantes se realizó mediante arco eléctrico con E 60 – 11. Se procede a realizar puntos de suelda, una vez verificado el ensamblado con las dimensiones requeridas se soldó todas sus partes. (Ver plano N° 03)

• Caja térmica

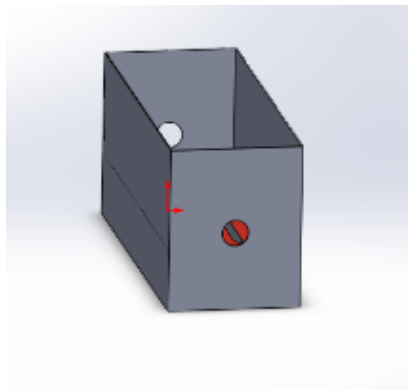


Figura 5-3: Caja térmica

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

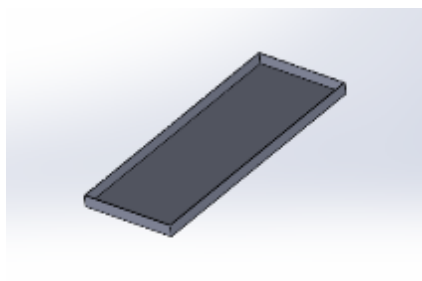


Figura 6-3: Tapa de la caja térmica

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Los procesos identificados en la fabricación de la caja para el sistema térmico son:

➤ Corte de la plancha galvanizada

Se cortó la plancha galvanizada mediante una cizalla eléctrica acorde a las dimensiones del diseño.

➤ Doblado de la plancha

Se procedió a doblar la plancha de acuerdo con las dimensiones del tubo en contacto con la niquelina. En este proceso se utilizó una dobladora de muelas específicamente para doblar planchas de hasta 2 mm de espesor. (Ver plano N° 01 y N° 02)

- Tapa de tela inoxidable

Se procedió a cortar la tela inoxidable N° 9 con un diámetro de 40 cm y se ensambla a la abrazadera (que viene incluido con el tanque de polietileno y permite un cierre hermético con su tapa) del mismo diámetro con remaches pop de 1/8 pulg para fijar ambas partes.

- **Biodigestor**

A los tanques de polietileno se le realizaron agujeros a su alrededor para introducir las sondas del pH-metro y del termómetro; y en la base 3 agujeros para la insuflar el aire a la mezcla.

Montaje del sistema de compostaje pasivo con aireación forzada

Elementos necesarios:

- Soporte para el biodigestor
- Biodigestor
- Caja térmica
- Ladrillo refractario
- Resistencia calentadora
- Extensión con enchufe
- Cañería para conducción de aire
- Tapa de la caja térmica
- Acople de distribución de aire
- Acople rápido tubo de poliuretano

- Compresor de aire
- Tapa con tela inoxidable

Procedimiento:

Trasladamos todos los elementos necesarios mencionados anteriormente al centro de acopio de residuos sólidos.

- Situamos los soportes de los biodigestores en un lugar ya establecido para la instalación del sistema de compostaje.
- Colocamos los biodigestores sobre sus bases.
- Procedemos a ensamblar la caja térmica en su interior ubicamos el ladrillo refractario, la resistencia calentadora y conectamos la extensión para suministrar energía eléctrica.
- Instalamos acoples de distribución de aire y acople rápido en la cañería.
- Pasamos la cañería por los agujeros que tienen las caras opuestas de la caja térmica y colocar la tapa.
- En el extremo de la cañería se colocó un acople rápido de distribución con tres vías, a las cuales se conecta tubos de poliuretano que se introdujeron a los agujeros ubicados en la parte inferior de los biodigestores.
- Para el suministro de aire conectamos la cañería a la manguera del compresor.
- Ubicamos las formulaciones a compostar en el interior de los biodigestores y colocamos la tapa con la tela metálica para evitar la inserción de moscas.
- Conectamos resistencia calentadora y el compresor a la energía eléctrica, los encendemos y regulamos el fluido requerido para cada formulación.

El ensamblado completo se puede observar en el Anexo N: Plano de conjunto. Sistema de compostaje pasivo con aireación forzada.

3.2.4. Datos experimentales

El proceso de compostaje se realizó mediante formulaciones mezclando una fuente animal que fue el contenido ruminal obtenido del lavado de las cavidades ruminales provenientes del faenado de bovinos del Camal Municipal Riobamba, y césped una fuente vegetal que fue obtenida de las áreas verdes de la ESPOCH.

Se analizaron las materias primas en los laboratorios de la Facultad de Ciencias y en Agrocalidad, los que se detallan a continuación:

Porcentaje de humedad del contenido ruminal no separado

Tabla:22-3: Datos experimentales para la determinación del porcentaje humedad del contenido ruminal no separado

| Dato experimental | Peso muestra 1 (g) | Peso muestra 2 (g) | Peso muestra 3 (g) |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| Peso del contenido ruminal húmedo | 2,0030 | 2,0010 | 2,0020 |
| Peso cápsula más contenido ruminal seco | 89,6919 | 85,9819 | 92,5632 |
| Peso cápsula | 89,5967 | 85,8985 | 92,4998 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Determinación de humedad, tomada de la Ecuación 1-1

$$\% H = \frac{2,0030g - (89,6919 - 89,5967)g}{2,0030g} * 100$$

$$\% H = 96,2346$$

Tabla 23-3: Promedio del porcentaje de humedad del contenido ruminal no separado

| Porcentaje de humedad 1 | Porcentaje de humedad 2 | Porcentaje de humedad 3 | Promedio de humedad |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|
| 95,2471 | 95,8320 | 96,8331 | 95,9707 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Porcentaje de humedad del contenido ruminal separado

Tabla 24-3: Datos experimentales para la determinación del porcentaje humedad del contenido ruminal separado

| Dato experimental | Peso muestra 1 (g) | Peso muestra 2 (g) | Peso muestra 3 (g) |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| Peso del contenido ruminal húmedo | 2,0010 | 2,0001 | 2,0002 |
| Peso cápsula | 89,6760 | 86,7525 | 96,3844 |
| Peso cápsula más contenido ruminal seco | 90,3319 | 87,4098 | 97,0395 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Determinación de humedad, tomada de la Ecuación 1-1

$$\% H = \frac{2,0010g - (90,3319 - 89,6760)g}{2,0010g} * 100$$

$$\% H = 67,2214$$

Tabla 25-3: Promedio del porcentaje de humedad del contenido ruminal separado

| Porcentaje de humedad 1 | Porcentaje de humedad 2 | Porcentaje de humedad 3 | Promedio de humedad |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|
| 67,2214 | 67,1366 | 67,2483 | 67,2021 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Porcentaje de humedad del césped

Tabla 26-3: Datos experimentales para la determinación del porcentaje de humedad del césped

| Dato experimental | Peso muestra 1 (g) | Peso muestra 2 (g) | Peso muestra 3 (g) |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Peso húmedo del césped | 2,0047 | 2,0082 | 2,0014 |
| Peso cápsula más césped seco | 87,2354 | 94,7224 | 73,7247 |
| Peso cápsula | 85,5490 | 93,0201 | 72,0392 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Determinación de humedad, tomada de la Ecuación 1-1

$$\% H = \frac{2,0047g - (87,2354 - 85,5490)g}{2,0047g} * 100$$

$$\% H = 15,8777$$

Tabla 27-3: Promedio del porcentaje de humedad del residuo foliar (césped)

| Porcentaje de humedad 1 | Porcentaje de humedad 2 | Porcentaje de humedad 3 | Promedio de humedad |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|
| 15,8777 | 15,2325 | 15,7840 | 15,6314 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Relación Carbono – Nitrógeno inicial

Tabla 28-3: Porcentaje de materia orgánica y nitrógeno de las materias primas para el cálculo de la relación Carbono - Nitrógeno inicial para la formulación 1.

| Materia prima | Porcentaje de materia orgánica | Porcentaje de Nitrógeno |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Contenido ruminal | 79,95 | 1,99 |
| Césped | 86,50 | 2,07 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Biodigestor 1

- Porcentaje de carbono del contenido ruminal, tomado de la Ecuación 1-2

$$\% C = \frac{79,95}{1,84}$$

$$\% C = 43,45$$

- Relación Carbono – Nitrógeno, tomado de la Ecuación 1-3

$$C/N = \frac{43,45}{1,99}$$

$$C/N = 21,83$$

La relación carbono - nitrógeno inicial de las formulaciones son las mismas para los dos sistemas de compostaje.

Formulaciones

Tabla 29-3: Formulaciones según la proporción peso/peso de las materias primas

| Formulaciones según la proporción peso/peso de las materias primas | | | | |
|--|---|------------------------|-------------|-----------------|
| Ensayo experimental | Formulaciones según la proporción (p/p) | Contenido ruminal (Kg) | Césped (Kg) | Peso total (Kg) |
| Compostaje pasivo con ventilación forzada | | | | |
| Biodigestor 1 | Solo contenido ruminal | 37 | 0 | 37 |
| Biodigestor 2 | 2 Contenido ruminal : 1 césped | 12 | 6 | 18 |
| Biodigestor 3 | 4 Contenido ruminal : 1 césped | 24 | 6 | 30 |
| Compostaje en pilas con volteo | | | | |
| Pila 1 | Solo contenido ruminal | 127 | 0 | 127 |
| Pila 2 | 2 Contenido ruminal : 1 césped | 134 | 67 | 201 |
| Pila 3 | 4 Contenido ruminal : 1 césped | 127 | 32 | 159 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

La instalación del proyecto lo realice mezclando las materias primas de acuerdo a las formulaciones de la tabla 3-29. Las formulaciones son las mismas para los dos sistemas de compostaje. Estas en los biodigestores se llenaron ocupando las 3/4 partes de su volumen, y el montaje de las pilas se realizó formando amontonamientos lo más cónicas posible para que pueda almacenar el calor. La humedad de las formulaciones se alcanzó agregando agua.

3.3. Cálculos

Datos adicionales para los cálculos

Tabla 30-3: Datos adicionales para el cálculo de la aireación

| Parámetros | Biodigestor 1 | Biodigestor 2 | Biodigestor 3 |
|--|------------------|------------------|------------------|
| Humedad inicial de las mezclas | 70 % | 70,00 % | 70,00 % |
| Humedad deseada de las mezclas | 60 % | 60 % | 60 % |
| Temperatura a la entrada del biodigestor | 40 °C / 313,15 K | 40 °C / 313,15 K | 40 °C / 313,15 K |
| Temperatura de salida del compresor | 16 °C / 289,15 K | 22 °C / 289,15 K | 22 °C / 289,15 K |
| Humedad relativa del aire de entrada (40 °C) | 65 % | 65 % | 65 % |

| | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Humedad relativa del aire de salida (°C) | 80 % | 80 % | 80 % |
| Presión atmosférica total | 779,38 mm Hg | 779,38 mm Hg | 779,38 mm Hg |
| Volumen específico del aire a la salida del compresor (16 °C y 65 % de humedad relativa) | 0,8279 m ³ /Kg | 0,8279 m ³ /Kg | 0,8279 m ³ /Kg |
| Volumen específico del aire a la entrada de los biodigestores (40 °C y 80 % de humedad relativa) | 0,9409 m ³ /Kg | 0,9409 m ³ /Kg | 0,9409 m ³ /Kg |
| Cantidad inicial de la mezcla (Kg) | 37 | 28 | 30 |
| Días que duró el proceso de compostaje | 87 | 87 | 87 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 31-3: Datos adicionales para el balance de energía para los biodigestores

| | |
|--|---------------------------------|
| Flujo másico de los residuos compostados en el biodigestor 1 | 0,4252 Kg/día = 0,000295 Kg/min |
| Temperatura a la entrada de la niquelina | 289,15 K |
| Temperatura a la salida de la niquelina | 313,15 K |
| Promedio de temperatura del aire dentro del biodigestor | 303,15 K |
| Volumen específico del aire a 289,15 K y 65 % de humedad relativa | 0,8279 m ³ /Kg |
| Volumen específico del aire a 313,15 K y 80 % de humedad relativa | 0,9409 m ³ /Kg |
| Capacidad calorífica del aire a 289,15 K | 1,007 KJ/Kg*K |
| Capacidad calorífica del aire a 313,15 K | 1,007 KJ/Kg*K |
| Conductividad térmica del acero | 47 W/m*K = 2,82 KJ/m*K*min |
| Temperatura media de la materia orgánica compostada | 303,15 K |
| Capacidad calorífica de la materia orgánica compostada del biodigestor 1 | 200 KJ/Kg*K |
| Capacidad calorífica de la materia orgánica compostada del biodigestor 2 | 309 KJ/Kg*K |
| Capacidad calorífica de la materia orgánica compostada del biodigestor 3 | 240 KJ/Kg*K |
| Área de contacto de la niquelina con el tubo | 0,26 m |
| Flujo másico de aire a suministrar por al biodigestor 1 (Kg/min) | 0,0435 Kg/min |
| Caudal de aire para eliminar el exceso de agua requerida (m ³ /min) | 0,0360 m ³ /min |
| Temperatura promedio a la que se composta la materia orgánica | 30 °C / 303,15 K |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Cálculo de la aireación en los biodigestores

Los datos adicionales que se utilizaron para los cálculos de la aireación se encuentran en la tabla 30-3.

Cálculo de la cantidad diaria compostada

El tiempo de compostaje de las formulaciones terminó en un promedio al mismo tiempo en cuanto a la fecha que se tomó la muestra para su análisis final y la evolución de temperatura, es por eso que, el tiempo de retención es igual para los tres.

Cálculo de la cantidad diaria compostada del Biodigestor 1, tomado de la Ecuación 1-7

$$C_s = \frac{37 \text{ Kg}}{87 \text{ días}}$$

$$C_s = 0,4252 \text{ Kg/día}$$

Tabla 32-3: Flujo másica diario compostado de los biodigestores

| Parámetro | Biodigestor 1 | Biodigestor 2 | Biodigestor 3 |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Cantidad diaria compostada (Kg/día) | 0,4252 | 0,2068 | 0,3448 |
| Cantidad diaria compostada (Kg/min) | 0,000295 | 0,000146 | 0,000239 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Cálculo de la cantidad de agua a eliminar de la mezcla

Cantidad de agua a eliminar de la mezcla del Biodigestor 1, tomado de la Ecuación 1-8

$$m_{Arem} = \frac{0,4252 * (70 - 60)}{100 - 60}$$

$$m_{Arem} = 0,1063 \text{ Kg } H_2O$$

Tabla 33-3: Cantidad de agua a eliminar de la mezcla de los biodigestores

| Parámetro | Biodigestor 1 | Biodigestor 2 | Biodigestor 3 |
|---|---------------|---------------|---------------|
| Cantidad de agua a eliminar de la mezcla (Kg) | 0,1063 | 0,0517 | 0,0862 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Cálculo de caudal de aire para eliminar el exceso de agua requerida en los biodigestores

- Presión de aire a la entrada del biodigestor, tomado de la Ecuación 1-9.

$$\text{Log } PVSe = \left(\frac{-2238}{289,15} \right) + 8,896$$

$$PVSe = 14,3242 \text{ mm Hg}$$

- Presión de aire a la salida del biodigestor, tomado de la Ecuación 1-9.

$$\text{Log } PVSs = \left(\frac{-2238}{313,15} \right) + 8,896$$

$$PVSs = 56,1390 \text{ mm Hg}$$

- Presión de vapor de agua a la entrada del biodigestor, tomado de la Ecuación 1-10.

$$PVe = 0,65 * 14,3242$$

$$PVe = 9,3107 \text{ mm Hg}$$

- Presión de vapor de agua a la salida del biodigestor, tomado de la Ecuación 1-10.

$$PV_s = 0,80 * 14,3242$$

$$PV_s = 56,1390 \text{ mm Hg}$$

- Humedad específica a la entrada del biodigestor, tomado de la Ecuación 1-11.

$$We = 0,622 \left(\frac{9,3107}{779,38 - 9,3107} \right)$$

$$We = 0,0075$$

- Humedad específica a la salida del biodigestor, tomado de la Ecuación 1-11.

$$Ws = 0,622 \left(\frac{56,1390}{779,38 - 56,1390} \right)$$

$$Ws = 0,0482$$

- Masa de aire para evaporar el agua, tomado de la Ecuación 1-12.

$$m_{aire} = \frac{0,1063}{0,0482 - 0,0075}$$

$$m_{aire} = 2,6117 \text{ Kg}$$

- Flujo másico de aire suministrado a los biodigestores

$$\dot{m}_{aire} = 2,6117 \text{ Kg/h}$$

$$\dot{m}_{aire} = 0,0435 \text{ Kg/min}$$

- Flujo volumétrico de aire suministrado a los biodigestores, tomado de la Ecuación 1-13.

$$V_{aire} = \dot{m}_{aire} * \hat{V}$$

$$V_{aire} = \left(0,0435 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \right) \left(0,8279 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} \right)$$

$$V_{aire} = 0,0360 \text{ m}^3/\text{min}$$

Parámetros como presión de aire a la entrada y a la salida, presión de vapor de agua a la entrada y salida, humedad específica a la entrada y a la salida de la fuente térmica, son las mismas para los 3 biodigestores

Tabla 34-3: Flujo másico y volumétrico de aire suministrado a los biodigestores

| Parámetro | Biodigestor 1 | Biodigestor 2 | Biodigestor 3 |
|---|---------------|---------------|---------------|
| Flujo másico de aire a suministrar (Kg/min) | 0,0435 | 0,0211 | 0,0352 |
| Flujo volumétrico de aire a suministrar (m ³ /min) | 0,0368 | 0,0174 | 0,0291 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Cálculo del balance de masa

Los datos adicionales que se utilizaron para los cálculos del balance de energía se encuentran en la tabla 3-31.

Biodigestor 1

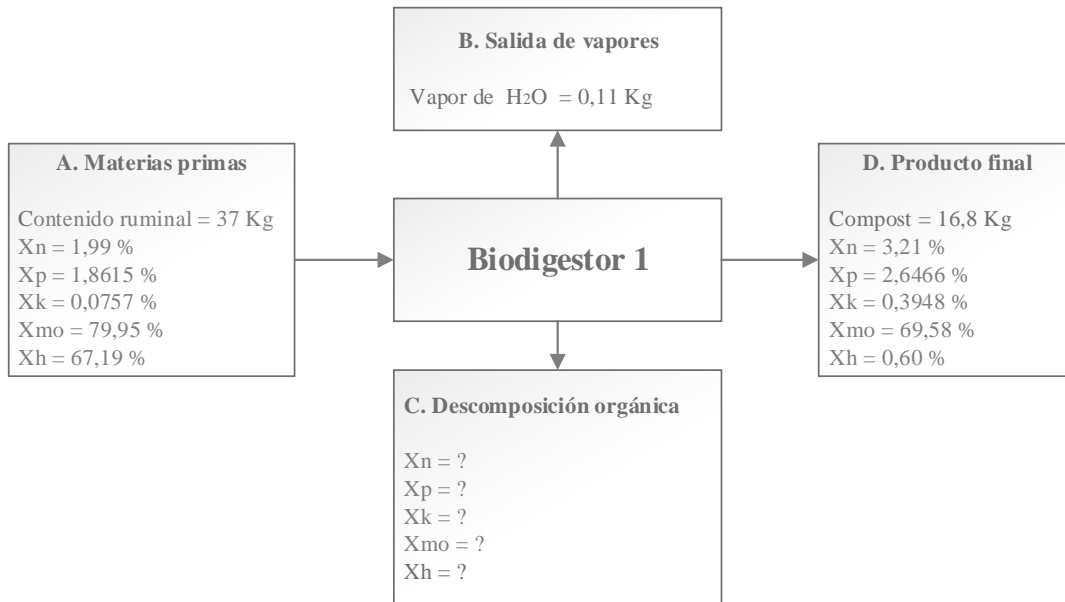


Figura 7-3: Diagramas de entradas y salidas del material

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- Balance general de masa, tomado de la Ecuación 1-14.

$$37 \text{ Kg} = 0,11 \text{ Kg} + \dot{m}C + 16,8 \text{ Kg}$$

$$\dot{m}C = 20,09 \text{ Kg}$$

- Balance para el nitrógeno, tomado de la Ecuación 1-15.

$$(37 \text{ Kg})(0,0199) = 0 + 20,09 X_{NC} + (16,8 \text{ Kg})(0,0321)$$

$$0,7363 = 20,09 X_{NC} + 0,5392$$

$$0,1971 = 20,09 X_{NC}$$

$$X_{NC} = 0,00981 \text{ kg}$$

- Balance para el fósforo, tomado de la Ecuación 1-16.

$$(37 \text{ Kg})(0,018) = 0 + 20,09 X_{PC} + (16,8 \text{ Kg})(0,0264)$$

$$0,666 = 20,09 X_{PC} + 0,436$$

$$0,23 = 20,09 X_{PC}$$

$$X_{PC} = 0,011 \text{ kg}$$

- Balance para el potasio, tomado de la Ecuación 1-17.

$$\begin{aligned}(37 \text{ Kg})(0,000757) &= 0 + 20,09 X_{KC} + (16,8 \text{ Kg})(0,00394) \\ 0,028 &= 20,09 X_{KC} + 0,066 \\ 0,038 &= 20,09 X_{KC} \\ X_{KC} &= 0,0019 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Balance para la materia orgánica, tomado de la Ecuación 1-18.

$$\begin{aligned}(37 \text{ Kg})(0,7995) &= 0 + 20,09 X_{MOC} + (16,8 \text{ Kg})(0,6958) \\ 29,5815 &= 20,09 X_{MOC} + 11,6894 \\ 17,8921 &= 20,09 X_{MOC} \\ X_{MOC} &= 0,8905 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Balance para el agua, tomado de la Ecuación 1-19.

$$\begin{aligned}(37 \text{ Kg})(0,6719) &= 0,111 \text{ Kg} + 20,09 X_{H2OC} + (16,8)(0,60) \\ 55,0677 &= 0,111 + 20,09 X_{H2OC} + 10,08 \\ 44,8767 &= 20,09 X_{H2OC} \\ X_{H2OC} &= 2,2337 \text{ kg}\end{aligned}$$

Cálculo del balance de energía

Balance de energía del biodigestor 1

Los datos adicionales que se utilizaron para los cálculos del balance de energía se encuentran en la tabla 3-31.

Balance general de energía, tomado de la Ecuación 20-1 y 21-1.

$$\begin{aligned}&\left\{ \left(0,0435 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \right) \left(1,007 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \right) (289,15 \text{ K}) \right\} - \left\{ \dot{m}_s \left(1,007 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \right) (313,15 \text{ K}) \right\} \\ &+ \left\{ \left(2,82 \frac{\text{KJ}}{\text{m} * \text{K} * \text{min}} \right) (0,26 \text{ m}) (313,15 \text{ K} - 289,15 \text{ K}) \right\} - \left\{ \left(0,000295 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \right) \left(200 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \right) (303,15 \text{ K}) \right\} = 0 \\ &\left\{ 12,6660 \frac{\text{KJ}}{\text{min}} \right\} - \left\{ (\dot{m}_s) \left(315,3420 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \right\} + \left\{ 17,5968 \frac{\text{KJ}}{\text{min}} \right\} - \left\{ 17,8858 \frac{\text{KJ}}{\text{min}} \right\} = 0 \\ &- \left\{ (\dot{m}_s) \left(315,3420 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \right\} + \left\{ 12,377 \frac{\text{KJ}}{\text{min}} \right\} = 0 \\ &\dot{m}_s = \frac{-12,377 \frac{\text{KJ}}{\text{min}}}{-315,3420 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} \\ &\dot{m}_s = 0,0392 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}\end{aligned}$$

- Flujo volumétrico de aire a la salida del biodigestor, tomado de la Ecuación: 13-1.

$$V_{aire} = \left(0,0390 \frac{Kg}{min}\right) \left(0,9409 \frac{m^3}{Kg}\right)$$

$$V_{aire} = 0,0368 m^3/min$$

Los valores para el biodigestor 2 y 3 se tabula en una tabla de resultados.

Cálculo de la relación Carbono - Nitrógeno final

La siguiente tabla describe los resultados del porcentaje de materia orgánica y nitrógeno de las muestras finales de cada ensayo, estos los utilice para el cálculo de la relación Carbono – Nitrógeno final.

Tabla 35-3: Porcentaje de materia orgánica y nitrógeno de los ensayos experimentales para el cálculo de la relación Carbono - Nitrógeno final

| Ensayo experimental | Porcentaje Materia orgánica | Porcentaje de Nitrógeno |
|--|-----------------------------|-------------------------|
| Compostaje pasivo con ventilación forzada | | |
| Biodigestor 1 | 69,58 | 3,21 |
| Biodigestor 2 | 67,81 | 3,01 |
| Biodigestor 3 | 69,59 | 3,29 |
| Compostaje de pilas con volteo | | |
| Pila 1 | 69,99 | 3,09 |
| Pila 2 | 69,72 | 3,46 |
| Pila 3 | 68,61 | 3,12 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Biodigestor 1

- Porcentaje de Carbono, tomado de la ecuación 1-2.

$$\%C = \frac{69,58}{1,84}$$

$$\%C = 37,81$$

- Relación C/N, tomado de la Ecuación 1-3.

$$C/N = \frac{37,81}{3,21}$$

$$C/N = 11,7804$$

Para los valores de la relación Carbono – Nitrógeno final se tabulan en la tabla de resultados.

Cálculo del Índice de germinación

Índice de germinación para la muestra inicial y final del biodigestor 1, tomado de la Ecuación 1-4, 1-5 y 1-6.

- Índice de germinación inicial

$$\% GRS = \frac{5}{7} * 100 = 71,4$$

$$\% CRR = \frac{11,38}{12,25} * 100 = 92,9$$

$$\% IG = \frac{71,4 * 92,9}{100} = 66,3$$

- Índice de germinación final

$$\% GRS = \frac{4}{7} * 100 = 57,1$$

$$\% CRR = \frac{16,88}{12,25} * 100 = 137,8$$

$$\% IG = \frac{57,1 * 137,8}{100} = 78,7$$

Rendimiento de las formulaciones

Tabla 36-3: Peso inicial y final de los ensayos experimentales

| Ensayo experimental | Peso inicial (Kg) | Peso final (Kg) |
|--|-------------------|-----------------|
| Compostaje pasivo con ventilación forzada | | |
| Biodigestor 1 | 37 | 16,8 |
| Biodigestor 2 | 18 | 8,8 |
| Biodigestor 3 | 30 | 16,2 |
| Compostaje de pilas con volteo | | |
| Pila 1 | 127 | 62,8 |
| Pila 2 | 201 | 108 |
| Pila 3 | 159 | 105,6 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Rendimiento del biodigestor 1, tomado de la Ecuación 1-22.

$$\% \text{rendimiento} = \frac{16,8 \text{ Kg}}{37 \text{ Kg}} \times 100$$

$$\% \text{rendimiento} = 45,40$$

Los valores restantes se tabulan en una tabla de resultados.

3.4. Verificación de las variables durante el proceso

Fecha del proyecto: 10 de marzo – 04 de junio del 2018

Temperatura y humedad

La medición de temperatura y humedad se realizó en 5 puntos de cada formulación 2 días a la semana. La humedad se verificó de acuerdo a las zonas del higrómetro, del 1 a 10, siendo de 1 a 4 color rojo (seco), de 5 a 8 color verde (humedad óptima) y 9 a 10 color azul (húmedo). En los biodigestores se añadió menos agua, ya que un exceso de humedad podría ser perjudicial.

Tabla 37-3: Verificación de temperatura y humedad del biodigestor 1

| Fecha de verificación | Puntos de medición de temperatura | | | | | Puntos de medición de humedad | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10/03/2018 | 42,2 | 47,2 | 41,9 | 45,9 | 48,7 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 12/03/2018 | 36,5 | 46,0 | 40,4 | 45,6 | 43,9 | 9 | 9 | 9 | 8 | 8 |
| 15/03/2018 | 44,8 | 42,8 | 44,6 | 42,3 | 39,6 | 9 | 9 | 9 | 7 | 9 |
| 19/03/2018 | 37,9 | 38,8 | 37,7 | 35,6 | 35,9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 22/03/2018 | 37,3 | 32,5 | 37,4 | 33,8 | 32,9 | 9 | 8 | 9 | 7 | 8 |
| 26/03/2018 | 32,9 | 31,8 | 31,2 | 28,5 | 31,0 | 9 | 7 | 9 | 7 | 7 |
| 29/03/2018 | 32,8 | 35,2 | 32,3 | 34,4 | 33,9 | 9 | 7 | 8 | 7 | 8 |
| 02/04/2018 | 37,6 | 38,5 | 37,2 | 38,1 | 38,1 | 9 | 7 | 8 | 7 | 8 |
| 05/04/2018 | 40,9 | 42,2 | 41,5 | 42,5 | 42,3 | 9 | 7 | 8 | 7 | 8 |
| 09/04/2018 | 43,7 | 45,1 | 44,1 | 45,8 | 45,9 | 8 | 9 | 8 | 7 | 8 |
| 12/04/2018 | 33,2 | 35,7 | 34,6 | 32,7 | 33,3 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 16/04/2018 | 22,6 | 23,5 | 23,7 | 24,0 | 23,3 | 8 | 7 | 8 | 7 | 8 |
| 19/04/2018 | 32,9 | 32,5 | 34,0 | 32,8 | 31,9 | 8 | 7 | 8 | 6 | 7 |
| 23/04/2018 | 24,2 | 24,3 | 23,6 | 24,5 | 24,2 | 8 | 7 | 7 | 8 | 7 |
| 26/04/2018 | 21,2 | 22,1 | 21,4 | 23,2 | 23,2 | 7 | 6 | 7 | 7 | 6 |
| 30/04/2018 | 21,2 | 22,1 | 21,4 | 23,2 | 23,2 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 |
| 03/05/2018 | 29,3 | 28,5 | 29,7 | 29,5 | 29,5 | 6 | 8 | 8 | 7 | 7 |
| 07/05/2018 | 25,5 | 25,0 | 25,2 | 25,0 | 25,0 | 7 | 7 | 8 | 8 | 9 |
| 10/05/2018 | 23,2 | 22,8 | 23,0 | 23,0 | 23,0 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 |
| 14/05/2018 | 21,8 | 21,0 | 21,5 | 21,2 | 21,2 | 9 | 7 | 8 | 7 | 8 |
| 17/05/2018 | 21,8 | 21,0 | 21,5 | 21,2 | 21,2 | 9 | 7 | 8 | 7 | 7 |
| 21/05/2018 | 20,2 | 20,0 | 20,2 | 20,0 | 20,0 | 8 | 6 | 8 | 7 | 7 |
| 24/05/2018 | 21,3 | 21,7 | 21,3 | 21,3 | 21,3 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 28/05/2018 | 20,1 | 19,8 | 19,9 | 20,9 | 19,7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 |
| 31/05/2018 | 19,5 | 19,4 | 19,2 | 18,9 | 18,7 | 6 | 8 | 7 | 8 | 7 |
| 04/06/2018 | 17,1 | 17,8 | 17,9 | 17,9 | 17,7 | 8 | 6 | 6 | 8 | 7 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 38-3: Verificación de temperatura y humedad del biodigestor 2

| Fecha de verificación | Puntos de medición de temperatura | | | | | Puntos de medición de humedad | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10/03/2018 | 46,8 | 56,7 | 46,8 | 55,5 | 55,6 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 12/03/2018 | 44,1 | 45,9 | 43,5 | 47,3 | 42,9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 15/03/2018 | 41,9 | 33,3 | 41,5 | 35,0 | 31,6 | 9 | 9 | 9 | 9 | 8 |
| 19/03/2018 | 32,6 | 30,7 | 34,4 | 33,9 | 30,8 | 8 | 9 | 8 | 9 | 8 |
| 22/03/2018 | 32,8 | 32,8 | 32,8 | 32,8 | 32,6 | 9 | 9 | 8 | 8 | 7 |
| 26/03/2018 | 29,8 | 27,3 | 29,5 | 28,1 | 26,5 | 9 | 8 | 9 | 8 | 7 |
| 29/03/2018 | 37,5 | 37,1 | 37,2 | 34,5 | 33,9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 02/04/2018 | 44,6 | 44,2 | 45,1 | 44,3 | 44,3 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 05/04/2018 | 47,3 | 48,1 | 48,6 | 47,9 | 47,9 | 9 | 8 | 9 | 7 | 7 |
| 09/04/2018 | 49,3 | 51,6 | 52,2 | 49,5 | 49,5 | 8 | 7 | 9 | 8 | 8 |
| 12/04/2018 | 49,3 | 51,6 | 52,2 | 49,5 | 49,5 | 7 | 8 | 7 | 8 | 8 |
| 16/04/2018 | 24,3 | 25,7 | 23,2 | 24,1 | 24,1 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 19/04/2018 | 32,9 | 24,4 | 32,7 | 32,7 | 32,7 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 23/04/2018 | 25,0 | 25,4 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 26/04/2018 | 23,7 | 22,7 | 23,7 | 23,7 | 23,7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 |
| 30/04/2018 | 23,7 | 22,7 | 23,7 | 23,7 | 23,7 | 7 | 8 | 6 | 6 | 6 |
| 03/05/2018 | 28,4 | 28,6 | 28,7 | 28,7 | 28,7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 6 |
| 07/05/2018 | 23,4 | 23,6 | 23,7 | 23,7 | 23,7 | 6 | 7 | 8 | 7 | 6 |
| 10/05/2018 | 23,1 | 22,3 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 |
| 14/05/2018 | 20,2 | 21,1 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 |
| 17/05/2018 | 20,2 | 21,1 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 |
| 21/05/2018 | 19,5 | 19,7 | 19,6 | 19,6 | 19,6 | 8 | 7 | 9 | 8 | 7 |
| 24/05/2018 | 19,5 | 19,8 | 19,3 | 19,3 | 19,3 | 8 | 7 | 9 | 8 | 8 |
| 28/05/2018 | 20,3 | 19,7 | 19,8 | 19,0 | 19,8 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 31/05/2018 | 18,9 | 18,4 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 04/06/2018 | 17,3 | 17,4 | 17,8 | 17,8 | 17,8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 39-3: Verificación de temperatura y humedad del biodigestor 3

| Fecha de verificación | Puntos de medición de temperatura | | | | | Puntos de medición de humedad | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|----|----|----|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10/03/2018 | 38,0 | 41,2 | 33,0 | 38,0 | 43,9 | 9 | 10 | 10 | 9 | 9 |
| 12/03/2018 | 44,5 | 48,1 | 39,0 | 42,5 | 46,1 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 |
| 15/03/2018 | 44,3 | 48,7 | 47,0 | 46,0 | 47,3 | 9 | 9 | 8 | 10 | 9 |
| 19/03/2018 | 40,7 | 41,1 | 39,8 | 42,5 | 43,6 | 9 | 8 | 8 | 9 | 9 |
| 22/03/2018 | 38,6 | 36,1 | 39,2 | 38,4 | 36,9 | 9 | 8 | 9 | 9 | 8 |
| 26/03/2018 | 33,4 | 30,8 | 34,3 | 34,8 | 33,5 | 9 | 7 | 9 | 9 | 8 |
| 29/03/2018 | 37,5 | 39,1 | 38,1 | 37,8 | 40,5 | 9 | 7 | 9 | 8 | 8 |
| 02/04/2018 | 40,4 | 43,5 | 40,5 | 41,3 | 42,0 | 9 | 8 | 8 | 8 | 7 |
| 05/04/2018 | 44,8 | 46,7 | 44,3 | 44,8 | 45,3 | 9 | 8 | 8 | 8 | 7 |

| | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|---|---|---|---|---|
| 09/04/2018 | 47,2 | 48,9 | 47,4 | 47,8 | 48,7 | 9 | 8 | 8 | 8 | 7 |
| 12/04/2018 | 47,2 | 48,9 | 47,4 | 47,8 | 48,7 | 8 | 7 | 8 | 8 | 7 |
| 16/04/2018 | 26,4 | 25,5 | 25,9 | 26,2 | 26,5 | 8 | 7 | 7 | 8 | 7 |
| 19/04/2018 | 29,4 | 31,5 | 31,2 | 31,0 | 31,3 | 8 | 7 | 7 | 7 | 8 |
| 23/04/2018 | 26,3 | 27,0 | 25,4 | 26,6 | 26,4 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| 26/04/2018 | 25,0 | 25,1 | 23,6 | 24,5 | 26,6 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 |
| 30/04/2018 | 27,0 | 27,1 | 25,6 | 26,5 | 27,6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 03/05/2018 | 29,9 | 30,0 | 29,6 | 29,6 | 30,0 | 7 | 7 | 8 | 7 | 8 |
| 07/05/2018 | 24,9 | 25,0 | 24,6 | 24,6 | 25,0 | 7 | 7 | 8 | 7 | 8 |
| 10/05/2018 | 26,2 | 26,5 | 25,5 | 26,0 | 26,2 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 |
| 14/05/2018 | 22,5 | 22,3 | 22,6 | 22,7 | 22,5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 17/05/2018 | 22,5 | 22,3 | 22,6 | 22,7 | 22,5 | 9 | 8 | 9 | 7 | 7 |
| 21/05/2018 | 20,5 | 20,6 | 20,4 | 20,5 | 20,5 | 8 | 7 | 9 | 8 | 8 |
| 24/05/2018 | 21,3 | 21,6 | 21,5 | 21,5 | 21,2 | 7 | 8 | 7 | 8 | 8 |
| 28/05/2018 | 20,4 | 20,5 | 20,4 | 20,7 | 19,9 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 31/05/2018 | 19,4 | 19,5 | 19,4 | 19,7 | 19,5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 04/06/2018 | 17,4 | 17,5 | 18,4 | 18,7 | 18,9 | 6 | 7 | 8 | 7 | 7 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 40-3: Verificación de temperatura y humedad de la pila 1

| Fecha de verificación | Puntos de medición de temperatura | | | | | Puntos de medición de humedad | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10/03/2018 | 62,5 | 55,6 | 58,3 | 59,1 | 58,0 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 12/03/2018 | 57,1 | 53,1 | 52,5 | 53,5 | 55,4 | 8 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 15/03/2018 | 48,0 | 46,0 | 43,2 | 46,1 | 48,1 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 |
| 19/03/2018 | 57,1 | 53,1 | 52,5 | 53,5 | 55,4 | 8 | 8 | 9 | 8 | 8 |
| 22/03/2018 | 32,5 | 31,6 | 31,8 | 32,6 | 32,2 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 26/03/2018 | 30,8 | 29,6 | 29,7 | 29,2 | 29,1 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 29/03/2018 | 52,5 | 51,6 | 53,5 | 51,4 | 54,1 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| 02/04/2018 | 48,2 | 50,5 | 49,0 | 49,5 | 49,6 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| 05/04/2018 | 43,0 | 42,3 | 43,8 | 43,5 | 44,3 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 09/04/2018 | 33,3 | 34,4 | 34,0 | 34,0 | 35,2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 12/04/2018 | 35,3 | 36,4 | 36,0 | 36,0 | 37,2 | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| 16/04/2018 | 28,6 | 26,7 | 27,5 | 25,9 | 25,6 | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| 19/04/2018 | 21,5 | 23,2 | 23,3 | 22,6 | 23,3 | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| 23/04/2018 | 32,0 | 32,7 | 33,2 | 32,3 | 33,1 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| 26/04/2018 | 22,4 | 22,6 | 22,7 | 22,4 | 22,3 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| 30/04/2018 | 19,1 | 19,3 | 19,8 | 19,9 | 19,7 | 8 | 9 | 9 | 8 | 8 |
| 03/05/2018 | 21,0 | 19,9 | 19,4 | 18,9 | 19,0 | 7 | 9 | 8 | 7 | 8 |
| 07/05/2018 | 20,0 | 20,0 | 19,9 | 19,7 | 19,3 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 |
| 10/05/2018 | 24,5 | 23,8 | 23,6 | 23,5 | 23,3 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 |
| 14/05/2018 | 26,6 | 26,7 | 26,3 | 26,1 | 27,1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 |
| 17/05/2018 | 23,3 | 22,3 | 22,0 | 22,2 | 23,0 | 8 | 8 | 7 | 8 | 8 |

| | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|---|---|---|---|---|
| 21/05/2018 | 20,0 | 19,8 | 19,6 | 19,6 | 20,2 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 |
| 24/05/2018 | 20,4 | 19,8 | 20,2 | 19,9 | 20,0 | 7 | 8 | 8 | 8 | 7 |
| 28/05/2018 | 24,0 | 23,2 | 22,9 | 22,0 | 22,1 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 |
| 31/05/2018 | 22,1 | 21,3 | 21,0 | 21,0 | 21,1 | 7 | 8 | 8 | 7 | 7 |
| 04/06/2018 | 19,6 | 19,0 | 19,1 | 19,0 | 19,1 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 41-3: Verificación de temperatura y humedad de la pila 2

| Fecha de verificación | Puntos de medición de temperatura | | | | | Puntos de medición de humedad | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10/03/2018 | 60,0 | 56,5 | 67,1 | 63,0 | 49,0 | 8 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 12/03/2018 | 62,2 | 60,1 | 60,5 | 61,1 | 45,6 | 9 | 8 | 9 | 9 | 9 |
| 15/03/2018 | 57,4 | 52,8 | 56,0 | 57,0 | 51,1 | 9 | 8 | 9 | 8 | 9 |
| 19/03/2018 | 62,2 | 60,1 | 60,5 | 61,1 | 45,6 | 9 | 8 | 9 | 8 | 9 |
| 22/03/2018 | 39,9 | 35,1 | 43,8 | 43,5 | 33,5 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 26/03/2018 | 34,4 | 32,2 | 29,3 | 36,2 | 30,2 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 29/03/2018 | 67,3 | 67,2 | 68,5 | 66,1 | 66,1 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 02/04/2018 | 48,3 | 54,4 | 54,6 | 54,3 | 53,3 | 8 | 7 | 8 | 8 | 7 |
| 05/04/2018 | 38,2 | 46,2 | 43,5 | 45,2 | 44,2 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 |
| 09/04/2018 | 31,1 | 39,7 | 35,4 | 37,3 | 36,8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 12/04/2018 | 25,9 | 26,5 | 26,7 | 26,6 | 26,7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 16/04/2018 | 20,7 | 21,3 | 20,4 | 20,9 | 21,3 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 |
| 19/04/2018 | 37,0 | 33,6 | 38,3 | 38,1 | 37,5 | 9 | 9 | 9 | 8 | 8 |
| 23/04/2018 | 50,7 | 47,7 | 48,8 | 49,4 | 48,5 | 9 | 9 | 8 | 9 | 9 |
| 26/04/2018 | 45,3 | 44,1 | 41,7 | 46,0 | 46,2 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 30/04/2018 | 29,2 | 30,2 | 31,8 | 31,5 | 30,3 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 03/05/2018 | 23,0 | 23,5 | 24,7 | 25,3 | 24,8 | 9 | 8 | 9 | 8 | 9 |
| 07/05/2018 | 20,8 | 21,4 | 22,1 | 22,4 | 22,0 | 8 | 8 | 9 | 8 | 9 |
| 10/05/2018 | 25,1 | 27,6 | 26,8 | 25,6 | 24,9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| 14/05/2018 | 30,2 | 30,1 | 30,7 | 29,6 | 28,2 | 8 | 7 | 8 | 7 | 8 |
| 17/05/2018 | 26,5 | 27,8 | 27,0 | 25,2 | 25,3 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 |
| 21/05/2018 | 23,6 | 23,4 | 24,2 | 23,5 | 24,1 | 9 | 9 | 8 | 7 | 7 |
| 24/05/2018 | 22,3 | 23,0 | 22,8 | 22,6 | 22,4 | 8 | 7 | 8 | 7 | 8 |
| 28/05/2018 | 25,5 | 24,5 | 25,1 | 28,2 | 26,2 | 9 | 7 | 9 | 7 | 7 |
| 31/05/2018 | 24,5 | 23,7 | 24,7 | 25,5 | 25,0 | 9 | 7 | 9 | 7 | 7 |
| 04/06/2018 | 21,5 | 21,6 | 21,8 | 22,2 | 22,0 | 8 | 6 | 8 | 7 | 7 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 42-3: Verificación de temperatura y humedad de la pila 3

| Fecha de verificación | Puntos de medición de temperatura | | | | | Puntos de medición de humedad | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10/03/2018 | 53,2 | 52,1 | 64,4 | 54,2 | 51,0 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 12/03/2018 | 53,2 | 52,3 | 56,5 | 51,4 | 53,6 | 9 | 8 | 8 | 9 | 9 |

| | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|---|---|---|---|---|
| 15/03/2018 | 43,8 | 43,9 | 46,1 | 40,2 | 41,8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 19/03/2018 | 43,4 | 42,8 | 45,2 | 39,7 | 41,6 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 22/03/2018 | 31,0 | 26,8 | 30,3 | 32,3 | 29,5 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| 26/03/2018 | 28,0 | 24,2 | 25,7 | 26,3 | 27,0 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 |
| 29/03/2018 | 58,5 | 61,2 | 65,3 | 63,9 | 62,1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 02/04/2018 | 41,4 | 44,6 | 48,8 | 48,7 | 47,5 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 |
| 05/04/2018 | 33,0 | 36,6 | 39,1 | 40,3 | 40,1 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 |
| 09/04/2018 | 30,2 | 33,2 | 33,2 | 33,7 | 34,5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 12/04/2018 | 26,2 | 27,5 | 28,2 | 28,3 | 27,0 | 7 | 8 | 7 | 8 | 7 |
| 16/04/2018 | 21,3 | 22,6 | 21,0 | 21,5 | 21,8 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 |
| 19/04/2018 | 37,7 | 38,0 | 38,5 | 43,2 | 44,0 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 |
| 23/04/2018 | 42,5 | 41,2 | 43,7 | 44,9 | 38,3 | 9 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| 26/04/2018 | 37,4 | 36,0 | 37,0 | 42,5 | 40,0 | 9 | 8 | 8 | 9 | 9 |
| 30/04/2018 | 27,0 | 26,4 | 27,5 | 26,8 | 28,1 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 03/05/2018 | 22,6 | 22,3 | 23,5 | 24,2 | 23,0 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 |
| 07/05/2018 | 20,9 | 20,7 | 22,0 | 22,1 | 22,0 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 |
| 10/05/2018 | 25,4 | 30,8 | 33,5 | 30,2 | 31,6 | 7 | 8 | 9 | 8 | 8 |
| 14/05/2018 | 30,8 | 31,5 | 32,2 | 34,0 | 33,2 | 7 | 7 | 9 | 9 | 9 |
| 17/05/2018 | 25,3 | 27,6 | 26,9 | 25,2 | 27,3 | 9 | 9 | 9 | 8 | 9 |
| 21/05/2018 | 25,5 | 24,5 | 25,0 | 26,8 | 25,0 | 9 | 9 | 9 | 8 | 9 |
| 24/05/2018 | 21,9 | 22,9 | 23,0 | 22,5 | 22,0 | 8 | 9 | 9 | 8 | 8 |
| 28/05/2018 | 20,1 | 21,9 | 22,0 | 21,8 | 21,6 | 7 | 9 | 9 | 8 | 8 |
| 31/05/2018 | 19,5 | 21,6 | 21,2 | 21,4 | 21,3 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 04/06/2018 | 19,5 | 19,7 | 19,6 | 19,7 | 20,1 | 6 | 7 | 7 | 7 | 8 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 43-3: Promedio de la temperatura de los ensayos experimentales

| Fechas | Medición | Compostaje pasivo con aireación forzada | | | Compostaje de pilas con volteo | | |
|------------|----------|---|---------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------|
| | | Biodig. 1 C. Ruminal | Biodig. 2 C.R:2 - C :1 | Biodig. 3 C.R:4 - C:1 | Pila 1 C. Ruminal | Pila 2 C.R:2 - C :1 | Pila 3 C.R:4 - C:1 |
| 10/03/2018 | 1 | 45,2 | 52,3 | 38,8 | 58,7 | 59,1 | 55,0 |
| 12/03/2018 | 2 | 42,5 | 44,7 | 44,0 | 54,3 | 57,9 | 53,4 |
| 15/03/2018 | 3 | 42,8 | 36,7 | 46,7 | 46,3 | 54,9 | 43,2 |
| 19/03/2018 | 4 | 37,2 | 32,5 | 41,5 | 54,3 | 57,9 | 42,5 |
| 22/03/2018 | 5 | 34,8 | 32,8 | 37,8 | 32,1 | 39,2 | 30,0 |
| 26/03/2018 | 6 | 31,1 | 28,2 | 33,4 | 29,7 | 32,5 | 26,2 |
| 29/03/2018 | 7 | 33,7 | 36,0 | 38,6 | 52,6 | 67,0 | 62,2 |
| 02/04/2018 | 8 | 37,9 | 44,5 | 41,5 | 49,4 | 53,0 | 46,2 |
| 05/04/2018 | 9 | 41,9 | 48,0 | 45,2 | 43,4 | 43,5 | 37,8 |
| 09/04/2018 | 10 | 44,9 | 50,4 | 48,0 | 34,2 | 36,1 | 33,0 |
| 12/04/2018 | 11 | 33,9 | 50,4 | 48,0 | 36,2 | 26,5 | 27,4 |
| 16/04/2018 | 12 | 23,4 | 24,3 | 26,1 | 26,9 | 20,9 | 21,6 |
| 19/04/2018 | 13 | 32,8 | 31,1 | 30,9 | 22,8 | 36,9 | 40,3 |

| | | | | | | | |
|------------|----|------|------|------|------|------|------|
| 23/04/2018 | 14 | 24,2 | 25,4 | 26,3 | 32,7 | 49,0 | 42,1 |
| 26/04/2018 | 15 | 22,2 | 23,5 | 25,0 | 22,5 | 44,7 | 38,6 |
| 30/04/2018 | 16 | 22,2 | 23,5 | 26,8 | 19,6 | 30,6 | 27,2 |
| 03/05/2018 | 17 | 29,3 | 28,6 | 29,8 | 19,6 | 24,3 | 23,1 |
| 07/05/2018 | 18 | 25,1 | 23,6 | 24,8 | 19,8 | 21,7 | 21,5 |
| 10/05/2018 | 19 | 23,0 | 22,8 | 26,1 | 23,7 | 26,0 | 30,3 |
| 14/05/2018 | 20 | 21,3 | 20,6 | 22,5 | 26,6 | 29,8 | 32,3 |
| 17/05/2018 | 21 | 21,3 | 20,6 | 22,5 | 22,6 | 26,4 | 26,5 |
| 21/05/2018 | 22 | 20,1 | 19,6 | 20,5 | 19,8 | 23,8 | 25,4 |
| 24/05/2018 | 23 | 21,4 | 19,4 | 21,4 | 20,1 | 22,6 | 22,5 |
| 28/05/2018 | 24 | 19,7 | 20,4 | 22,8 | 25,9 | 21,5 | 21,5 |
| 31/05/2018 | 25 | 18,7 | 19,5 | 21,3 | 24,7 | 21,0 | 21,0 |
| 04/06/2018 | 26 | 17,6 | 18,2 | 19,2 | 21,8 | 19,7 | 19,7 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Tabla 44-3: Promedio de humedad de los ensayos experimentales

| Fechas | N° | Compostaje pasivo con aireación forzada | | | Compostaje de pilas con volteo | | |
|------------|----|---|-------------|-------------|--------------------------------|--------------|-------------|
| | | Biodig. 1 | Biodig. 2 | Biodig. 3 | Pila 1 | Pila 2 | Pila 3 |
| | | C. Ruminal | C.R:2 - C:1 | C.R:4 - C:1 | C. Ruminal | C.R:2 - C :1 | C.R:4 - C:1 |
| 10/03/2018 | 1 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 9,0 | 8,8 | 9,0 |
| 12/03/2018 | 2 | 8,6 | 8,6 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,6 |
| 15/03/2018 | 3 | 8,6 | 8,4 | 8,6 | 8,2 | 8,6 | 8,0 |
| 19/03/2018 | 4 | 8,0 | 8,4 | 8,4 | 8,2 | 8,6 | 7,8 |
| 22/03/2018 | 5 | 8,2 | 8,2 | 8,4 | 7,8 | 8,2 | 7,4 |
| 26/03/2018 | 6 | 7,8 | 8,2 | 8,0 | 7,6 | 7,8 | 7,2 |
| 29/03/2018 | 7 | 7,8 | 8,0 | 8,0 | 7,4 | 7,8 | 7,0 |
| 02/04/2018 | 8 | 7,8 | 8,0 | 8,0 | 7,4 | 7,6 | 7,6 |
| 05/04/2018 | 9 | 7,8 | 8,0 | 8,0 | 7,0 | 7,4 | 7,8 |
| 09/04/2018 | 10 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 6,8 | 7,0 | 8,0 |
| 12/04/2018 | 11 | 7,8 | 7,6 | 7,6 | 8,0 | 7,0 | 7,4 |
| 16/04/2018 | 12 | 7,6 | 7,6 | 7,4 | 8,0 | 7,4 | 7,2 |
| 19/04/2018 | 13 | 7,2 | 7,4 | 7,4 | 8,0 | 8,6 | 8,2 |
| 23/04/2018 | 14 | 7,4 | 7,4 | 7,4 | 8,2 | 8,8 | 8,4 |
| 26/04/2018 | 15 | 6,6 | 7,2 | 7,2 | 8,2 | 9,0 | 8,6 |
| 30/04/2018 | 16 | 6,4 | 6,6 | 7,0 | 8,4 | 9,0 | 8,2 |
| 03/05/2018 | 17 | 7,2 | 6,6 | 7,4 | 7,8 | 8,6 | 7,4 |
| 07/05/2018 | 18 | 7,8 | 6,8 | 7,4 | 7,2 | 8,4 | 7,4 |
| 10/05/2018 | 19 | 7,8 | 7,6 | 7,8 | 7,2 | 8,2 | 8,0 |
| 14/05/2018 | 20 | 7,8 | 7,6 | 8,0 | 7,4 | 7,6 | 8,2 |
| 17/05/2018 | 21 | 7,6 | 7,4 | 8,0 | 7,8 | 7,4 | 8,8 |
| 21/05/2018 | 22 | 7,2 | 7,8 | 8,0 | 7,8 | 8,0 | 8,4 |
| 24/05/2018 | 23 | 7,2 | 8,0 | 7,6 | 7,6 | 7,6 | 8,2 |
| 28/05/2018 | 24 | 7,2 | 7,8 | 7,6 | 7,4 | 7,8 | 7,0 |
| 31/05/2018 | 25 | 7,2 | 7,2 | 7,4 | 7,4 | 7,8 | 7,0 |
| 04/06/2018 | 26 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,2 | 7,2 | 7,0 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Aireación

El tiempo que se insufló aire fue de 30 minutos a cada biodigestor en las siguientes fechas.

Tabla 45-3: Insuflación de aire a los biodigestores

| N° | Fecha | Tiempo de que se insufló aire a los biodigestores (min) |
|----|------------|---|
| 1 | 26/03/2018 | 30 |
| 2 | 29/03/2018 | 30 |
| 3 | 02/04/2018 | 30 |
| 4 | 05/04/2018 | 30 |
| 5 | 09/04/2018 | 30 |
| 6 | 12/04/2018 | 30 |
| 7 | 16/04/2018 | 30 |
| 8 | 19/04/2018 | 30 |
| 9 | 23/04/2018 | 30 |
| 10 | 26/04/2018 | 30 |
| 11 | 30/04/2018 | 30 |
| 12 | 03/05/2018 | 30 |
| 13 | 07/05/2018 | 30 |
| 14 | 10/05/2018 | 30 |
| 15 | 14/05/2018 | 30 |
| 16 | 17/05/2018 | 30 |
| 17 | 21/05/2018 | 30 |
| 18 | 24/05/2018 | 30 |
| 19 | 28/05/2018 | 30 |
| 20 | 31/05/2018 | 30 |
| 21 | 04/06/2018 | 30 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Por los ascensos y descensos de temperatura en las pilas se realizaron volteos en las fechas:

Tabla 46-3: Volteos de las pilas

| Número de volteo | Fecha de volteo | Pila |
|------------------|-----------------|--------------|
| Primer volteo | 26/03/2018 | Pila 1, 2, 3 |
| Segundo volteo | 16/04/2018 | Pila 1, 2, 3 |
| Tercer volteo | 07/05/2018 | Pila 1, 2, 3 |
| Cuarto volteo | 21/05/2018 | Pila 1, 2, 3 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Conductividad eléctrica

Tabla 47-3: Conductividad eléctrica (dS/m)

| Ensayo experimental | Muestra inicial | Muestra final |
|--|-----------------|---------------|
| Compostaje pasivo con ventilación forzada | | |
| Biodigestor 1 | 2,61 | 3,35 |
| Biodigestor 2 | 3,09 | 3,36 |
| Biodigestor 3 | 3,22 | 2,70 |
| Compostaje en pilas con volteo | | |
| Pila 1 | 2,61 | 3,22 |
| Pila 2 | 3,09 | 2,20 |
| Pila 3 | 3,22 | 3,38 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

pH

Tabla 48-3: pH

| Ensayo experimental | Muestra inicial | Muestra final |
|--|-----------------|---------------|
| Compostaje pasivo con ventilación forzada | | |
| Ensayo experimental | | |
| Muestra inicial | | |
| Muestra final | | |
| Biodigestor 1 | 6,49 | 6,50 |
| Biodigestor 2 | 6,75 | 7,10 |
| Biodigestor 3 | 6,95 | 6,81 |
| Compostaje en pilas con volteo | | |
| Pila 1 | 6,49 | 6,70 |
| Pila 2 | 6,75 | 7,30 |
| Pila 3 | 6,95 | 6,94 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Índice de germinación

Tabla 449-3: Índice de germinación

| FORMULACIÓN | MUESTRA INICIAL | | | | | | | | | BLANCO CON AGUA DESTILADA | | | | | | | | | MUESTRA FINAL | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|--------------------------|----|----|----|----|----|----|---|---------------------------|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|---------------------|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| | Semillas germinadas | Longitud de la raíz (mm) | | | | | | | | Semillas germinadas | Longitud de la raíz (mm) | | | | | | | | Semillas germinadas | Longitud de la raíz (mm) | | | | | | | |
| Biodigestor 1 (primera) | 5 | 15 | 13 | 11 | 14 | 9 | 12 | 8 | 9 | 7 | 12 | 14 | 13 | 10 | 11 | 14 | 13 | 11 | 4 | 13 | 14 | 12 | 19 | 17 | 21 | 18 | 21 |
| Biodigestor 1 (segunda) | 5 | 12 | 9 | 12 | 9 | 8 | 11 | 13 | 8 | 7 | 10 | 11 | 12 | 9 | 10 | 14 | 10 | 11 | 4 | 15 | 14 | 13 | 14 | 16 | 15 | 15 | 14 |
| Biodigestor 2 (primera) | 6 | 13 | 10 | 8 | 10 | 9 | 7 | 8 | 7 | 7 | 12 | 14 | 13 | 10 | 11 | 14 | 13 | 11 | 4 | 16 | 18 | 16 | 17 | 16 | 18 | 19 | 17 |
| Biodigestor 2 (segunda) | 4 | 15 | 8 | 8 | 16 | 9 | 14 | 11 | 7 | 6 | 10 | 11 | 12 | 9 | 10 | 14 | 10 | 11 | 3 | 18 | 17 | 18 | 16 | 17 | 16 | 15 | 17 |
| Biodigestor 3 (primera) | 5 | 9 | 10 | 11 | 10 | 9 | 16 | 16 | 8 | 7 | 12 | 14 | 13 | 10 | 11 | 14 | 13 | 11 | 4 | 16 | 15 | 17 | 17 | 14 | 16 | 14 | 18 |
| Biodigestor 3 (segunda) | 4 | 11 | 16 | 16 | 12 | 14 | 9 | 8 | 9 | 7 | 10 | 11 | 12 | 9 | 10 | 14 | 10 | 11 | 4 | 15 | 15 | 15 | 16 | 13 | 16 | 14 | 16 |
| Pila 1 (primera) | 5 | 15 | 13 | 11 | 14 | 9 | 12 | 8 | 9 | 7 | 12 | 14 | 13 | 10 | 11 | 14 | 13 | 11 | 4 | 17 | 19 | 15 | 18 | 19 | 15 | 14 | 14 |
| Pila 1 (segunda) | 5 | 12 | 9 | 12 | 9 | 8 | 11 | 13 | 8 | 7 | 10 | 11 | 12 | 9 | 10 | 14 | 10 | 11 | 4 | 14 | 15 | 16 | 15 | 16 | 14 | 16 | 15 |
| Pila 2 (primera) | 6 | 13 | 10 | 8 | 10 | 9 | 7 | 8 | 7 | 7 | 12 | 14 | 13 | 10 | 11 | 14 | 13 | 11 | 4 | 17 | 18 | 13 | 14 | 18 | 19 | 16 | 20 |
| Pila 2 (segunda) | 4 | 15 | 8 | 8 | 16 | 9 | 14 | 11 | 7 | 6 | 10 | 11 | 12 | 9 | 10 | 14 | 10 | 11 | 3 | 20 | 18 | 19 | 17 | 16 | 17 | 18 | 21 |
| Pila 3 (primera) | 5 | 9 | 10 | 11 | 10 | 9 | 16 | 16 | 8 | 7 | 12 | 14 | 13 | 10 | 11 | 14 | 13 | 11 | 4 | 14 | 16 | 19 | 13 | 14 | 13 | 19 | 17 |
| Pila 3 (segunda) | 4 | 11 | 16 | 16 | 12 | 14 | 9 | 8 | 9 | 7 | 10 | 11 | 12 | 9 | 10 | 14 | 10 | 11 | 4 | 15 | 13 | 13 | 14 | 13 | 15 | 17 | 20 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

3.5. Resultados

Parámetros iniciales analizados al contenido ruminal no separado

Tabla 50-3: Parámetros iniciales analizados del Contenido ruminal no separado

| Parámetro analizado | Resultados de la muestra del Contenido ruminal no separado | Método | Unidad |
|--|--|---------------------|--------|
| Nitrógeno total (NT) | 1,924 | Dumas | % |
| Fósforo (P ₂ O ₅) | 0,7220 | Colorimétrico | % |
| Potasio (K ₂ O) | 0,4977 | Absorción atómica | % |
| Materia orgánica (MO) | 87,73 | Gravimétrico | % |
| Carbono | 47,6793 | Relación matemática | % |
| Humedad | 95,9707 | Gravimétrico | % |

Fuente: Laboratorio de Calidad de Fertilizantes de Agrocalidad, 2017. (Análisis del contenido ruminal no separado)
Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Parámetros iniciales analizados a las materias primas

Tabla 51-3: Parámetros iniciales analizados a las materias primas

| Parámetro analizado | Resultados de las muestras | | Método | Unidad |
|--|----------------------------|---------|---------------------|--------|
| | Contenido ruminal separado | Césped | | |
| Humedad | 67,19 | 15,63 | Gravimétrico | % |
| Ceniza | ----- | 13,5 | Gravimétrico | % |
| Materia orgánica (MO) | 79,95 | 86,5 | Gravimétrico | % |
| Carbono | 43,4510 | 47,0108 | Relación matemática | % |
| Nitrógeno total (NT) | 1,99 | 2,07 | Dumas | % |
| Fósforo (P ₂ O ₅) | 1,8615 | 0,19 | Colorimétrico | % |
| Potasio (K ₂ O) | 0,0757 | 2,62 | Absorción atómica | % |
| Calcio | ----- | 0,52 | Absorción atómica | % |
| Magnesio | ----- | 0,39 | Absorción atómica | % |
| Hierro | ----- | 249,88 | Absorción atómica | % |
| Manganeso | ----- | 26,65 | Absorción atómica | mg/Kg |
| Cobre | ----- | 9,35 | Absorción atómica | mg/Kg |
| Zinc | ----- | 51,09 | Absorción atómica | mg/Kg |

Fuente: Laboratorio de Calidad de Fertilizantes de Agrocalidad, 2018. (Análisis del contenido ruminal separado y análisis del césped)
Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Parámetros analizados finales en el compost (producto) de los ensayos experimentales

Tabla 52-3: Resultados de las formulaciones

| Parámetro analizado | Biodigestor 1 | Biodigestor 2 | Biodigestor 3 | Pila 1 | Pila 2 | Pila 3 | Método | Unidad |
|--|---------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|---------------------|--------|
| Nitrógeno total (NT) | 3,21 | 3,01 | 3,29 | 3,09 | 3,46 | 3,12 | Dumas | % |
| Fósforo (P ₂ O ₅) | 2,6466 | 2,0012 | 2,3357 | 2,3340 | 2,3287 | 2,1166 | Colorimétrico | % |
| Potasio (K ₂ O) | 0,3948 | 1,3648 | 1,1969 | 0,2709 | 1,1213 | 1,0868 | Absorción atómica | % |
| Materia orgánica (MO) | 69,58 | 67,81 | 69,59 | 69,66 | 69,72 | 68,61 | Gravimétrico | % |
| Carbono | 37,81 | 36,85 | 37,82 | 38,03 | 37,89 | 37,28 | Relación matemática | % |

Fuente: Laboratorio de Calidad de Fertilizantes de Agrocalidad, 2018 (Reportes finales de los ensayos experimentales)

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Balance de masa para los porcentajes de la descomposición orgánica de cada ensayo experimental

Tabla 53-3: Resultados del balance de masa para los porcentajes de la descomposición orgánica

| Ensayo experimental | Porcentaje de nitrógeno | Porcentaje de fósforo | Porcentaje de potasio | Porcentaje de materia orgánica | Porcentaje de agua |
|--|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------|
| Compostaje pasivo con ventilación forzada | | | | | |
| Biodigestor 1 | 0,981 | 1,1 | 0,19 | 89,05 | 73,49 |
| Biodigestor 2 | 5,09 | 2,11 | 11,04 | 90,04 | 79,44 |
| Biodigestor 3 | 3,47 | 1,73 | 4,49 | 81,99 | 81,61 |
| Compostaje en pilas con volteo | | | | | |
| Pila 1 | 5,00 | 1,77 | 5,06 | 85,30 | 79,78 |
| Pila 2 | 4,75 | 1,73 | 4,52 | 83,89 | 81,61 |
| Pila 3 | 5,91 | 1,91 | 5,89 | 90,23 | 89,97 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Balance de energía para el flujo másico de aire a la entrada de los biodigestores

Tabla 54-3: Resultados del balance de energía para el flujo másico y volumétrico de aire a la salida de los biodigestores

| Ensayo experimental | Flujo másico (Kg/min) | Flujo volumétrico (m ³ /min) |
|---------------------|-----------------------|---|
| Biodigestor 1 | 0,0392 | 0,0368 |
| Biodigestor 2 | 0,0205 | 0,0192 |
| Biodigestor 3 | 0,0331 | 0,0311 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Relación Carbono - Nitrógeno inicial y final

Tabla 55-3: Relación Carbono – Nitrógeno inicial y final de los ensayos experimentales

| Ensayos experimentales | Relación C/N inicial | Relación C/N final |
|--|----------------------|--------------------|
| Compostaje pasivo con aireación forzada | | |
| Biodigestor 1 | 21,83 | 11,78 |
| Biodigestor 2 | 22,33 | 12,24 |
| Biodigestor 3 | 22,18 | 11,49 |
| Compostaje en pilas con volteo | | |
| Pila 1 | 21,83 | 12,30 |
| Pila 2 | 22,33 | 10,95 |
| Pila 3 | 22,18 | 11,94 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Índice de germinación

Tabla 56-3: Resultados del índice de germinación

| Ensayo experimental | Repeticiones | INICIAL | | | | FINAL | | | |
|---------------------|--------------|---------|---------|--------|----------|---------|---------|--------|----------|
| | | GRS (%) | GRR (%) | IG (%) | Promedio | GRS (%) | GRR (%) | IG (%) | Promedio |
| Biodigestor 1 | 1 | 71,4 | 92,9 | 66,3 | 66,8 | 57,1 | 137,8 | 78,7 | 77,5 |
| Biodigestor 1 | 2 | 71,4 | 94,3 | 67,3 | | 57,1 | 133,3 | 76,2 | |
| Biodigestor 2 | 1 | 85,7 | 73,5 | 63,0 | 65,2 | 57,1 | 139,8 | 79,9 | 78,4 |
| Biodigestor 2 | 2 | 66,7 | 101,1 | 67,4 | | 50,0 | 154,0 | 77,0 | |
| Biodigestor 3 | 1 | 71,4 | 90,8 | 64,9 | 63,6 | 57,1 | 129,6 | 74,1 | 76,4 |
| Biodigestor 3 | 2 | 57,1 | 109,2 | 62,4 | | 57,1 | 137,9 | 78,8 | |
| Pila 1 | 1 | 71,4 | 92,9 | 66,3 | 66,8 | 57,1 | 133,7 | 76,4 | 77,9 |
| Pila 1 | 2 | 71,4 | 94,3 | 67,3 | | 57,1 | 139,1 | 79,5 | |
| Pila 2 | 1 | 85,7 | 73,5 | 63,0 | 65,2 | 57,1 | 137,8 | 78,7 | 81,3 |
| Pila 2 | 2 | 66,7 | 101,1 | 67,4 | | 50,0 | 167,8 | 83,9 | |
| Pila 3 | 1 | 71,4 | 90,8 | 64,9 | 63,6 | 57,1 | 127,6 | 72,9 | 75,9 |
| Pila 3 | 2 | 57,1 | 109,2 | 62,4 | | 57,1 | 137,9 | 78,8 | |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Rendimiento de los ensayos experimentales

Tabla 57-3: Resultados del rendimiento de los ensayos experimentales

| Ensayo experimental | Rendimiento (%) |
|--|-----------------|
| Compostaje pasivo con aireación forzada | |
| Biodigestor 1 | 45,40 |
| Biodigestor 2 | 48,88 |
| Biodigestor 3 | 54,00 |
| Compostaje de pilas con volteo | |
| Pila 1 | 49,44 |
| Pila 2 | 53,73 |
| Pila 3 | 66,41 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

3.6. Análisis de variables

Temperatura

Tabla 58-3: Resumen del análisis estadístico ADEVA de temperatura de acuerdo a (Tukey > 0,05)

| Medición | Compostaje pasivo con aireación forzada | | | | | | Compostaje en pilas con volteo | | | | | | E.E. | Prob. |
|----------|---|---|------------|---|-----------|---|--------------------------------|---|-----------|---|-----------|---|------|-------|
| | Biod. 1 | | Biod. 2 | | Biod. 3 | | Pila 1 | | Pila 2 | | Pila 3 | | | |
| T (°C) | C. R. | | C.R:2-C :1 | | C.R:4-C:1 | | C. R. | | C.R:2-C:1 | | C.R:4-C:1 | | | |
| 1 | 45,18 | a | 52,28 | a | 38,82 | a | 58,70 | a | 59,12 | a | 54,98 | a | 0,94 | 0,10 |
| 2 | 42,48 | a | 44,74 | a | 44,04 | a | 54,32 | a | 57,90 | a | 53,40 | a | 0,76 | 0,53 |
| 3 | 42,83 | c | 36,66 | d | 46,66 | b | 46,28 | b | 54,86 | a | 43,16 | c | 0,56 | 0,00 |
| 4 | 37,18 | d | 32,48 | e | 41,54 | c | 54,32 | b | 57,90 | a | 42,54 | c | 0,65 | 0,00 |
| 5 | 34,78 | c | 31,44 | d | 37,84 | b | 32,14 | c | 39,16 | a | 29,98 | d | 0,50 | 0,00 |
| 6 | 31,08 | b | 28,24 | c | 33,36 | a | 29,68 | c | 32,46 | a | 26,24 | d | 0,34 | 0,00 |
| 7 | 33,72 | c | 36,04 | c | 38,60 | c | 52,62 | b | 67,04 | a | 62,20 | b | 0,32 | 0,00 |
| 8 | 37,90 | d | 44,50 | c | 41,54 | c | 49,36 | b | 52,98 | a | 46,20 | b | 0,36 | 0,00 |
| 9 | 41,88 | d | 47,96 | a | 45,18 | b | 43,38 | c | 43,46 | c | 37,82 | e | 0,38 | 0,00 |
| 10 | 44,92 | b | 50,42 | a | 48,00 | a | 34,18 | c | 36,06 | c | 32,96 | d | 0,33 | 0,02 |
| 11 | 33,90 | c | 50,42 | a | 48,00 | b | 36,18 | c | 26,48 | d | 27,44 | d | 0,19 | 0,00 |
| 12 | 23,42 | b | 24,28 | b | 26,10 | a | 26,86 | a | 20,92 | c | 21,64 | c | 0,15 | 0,00 |
| 13 | 32,82 | c | 31,08 | c | 30,88 | c | 22,78 | d | 36,90 | b | 40,28 | a | 0,44 | 0,00 |
| 14 | 24,16 | d | 25,38 | d | 26,34 | d | 32,66 | c | 49,02 | a | 42,12 | b | 0,24 | 0,00 |
| 15 | 22,22 | c | 23,50 | c | 24,96 | c | 22,48 | c | 44,66 | a | 38,58 | b | 0,29 | 0,00 |
| 16 | 22,22 | c | 23,50 | c | 26,76 | b | 19,56 | c | 30,60 | a | 27,16 | b | 0,15 | 0,00 |
| 17 | 29,30 | a | 28,62 | a | 29,82 | a | 19,64 | c | 24,26 | b | 23,12 | b | 0,13 | 0,00 |
| 18 | 25,14 | a | 23,62 | b | 24,82 | a | 19,78 | d | 21,74 | c | 21,54 | c | 0,08 | 0,00 |
| 19 | 23,00 | c | 22,76 | c | 26,08 | b | 23,74 | c | 26,00 | b | 30,30 | a | 0,27 | 0,02 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|------|------|
| 20 | 21,34 | c | 20,56 | c | 22,52 | c | 26,56 | b | 29,76 | a | 32,34 | a | 0,14 | 0,00 |
| 21 | 21,34 | c | 20,56 | c | 22,52 | b | 22,56 | b | 26,36 | a | 26,46 | a | 0,14 | 0,00 |
| 22 | 20,08 | c | 19,60 | d | 20,50 | c | 19,84 | d | 23,76 | a | 22,46 | b | 0,06 | 0,00 |
| 23 | 21,38 | b | 19,44 | c | 21,42 | b | 20,06 | c | 22,62 | a | 21,48 | b | 0,08 | 0,00 |
| 24 | 21,78 | b | 19,92 | c | 20,38 | c | 22,84 | b | 25,90 | a | 25,36 | a | 0,16 | 0,00 |
| 25 | 21,78 | c | 19,92 | d | 20,38 | d | 21,30 | c | 24,68 | a | 22,66 | b | 0,10 | 0,00 |
| 26 | 21,78 | a | 19,92 | c | 20,38 | b | 19,16 | c | 21,82 | a | 19,72 | c | 0,06 | 0,00 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Se analizó las mediciones de temperatura de los dos métodos empleados de compostaje de las seis formulaciones mediante ADEVA que es un modelo de análisis de varianza para variables polinomiales. Teniendo en cuenta la separación de medias según Tukey $> 0,05$ (Análisis vertical) que se observa con la agrupación de letras en la tabla 3-58, donde la letra “a” tiene mayor valor con respecto a las demás, es por eso que el análisis se hace con referencia a la agrupación de esta letra ya que sus valores registraron la mayor temperatura.

A partir de la medición número 1 a la 8 de la pila 2, en la medición 9 a la 11 el biodigestor 2, en la 12 el biodigestor 3 y la pila 1, en la 13 la pila 3, en 14 a la 16 la pila 2, en la 17 y 18 el biodigestor 3, en la 19 a la 21 la pila 3, y en la 22 a la 26 la pila 2, están agrupados con la letra “a” es decir registran temperaturas altas que difieren significativamente del resto de formulaciones según cada medición. Siendo el compostaje en pilas los que registran la mayoría de temperaturas altas, esto por la cantidad de materia orgánica compostada y su forma cónica que almacena mejor la temperatura, además la aireación es mucho mayor con referencia al compostaje que realizado en los biodigestores; dentro del método en pilas, la mejor es la pila 2 con una formulación C.R:2-C:1.

Según la columna Prob. (Probabilidad), la mayoría de valores son de 0,00 y en el punto 10 es de 0,02, es decir la confianza que la temperatura se de en estos puntos de medición es alta, menos en el punto 1 y 2 que sus valores de probabilidad superan 0,05 y según este parámetro su valor debe ser menor a 0,05 para que exista la certeza que ocurra.

Humedad

Tabla 59-3: Resumen del análisis estadístico ADEVA de humedad de acuerdo a (Tukey $> 0,05$)

| Medición | Compostaje pasivo con aireación forzada | | | | | | Compostaje en pilas con volteo | | | | | | E.E | Prob |
|----------|---|---|---------|---|---------|---|--------------------------------|---|--------|---|--------|---|------|------|
| | Biod. 1 | | Biod. 2 | | Biod. 3 | | Pila 1 | | Pila 2 | | Pila 3 | | | |
| 1 | 8,80 | a | 8,80 | a | 8,80 | a | 9,00 | a | 8,80 | a | 9,00 | a | 0,07 | 0,78 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|---|------|---|------|---|------|---|------|------|------|---|------|------|
| 2 | 8,60 | a | 8,60 | a | 8,80 | a | 8,80 | a | 8,80 | a | 8,60 | a | 0,10 | 0,59 |
| 3 | 8,60 | a | 8,40 | a | 8,60 | a | 8,20 | a | 8,60 | a | 8,00 | a | 0,11 | 0,27 |
| 4 | 8,00 | a | 8,40 | a | 8,40 | a | 8,20 | a | 8,60 | a | 7,80 | a | 0,09 | 0,11 |
| 5 | 8,20 | a | 8,20 | a | 8,40 | a | 7,80 | a | 8,20 | a | 7,40 | a | 0,13 | 0,23 |
| 6 | 7,80 | a | 8,20 | a | 8,00 | a | 7,60 | a | 7,80 | a | 7,20 | a | 0,15 | 0,68 |
| 7 | 7,80 | a | 8,00 | a | 8,00 | a | 7,40 | a | 7,80 | a | 7,00 | a | 0,12 | 0,32 |
| 8 | 7,80 | a | 8,00 | a | 8,00 | a | 7,40 | a | 7,60 | a | 7,60 | a | 0,12 | 0,00 |
| 9 | 7,80 | a | 8,00 | a | 8,00 | a | 7,00 | a | 7,40 | a | 7,80 | a | 0,13 | 0,60 |
| 10 | 8,00 | a | 8,00 | a | 8,00 | a | 6,80 | b | 7,00 | a, b | 8,00 | a | 0,11 | 0,04 |
| 11 | 7,80 | a | 7,60 | a | 7,60 | a | 8,00 | a | 7,00 | a | 7,40 | a | 0,10 | 0,24 |
| 12 | 7,60 | a | 7,60 | a | 7,40 | a | 8,00 | a | 7,40 | a | 7,20 | a | 0,11 | 0,40 |
| 13 | 7,20 | a | 7,40 | a | 7,40 | a | 8,00 | a | 8,60 | a | 8,20 | a | 0,14 | 0,75 |
| 14 | 7,40 | a | 7,40 | a | 7,40 | a | 8,20 | a | 8,80 | a | 8,40 | a | 0,12 | 0,52 |
| 15 | 6,60 | a | 7,20 | a | 7,20 | a | 8,20 | a | 9,00 | a | 8,60 | a | 0,09 | 0,61 |
| 16 | 6,40 | a | 6,60 | a | 7,00 | a | 8,40 | a | 9,00 | a | 8,20 | a | 0,10 | 0,05 |
| 17 | 7,20 | d | 6,60 | e | 7,40 | c | 7,80 | b | 8,60 | a | 7,40 | c | 0,13 | 0,01 |
| 18 | 7,80 | b | 6,80 | e | 7,40 | c | 7,20 | d | 8,40 | a | 7,40 | c | 0,13 | 0,00 |
| 19 | 7,80 | a | 7,60 | a | 7,80 | a | 7,20 | a | 8,20 | a | 8,00 | a | 0,10 | 0,05 |
| 20 | 7,80 | a | 7,60 | a | 8,00 | a | 7,40 | a | 7,60 | a | 8,20 | a | 0,15 | 0,66 |
| 21 | 7,60 | a | 7,40 | a | 8,00 | a | 7,80 | a | 7,40 | a | 8,80 | a | 0,14 | 0,41 |
| 22 | 7,20 | a | 7,80 | a | 8,00 | a | 7,80 | a | 8,00 | a | 8,80 | a | 0,15 | 0,66 |
| 23 | 7,20 | a | 8,00 | a | 7,60 | a | 7,60 | a | 7,60 | a | 8,40 | a | 0,11 | 0,07 |
| 24 | 7,20 | a | 7,80 | a | 7,60 | a | 7,40 | a | 7,80 | a | 8,20 | a | 0,14 | 0,62 |
| 23 | 7,20 | a | 7,20 | a | 7,40 | a | 7,40 | a | 7,80 | a | 7,00 | a | 0,15 | 0,32 |
| 24 | 7,00 | a | 7,00 | a | 7,00 | a | 7,20 | a | 7,20 | a | 7,00 | a | 0,15 | 0,94 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Las mediciones de humedad al igual que la temperatura se analizó mediante ADEVA y de acuerdo a la separación de medias según (Tukey > 0,05) que se observa con la agrupación de letras en la tabla 3-59, donde la letra “a” se repite en la mayoría de valores siendo los más altos, esto se debe a que humedad están en un rango promedio de 6,40 - 9,00 en la mayoría de las formulaciones, valores que no poseen una gran diferencia como es el caso de la temperatura que tiene ascensos y descensos bien diferenciados; si esto ocurriera en la humedad (valor bajo-seco y valor alto-húmedo) no favorecería la actividad microbiana. Por consiguiente, no difieren significativamente entre los puntos de medición, es decir todos son iguales.

Según la columna Prob. (Probabilidad), la mayoría de valores superan 0,05 es decir la confianza que la humedad se de en estos puntos de medición es menor, menos en el punto 10, 17 y 18 que sus valores de probabilidad son menores 0,05, y al igual que Tukey no existe diferencia significativamente entre los puntos de medición, es decir todos son iguales.

Conductividad eléctrica

Tabla -60-3: Prueba de Chi-Cuadrado de las muestras iniciales y finales para la conductividad eléctrica

| Comparación Inicio vs Final (dS/m) | | | | | |
|------------------------------------|---------------|-----------------------|---------------------|-----------|-------|
| Ensayo experimental | Formulaciones | Conductividad Inicial | Conductividad Final | Chi Cuad. | Sign. |
| Biodigestor 1 | C. Ruminant | 261,00 | 322,00 | 11,56 | ** |
| Biodigestor 2 | C.R 2 - C :1 | 309,00 | 220,00 | 36,00 | ** |
| Biodigestor 3 | C.R:4 - C:1 | 322,00 | 338,00 | 0,76 | Ns |
| Pila 1 | C. Ruminant | 261,00 | 335,00 | 16,35 | ** |
| Pila 2 | C.R:2 - C :1 | 309,00 | 336,00 | 2,17 | Ns |
| Pila 3 | C.R:4 - C:1 | 322,00 | 270,00 | 10,01 | ** |
| Chi 0,05,1 | 3,84 | | | | |
| Chi 0,01,1 | 6,63 | | | | |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

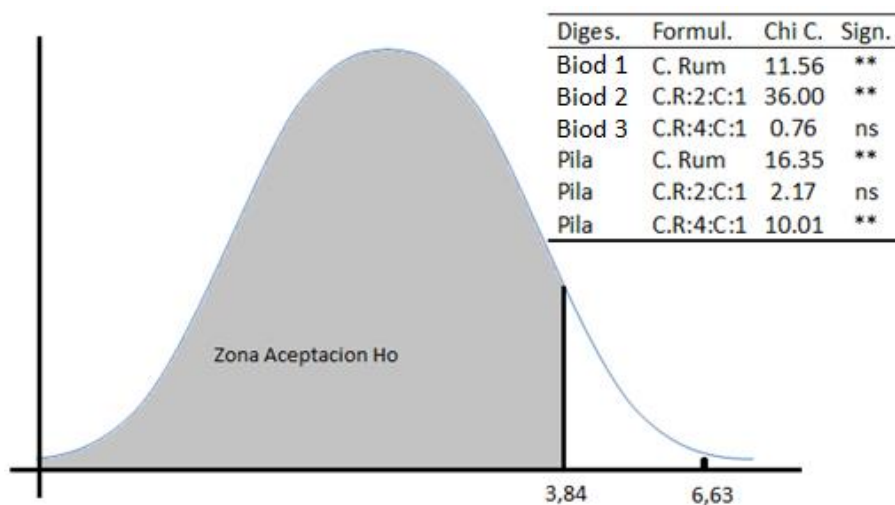


Gráfico 1-3: Prueba de Chi Cuadrado de las muestras iniciales y finales para la conductividad eléctrica

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

La Prueba de Chi-Cuadrado se utilizó para verificar la diferencia que existe entre la conductividad eléctrica inicial y final de las formulaciones, donde la CE del biodigestor 3 y la pila 2 no tienen diferencias significativas, es decir, su resultado es menor a 3,84 de acuerdo con el método estadístico empleado (gráfico 3-1) y se consideran iguales; la CE de las formulaciones restantes poseen diferencias significativas (se verifica en la tabla 3-60) es decir sus resultados son mayores a 3,84.

pH

Tabla 61-3: Prueba de Chi Cuadrado de las muestras iniciales y finales para el pH

| Comparación Inicio vs Final | | | | | |
|-----------------------------|---------------|------------|----------|-----------|-------|
| Ensayo experimental | Formulaciones | pH Inicial | pH Final | Chi Cuad. | Sign. |
| Biodigestor 1 | C. Ruminal | 6,49 | 6,70 | 0,00658 | Ns |
| Biodigestor 2 | C.R:2 - C :1 | 6,75 | 7,30 | 0,04144 | Ns |
| Biodigestor 3 | C.R:4 - C:1 | 6,95 | 6,94 | 0,00001 | Ns |
| Pila 1 | C. Ruminal | 6,49 | 6,50 | 0,00002 | Ns |
| Pila 2 | C.R:2 - C :1 | 6,75 | 7,10 | 0,01725 | Ns |
| Pila 3 | C.R:4 - C:1 | 6,95 | 6,81 | 0,00288 | Ns |
| Chi 0,05,1 | 3,84 | | | | |
| Chi 0,01,1 | 6,63 | | | | |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

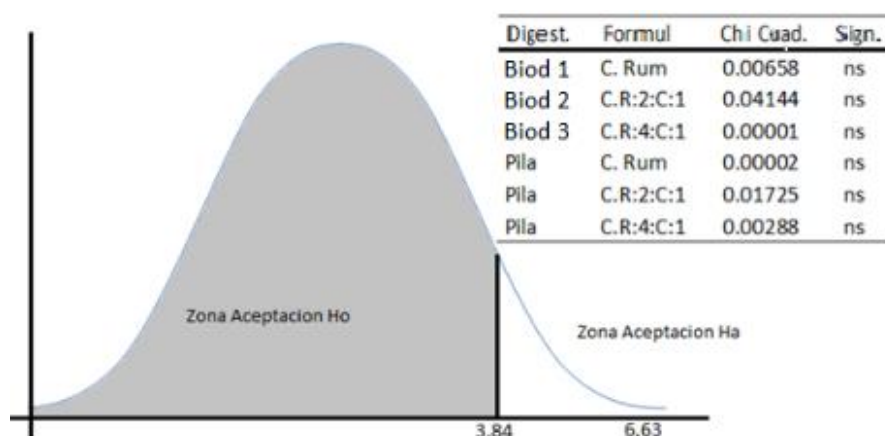


Gráfico 2-3: Prueba de Chi Cuadrado de las muestras iniciales y finales para el pH

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Según el método estadístico Chi-Cuadrado para el pH inicial y final no existen diferencias significativas, ya que sus valores deben ser mayores 3,84 para tener una diferencia (gráfico 3-2), por lo que se consideran a todos iguales. Se puede utilizar cualquier formulación de acuerdo a este parámetro.

Índice de germinación

Tabla 62-3: Repeticiones de las muestras del índice de germinación

| Métodos (A) | Formulación (B) | Etapa (C) | Repeticiones | |
|---------------|-----------------|-----------|--------------|-------|
| | | | I | II |
| Biodigestor 1 | C. Ruminal | Inicial | 66,33 | 67,32 |

| | | | | |
|---------------|--------------|---------|-------|-------|
| Biodigestor 2 | C.R:2 - C :1 | Inicial | 62,97 | 67,43 |
| Biodigestor 3 | C.R:4 - C:1 | Inicial | 64,87 | 62,40 |
| Pila 1 | C. Ruminal | Inicial | 66,33 | 67,32 |
| Pila 2 | C.R:2 - C :1 | Inicial | 62,97 | 67,43 |
| Pila 3 | C.R:4 - C:1 | Inicial | 64,87 | 62,40 |
| Biodigestor 1 | C. Ruminal | Final | 78,72 | 76,19 |
| Biodigestor 2 | C.R:2 - C :1 | Final | 79,88 | 77,01 |
| Biodigestor 3 | C.R:4 - C:1 | Final | 74,05 | 78,82 |
| Pila 1 | C. Ruminal | Final | 76,38 | 79,47 |
| Pila 2 | C.R:2 - C :1 | Final | 78,72 | 83,91 |
| Pila 3 | C.R:4 - C:1 | Final | 72,89 | 78,82 |

Realizado por: Jenny Barragán

Tabla 63-3: Resumen del análisis estadístico ADEVA del índice de germinación de acuerdo a (Tukey > 0,05)

| Variables | Etapa | | | | E.E. | Prob. |
|-----------|---------|--|--------|--|------|-------------|
| | Inicial | Separación de medias Tukey (P < 0,05) | Final | Separación de medias Tukey (P < 0,05) | | |
| GRS (%) | 70,63 | a | 55,95 | b | 2,39 | 0,000504872 |
| GRR (%) | 93,62 | b | 139,69 | a | 4,31 | 0,000001155 |
| IG (%) | 65,22 | b | 77,91 | a | 0,76 | 0,000000003 |

Realizado por: Jenny Barragán

El índice de germinación de las seis formulaciones de los dos métodos de compostaje se analizó mediante ADEVA de acuerdo a la etapa inicial y final. Teniendo en cuenta la separación de medias según (Tukey > 0,05) se observa los valores mayores con la letra “a” en comparación a “b”, teniendo en cuenta esto: la Germinación relativa de las semillas (GRS) mayor en la etapa inicial, el Crecimiento relativo de la radícula (GRR) al igual que índice de germinación (IG) es mayor en la etapa final (tabla 3-63).

En la columna Prob. (Probabilidad), todos los valores son menores a 0,05 es decir la confianza de los porcentajes de GRS, GRR e IG ocurra es alta, es decir si existe diferencia significativa.

3.7. Análisis de costos

Costos de los materiales utilizados en el proyecto

Tabla 64-3: Costos de materiales utilizados en el proyecto

| RUBRO/DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (\$) | PRECIO GLOBAL (\$) |
|---|----------|-------------------------|--------------------|
| Compresor de aire de potencia de 1,5 KW y flujo volumétrico 205 L/min | 1 | 205 | 205 |
| Tanque de polietileno de 120 litros | 3 | 20 | 60 |
| Resistencia calentadora (Alambre de Níquel - Cromo) de 200W | 1 | 2 | 2 |
| Caja térmica | 1 | 15 | 15 |
| Tubo de poliuretano 1500 mm con diámetro de 10 mm | 1 | 1 | 1,5 |
| Cañería para la conducción de aire 800 mm con diámetro de 5,76 mm | 1 | 3 | 3 |
| Ladrillo refractario para hornos 1550 °C | 1 | 1,5 | 1,5 |
| Soporte para el tanque de polietileno | 3 | 15 | 45 |
| Acople rápido aire a macho NPTF con diámetro 6,35 mm | 2 | 2 | 4 |
| Acople de distribución de aire 3 vías con rosca macho | 1 | 3 | 3 |
| Tela inoxidable 2000 mm N° 9 con luz de malla 2,387 mm | 1 | 4 | 4 |
| Alambre AWG N° 16 | 1 | 2 | 2 |
| Enchufe | 1 | 1 | 1 |
| Termómetro digital marca Hanna Modelo HI145-30 en forma de T, con sonda de 300 mm | 1 | 1 | 70 |
| Higrómetro digital 3 en 1 humedad, pH y luz | 1 | 1 | 48 |
| Costos de análisis iniciales | 2 | 1 | 103 |
| Costos de análisis finales | 6 | 56 | 336 |
| Costos de análisis intermedios | 3 | 20 | 20 |
| Transporte del contenido ruminal | 1 | 15 | 15 |
| Gastos adicionales | 1 | 40 | 40 |
| Transporte | 1 | 50 | 50 |
| Costo total | | | 762 |

Realizado por: Jenny Barragán

Consumo energético usado en el proyecto

El costo del consumo energético que realiza la Resistencia calentadora (Alambre Níquel - Cromo) y el compresor usados para calentar el aire por día que se insufló a los biodigestores, teniendo en cuenta que permanecieron encendidos 30 minutos por biodigestor y en total 1 hora con 30 minutos por los 3 biodigestores al día, los costos por el consumo de energía se detallan en:

Tabla 65-3: Consumo energético

| Equipo | Potencia (KW) | Tiempo de consumo (h) | Consumo por biodigestor (KWdía) | Consumo por los 3 biodigestores (KWdía) | Consumo energético (KWmes) | Consumo energético (KWaño) |
|--|---------------|-----------------------|---------------------------------|---|----------------------------|----------------------------|
| Resistencia calentadora (Alambre Níquel - Cromo) | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,75 | 6,75 | 67,5 |
| Compresor | 1,5 | 0,5 | 0,75 | 2,25 | 20,25 | 202,5 |
| CONSUMO TOTAL | | | | | 27 | 270 |

Realizado por: Jenny Barragán

Costo del consumo energético

Tabla 66-3: Costo del consumo energético

| Equipo | Potencia (KW) | Tiempo de consumo (h) | Costo por Kw para sector industrial (\$) | Costo energético por biodigestor día (\$) | Costo energético por los 3 biodigestores día (\$) | Costo energético KWmes (\$) | Costo energético KWaño (\$) |
|--|---------------|-----------------------|--|---|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Resistencia calentadora (Alambre Níquel - Cromo) | 0,50 | 0,50 | 0,09 | 0,02 | 0,07 | 0,61 | 6,05 |
| Compresor | 1,50 | 0,50 | 0,09 | 0,07 | 0,20 | 1,82 | 18,16 |
| COSTO TOTAL | | | | | | 2,43 | 24,21 |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

3.8. Cronograma del proyecto

Tabla 67-3: Cronograma de las actividades realizadas

| TIEMPO ACTIVIDADES | MES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|--|--|--|--|
| | 1° | | | | 2° | | | | 3° | | | | 4° | | | | 5° | | | | 6° | | | | | | | |
| | SEMANAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
| Revisión bibliográfica. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Recopilación de información. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Recolección y muestreo de materias primas. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización físico-química de materias primas. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Construcción del sistema de compostaje con aireación forzada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pruebas de la ingeniería del proyecto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instalación del proyecto. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Verificación de variables durante el proceso. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización físico-química final de compost | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Elaboración y corrección de borradores | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Redacción del trabajo final | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Empastado y presentación del trabajo final | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Auditoría Académica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Defensa del trabajo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

3.9. Análisis y discusión de resultados

- La caracterización del contenido ruminal se realizó a dos muestras, la primera al contenido ruminal no separado y la segunda al contenido ruminal separado.

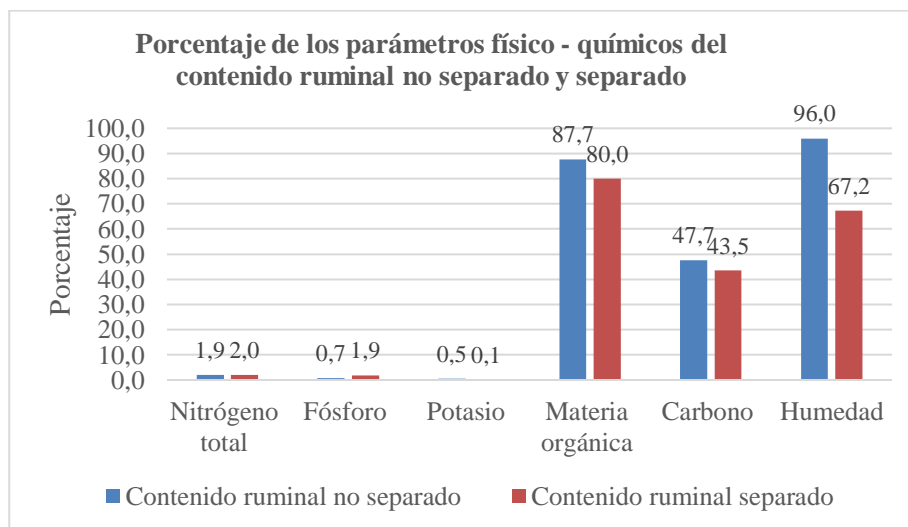


Gráfico 3-3: Resultados físico - químicos del contenido ruminal no separado y separado

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Los valores de potasio y materia orgánica, carbono y humedad disminuyen, el de fósforo se concentra y el de nitrógeno total aumenta en el contenido ruminal separado que difiere con el no separado. Las dos muestras fueron analizadas en los Laboratorios de Agrocalidad según los procedimientos de: Determinación de nitrógeno en fertilizantes por medio de combustión (método de Dumas), Determinación de fósforo total (proveniente de fosfatos) en fertilizantes inorgánicos por método del Colorímetro, Determinación de potasio en muestras de fertilizantes líquidos y sólido método por el método Absorción atómica, y Determinación de cenizas y materia orgánica en muestras de fertilizantes sólidas por el método gravimétrico, respectivamente. Los valores de Carbono se obtuvieron mediante una relación matemática dividiendo el porcentaje de Materia orgánica a 1,84 y por último la humedad por el método gravimétrico de secado por estufa. La diferencia entre los valores del mismo parámetro se debe a que el contenido ruminal no separado que es extraído de las cavidades ruminales es almacenado y mezclado con cierta cantidad de restos propios del faenamiento en cisternas en donde se fermenta generando cambios en su composición, que después circula por el separador el cual tiene un tornillo sin fin que extrae el exceso de humedad de 96,0 % a 67,2 % valor que es apto para el proceso de compostaje que según (Proietti et al., 2016) la humedad óptima para iniciar el proceso es 50 - 70 %.

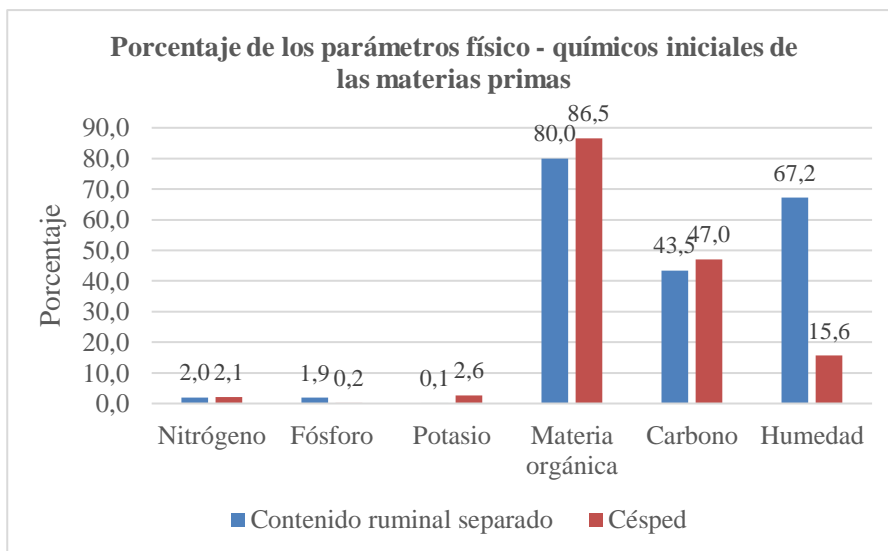


Gráfico 4-3: Porcentaje de los parámetros físico-químicos iniciales de las materias primas

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Los parámetros de nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica, carbono y humedad tanto para el contenido ruminal separado y césped fueron obtenidos por los mismos procedimientos de caracterización descritos en base al gráfico 3-3. La diferencia entre los valores se debe al origen de las materias primas siendo de origen animal el contenido ruminal y el césped de origen vegetal. Estos se utilizaron para el cálculo de la relación C/N inicial y la verificación de su evolución durante el proceso de compostaje de las 3 formulaciones propuestas mediante los métodos de: Compostaje pasivo con aireación forzada y el compostaje en pilas con volteo.

- La evolución de temperatura de los dos sistemas de compostaje se observa en los siguientes gráficos.

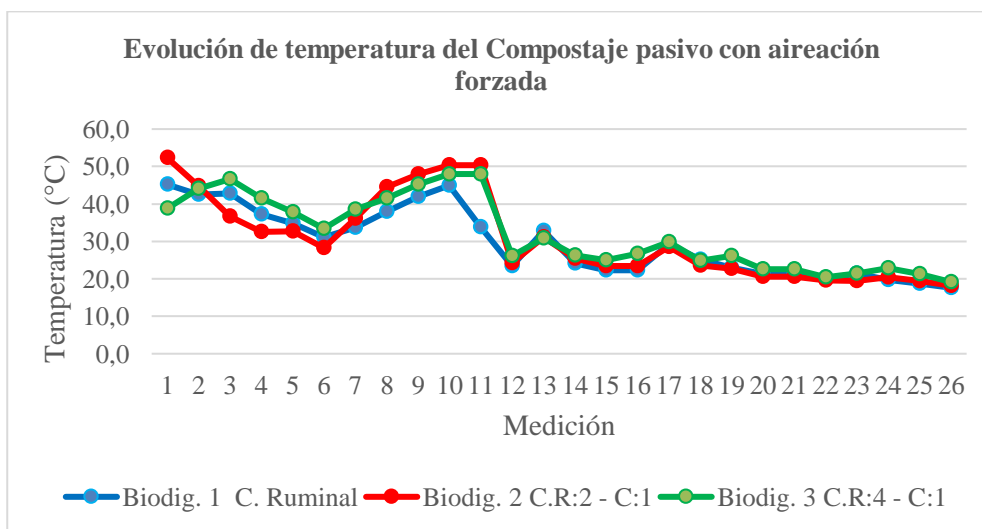


Gráfico 5-3: Evolución de temperatura del compostaje pasivo con aireación forzada

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

Se observa los ascensos y descensos de temperatura gracias al flujo volumétrico de aire insuflado (m^3/min) de: 0,0368, 0,0174, 0,0291 según la cantidad diaria compostada al día (Kg/día) 0,4252, 0,2068, 0,3448 de las formulaciones en los biodigestores 1, 2 y 3 respectivamente. El tiempo que se insufló el aire fue de 30 minutos por biodigestor al día, dos veces a la semana, y a una temperatura de $40\text{ }^\circ\text{C}$ debido a que es la temperatura donde los microorganismos ruminales se desarrollan dentro de las cavidades ruminales de los bovinos (Álvarez). En la evolución de temperatura se verifican 4 curvas no muy diferenciadas; en el biodigestor 1 y 2, se contempla la fase mesófila I desde los puntos 1 al 8 y en el biodigestor 3 del 1 al 9; la fase termófila del biodigestor 1 y 2 en los puntos 9 – 11 ($48 - 50,2\text{ }^\circ\text{C}$) con temperaturas mayores a $45\text{ }^\circ\text{C}$ y el biodigestor 1 únicamente el punto 10 alcanza una temperatura de $45\text{ }^\circ\text{C}$, que de acuerdo con (Román et al., 2013) la temperatura para la higienización del producto debe ser mayor a $45\text{ }^\circ\text{C}$ donde se eliminan parásitos y semillas de malas hierbas. La fase mesófila II se verifica a partir de la medición 12 - 19 en el biodigestor 2 y 3, y de la medición 11 – 19 en el biodigestor 1; desde el número 20 la temperatura de los tres biodigestores se estabiliza en la fase de maduración. En el estudio de (Arias, et al., 2014) “Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica” en la que utilizaron una formulación de RSU con restos de poda, la temperatura inicia con $67,25\text{ }^\circ\text{C}$ y a los 60 días de compostaje con $50\text{ }^\circ\text{C}$ ya que suministraron aire diariamente a la pila por 20 min, además de hacer algunos volteos para que el material perdiera compactación.

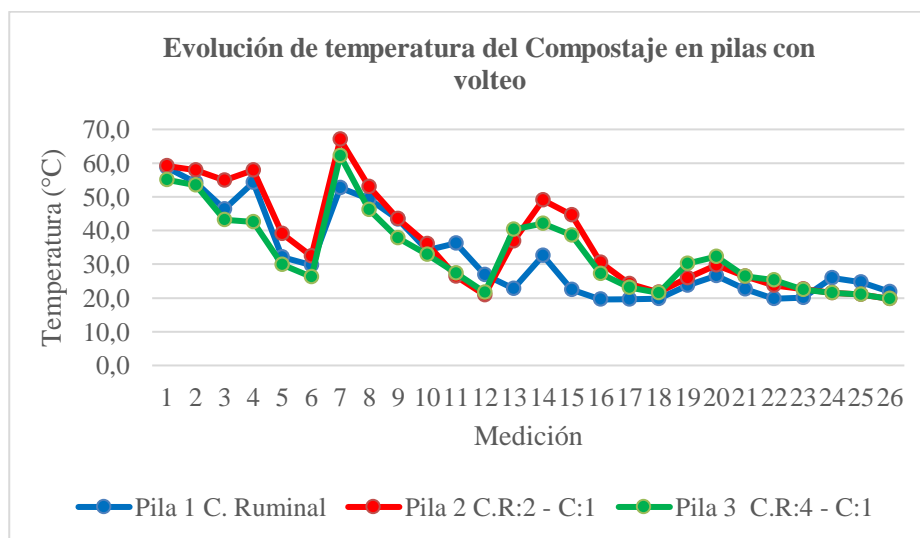


Gráfico 6.3: Evolución de temperatura del Compostaje en pilas con volteo

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

La temperatura es un parámetro importante en la pasteurización de los desechos orgánicos y en la evolución de la descomposición de la materia orgánica, el gráfico 3-6 muestra los

ascensos y descensos de temperatura con 4 curvas de temperatura definidas a diferencia de las curvas del compostaje con aireación forzada. La pila 2 inició el proceso con la temperatura más alta de 59,1 °C y se mantiene hasta la primera curva (medición 4) con 57,9 °C y desciende a 32,5 °C (medición 6) donde se realiza el primer volteo; nuevamente asciende a 67 °C (medición 7) y baja progresivamente a 21,6 °C (medición 12), se realiza el segundo volteo; se eleva a 49 °C (medición 14) y baja a 21,5 °C (medición 18), se realiza el tercer volteo; y por último la temperatura asciende a 29,8 °C en la cuarta curva y desciende a 22,5 °C (medición 22) se realiza el cuarto volteo la temperatura no sube y se estabiliza en la etapa de maduración (Contreras y Molero, 2011). Las temperaturas de higienización son mejores en el compostaje en pilas alcanzando temperaturas 59 - 67 °C a diferencia de las temperaturas del compostaje con aireación forzada de 48,0 - 52,3 °C. Las temperaturas termófilas que llegan a ser mayores a 55 °C eliminan contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden hallar en las materias primas (Román et al., 2013), obteniéndose mejores resultados con referencia a este parámetro la pila 2.

- La evolución de humedad de los dos sistemas de compostaje se puede observar en los siguientes gráficos.

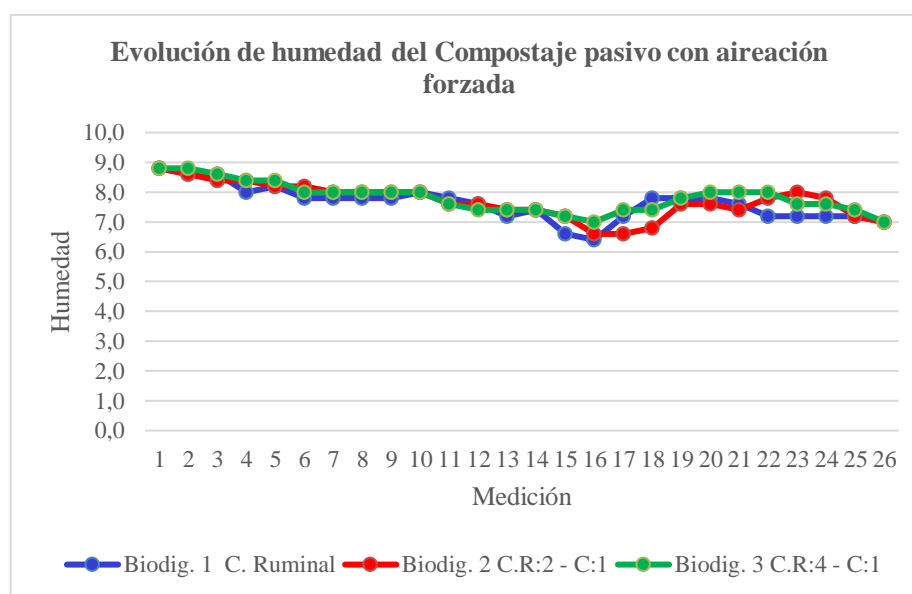


Gráfico 7-3: Evolución de humedad del compostaje pasivo con aireación forzada

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

La humedad fue verificada durante el proceso con un higrómetro digital con una escala 1 – 10, y en el gráfico 7-3 se aprecia que la humedad al inicio de las tres formulaciones es la misma y en su evolución se observan valores de 6,4 - 8,8 con curvas no diferenciadas, esto debido a que el tiempo de aireación suministrado a cada biodigestor es el mismo (30 minutos) dos días

a la semana. Además se añadió poca cantidad de agua durante el proceso de compostaje, ya que al no tener aireación natural la humedad se evapora en menor cantidad; una mejor evaporación de humedad mejoraría con más días de insuflación de aire (Silva y López, 2015). No tienen diferencia de humedad notorias entre los puntos de medición por formulación. En la medición 26 la humedad empieza ser estable para las 3 formulaciones con un valor de 7, que es estable en la maduración del producto (compost) donde la actividad microbiana continua. (Proietti et al., 2016)

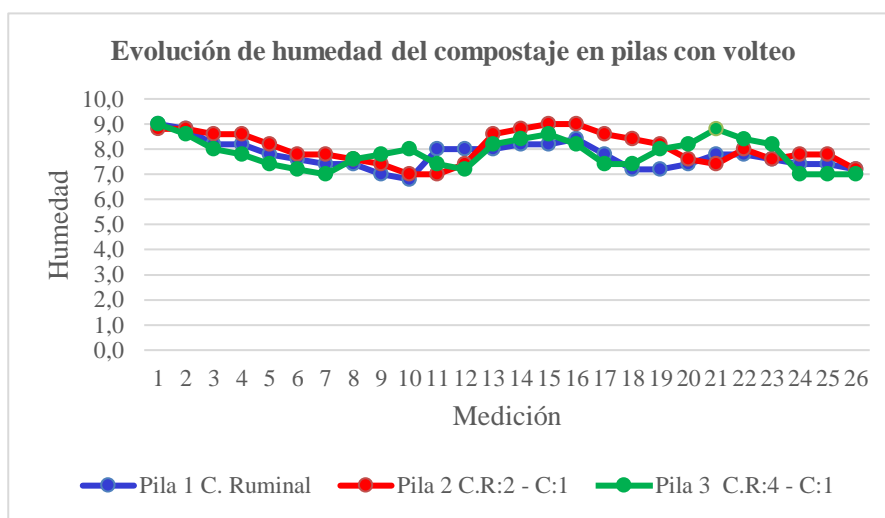


Gráfico 8-3: Evolución de humedad del compostaje en pilas con volteo

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

El gráfico muestra la humedad al inicio en las tres pilas tiene aproximadamente los mismos valores y su evolución entre los puntos de medición tienen ascensos y descensos con humedades entre 7 - 9, esto debido a que se añadió un mayor volumen de agua porque la cantidad de materia orgánica que se compostó fue mayor a la de los biodigestores, además que al estar al ambiente por la cantidad de aire circulante la humedad de las pilas se evapora con más rapidez y con la aireación por medio de volteos periódicos de las pilas. (Sagarpa, 2010)

En la medición 26 la humedad empieza ser estable para las 3 formulaciones con un valor de es de 7 - 7,2 que es un valor estable en la maduración del producto (compost), donde la actividad microbiana continua actuando (Proietti et al., 2016). El control de humedad en las formulaciones de los dos métodos se logró debido a que se realizaron en una instalación bajo techo, lo que permite el control de las condiciones climáticas como las precipitaciones. (Urrutia, 2013)

- El pH del proceso de compostaje según (Robles et al., 2015) debe estar entre 6,5 – 7,5 ligeramente ácido a básico lo que garantiza la evolución de la totalidad de los grupos fisiológicos. El pH de las formulaciones fue obtenido por el método pH-metro, y en el gráfico 3-9 se muestra que el pH permanece estable durante el proceso de compostaje, con un valor inicial de 6,49 a un valor final de 7,3 (valores tomados como referencia para todas las formulaciones). Según la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011, el biodigestor 1 con 6,5 corresponde a Compost tipo B donde establece un pH de 6,5 – 8,0 y las otras formulaciones a un Compost tipo A donde la norma contempla un pH de 6,7 - 7,5. También de acuerdo con (Silva y López, 2015) el pH llega a un valor entre 7 a 8 en el compost maduro.

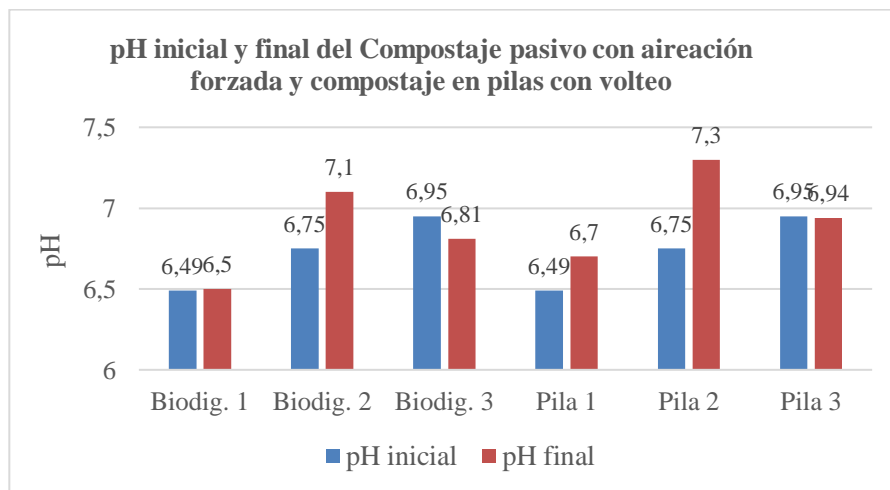


Gráfico 9-3: pH inicial y final del Compostaje pasivo con aireación forzada y compostaje en pilas con volteo

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- La caracterización de la Conductividad eléctrica se realizó por el método potenciométrico y los valores en el gráfico 3-10 de la formulación del biodigestor 3 y la pila 2 disminuye su valor final con respecto al inicial y los valores restantes aumentan. Los valores finales de CE del compost resultante de las formulaciones están en un rango de 2,2 a 3,38 dS/m dentro de lo recomendado de 2 - 4 dS/m según (Oviedo-Ocaña, et al., 2016), además que cumple con lo establecido en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 donde establece que la conductividad eléctrica en compost debe ser menor a 4 dS/m para compost tipo A.

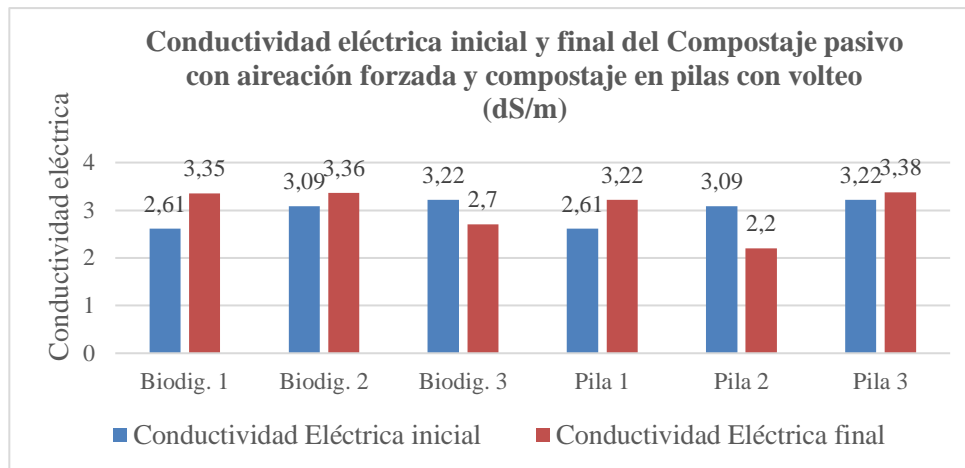


Gráfico 10-3: Conductividad eléctrica inicial y final del Compostaje pasivo con aireación forzada y Compostaje en pilas con volteo

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- Los ensayos de germinación se efectuaron determinando la sensibilidad del rabanito (*Raphanus sativus*) según la técnica propuesta por Zucconi para evaluar los efectos fitotóxicos en un compost inmaduro y como estos actúan inhibiendo la germinación y el crecimiento raíces en las plantas (Varnero, Rojas, et al., 2007). El índice de germinación (IG) inicial de acuerdo con el gráfico 3-10 es 66,8 %, 65,2 % y 63,6 % para las formulaciones 1, 2 y 3 en los dos métodos ya que tienen las mismas formulaciones iniciales. El índice de germinación final es de 77,5 %, 78,4 %, 76,4 % en los biodigestores 1, 2 y 3; y 77,9 %, 81,3 %, 75,9 % para las pilas 1, 2 y 3, teniendo el IG > 80 la pila 2 lo que puede indicarse que no ejerce efectos fitotóxicos en la germinación de las semillas de rábano garantizando que el compost se puede utilizar en los cultivos (Muñoz et al. 2015). El porcentaje de índice de germinación de todas las formulaciones son ≥ 75 % de acuerdo Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 corresponde a un compost tipo B.

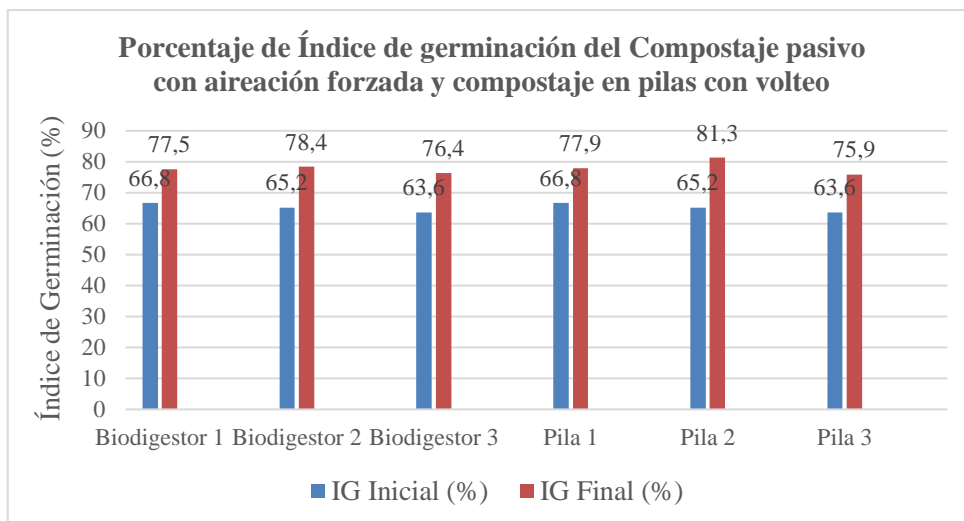


Gráfico 3-9: Porcentaje de Índice de germinación del Compostaje pasivo con aireación forzada y compostaje en pilas con volteo

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- En base a los resultados de los parámetros físico – químicos finales de los macronutrientes NPK, materia orgánica y carbono que se observan en el gráfico 3-13 fueron caracterizados en los Laboratorios de Fertilizantes de Agrocalidad y obtenidos por los mismos métodos que las materias primas. El valor de Nitrógeno total sobrepasa el 3 % y según la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 si cualquier parámetro de NPK excede 3 % debe portar la leyenda “Composta para nutrición vegetal”, la materia orgánica es mayor a 25 % y el compost está catalogado como compost tipo C. En su libro (Nogués et al., 2010) “Energía de la biomasa II. Energías renovables” establece que el 3 % de nitrógeno, 2 % de fósforo, el 0,3 % de potasio y 65 – 80 % de materia orgánica es para un compost de calidad alta, donde los valores de los resultados obtenidos de las formulaciones cumplen con lo establecido.

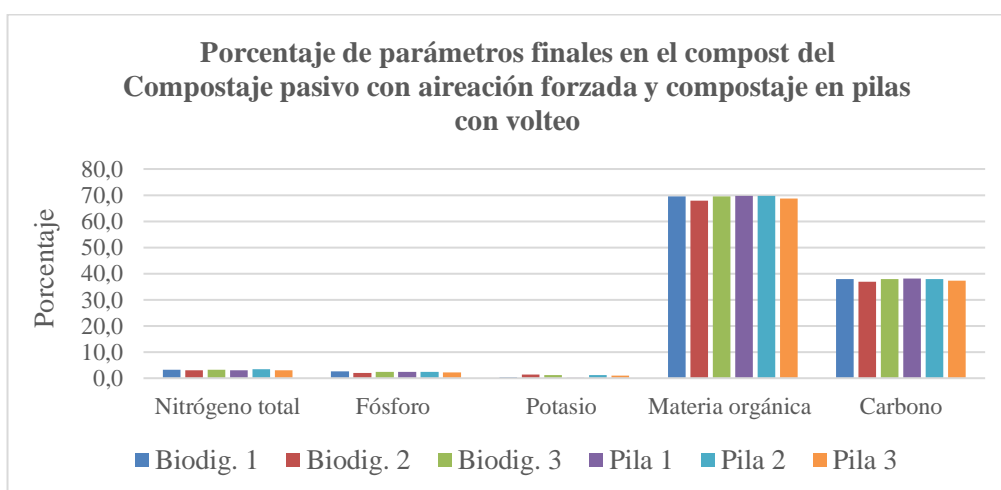


Gráfico 3-10: Porcentaje de los parámetros finales en el compost del Compostaje pasivo con aireación forzada y compostaje en pilas con volteo

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

- La relación Carbono/Nitrógeno inicial y final de los dos métodos de compostaje se observa:

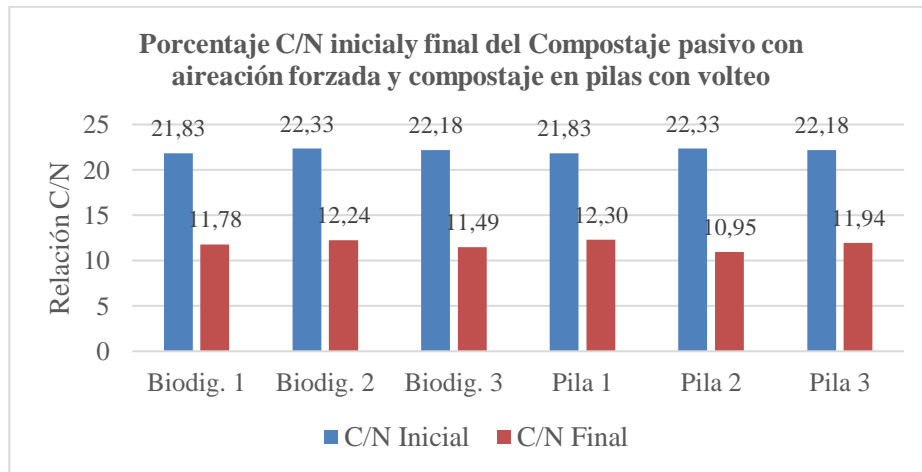


Gráfico 3-11: Porcentaje C/N inicial y final del Compostaje pasivo con aireación forzada y compostaje en pilas con volteo

Realizado por: Jenny Barragán, 2018

La relación C/N fue determinada mediante una relación matemática al dividir el porcentaje de Carbono sobre el de Nitrógeno, la C/N inicial debe estar en un rango de 25 - 35/1 ya que permite la rápida formación de compost y el proceso consiga altas temperaturas indispensables para matar patógenos y semillas de malas hierbas (Contretas y Molero, 2011). En contraste, (Muñoz, et al., 2015) dice que la relación C/N inicial de 20 – 40 es un valor aceptable, lo que coincide con los valores de 21,83, 22,33, y 22,18 para la formulación 1, 2 y 3 de los dos métodos de compostaje. La relación final de los biodigestores y pilas están en un intervalo de 10,95 – 12,30, que están acorde a lo establecido en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 que dice que la relación C/N final debe ser < 15 para un compost Tipo A. Según (Alonso, 2011) es necesario conseguir una relación C/N final de 12 - 15 considerada apta para el suelo, donde, el compost del biodigestor 2 con 12,24 y la pila 1 con 12,30 están dentro de este rango.

CONCLUSIONES

- El contenido ruminal separado de los bovinos fue caracterizado obteniéndose: 1,99 %, 1,8615 %, 0,0757 %, 79,95 %, 43,45 % y 67,19%; al igual que el césped: 2,07 %, 0,19 %, 2,62 %, 47,01 % y 15,63 %, datos que corresponden al porcentaje de nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica, carbono y de humedad de las materias primas.
- Se compostó 3 formulaciones (C.R.), (2C.R:1C) y (4C.R:1C) por el método pasivo con aireación forzada mediante el uso de biodigestores, y se determinó las variables óptimas en el proceso con 50 °C de temperatura, 8 de humedad y 0,0174 m³/min de flujo volumétrico de aire insuflado. La formulación 2 es la mejor por su evolución de temperatura.
- Mediante análisis físico-químicos se verificó la calidad del producto en cuanto a la relación Carbono/nitrógeno con 11,78, 12,24, 11,49, de nutrientes como el nitrógeno total 3,21 %, 3,01 %, 3,29 %, fósforo 2,6466 %, 2,0012 %, 2,3357 %, potasio 0,3948 %, 1,3648 %, 1,1969 %, y el tiempo de compostaje que fue de 87 días, valores correspondientes a la formulación 1, 2 y 3; estos parámetros están en lo establecido por la Norma Mexicana Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 de acuerdo con relación C/N final todos los valores corresponden a un compost tipo A y al valor nutricional NPK debe portar la leyenda “Composta para nutrición vegetal”.
- Se validó el diseño del proceso de obtención de Compost con la comparación de los resultados obtenidos del compostaje de las mismas formulaciones por método de compostaje en pilas con volteo; su relación carbono/nitrógeno fue de: 12,30, 10,95, 11,94, los macronutrientes como el: nitrógeno total 3,09 %, 3,46 %, 3,12 %, fósforo 2,3340 %, 2,3287 %, 2,1166 %, y potasio 0,2709 %, 1,1213 %, 1,0868 % y el tiempo de compostaje fue de 87 días. Los valores descritos están dentro de la Norma a la que se hace referencia, encontrándose que no existen diferencias significativas entre los métodos.

RECOMENDACIONES

- Construir una estructura donde el proceso de compostaje pueda evolucionar adecuadamente, ya que las condiciones climáticas como las precipitaciones pueden afectar al poseer demasiada humedad.
- Dar un mantenimiento continuo al separador de contenido ruminal para no interrumpir el proceso de producción de compost durante el año.
- El proceso de separación se realice cada día y no almacenar por un largo tiempo el contenido ruminal en las cisternas, ya que puede alterar por fermentación los parámetros ideales para el proceso de compostaje.
- Adquirir equipos de verificación de temperatura y humedad como termómetros e higrómetros con sondas alargadas que permitan obtener valores a diferentes profundidades debido a la gran cantidad de residuos orgánicos a compostar.
- Hacer pilas con un peso mínimo de media tonelada y lo más alta posible para mantener la temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

- **Agrocalidad**, *Instructivo para toma de muestras de fertilizantes* [en línea]. Quito, 2016. [Consulta: 22 Agosto 2017]. Disponible en: <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliare-aguas/instructivo-muestreo-foliare-laboratorios-agrocalidad.pdf>.
- **Agrocalidad**, *Instructivo para toma de muestras de foliares* [en línea]. Quito, 2016. [Consulta: 14 Agosto 2017]. Disponible en: <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/fertilizantes/instructivo-toma-muestra-fertilizantes-laboratorios-agrocalidad.pdf>.
- **Agrocalidad, Laboratorio de calidad de fertilizantes**. *Análisis del Contenido ruminal no separado*, Quito-Ecuador, 2017.
- **Agrocalidad, Laboratorio de calidad de fertilizantes**. *Análisis del Contenido ruminal separado (líquido - sólido)*, Quito-Ecuador, 2018.
- **Agrocalidad, Laboratorio de calidad de fertilizantes**. *Reportes finales de los ensayos experimentales*, Quito-Ecuador, 2018.
- **Alcolea, M; & González, C**. *Manual de compostaje doméstico* [en línea]. Barcelona, 2000. [Consulta: 22 Octubre 2017]. Disponible en: <http://www.resol.com.br/cartilhas/manual-compostaje-en-casa-barcelona.pdf>
- **Alonso, José**. *Cómo hacer compost : guía para amantes de la jardinería y el medio ambiente* [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2011. [Consulta: 15 Agosto 2017]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=Zx0jXU7aGfUC&printsec=frontcover&dq=como+hacer+compost&hl=es-19&sa=X&ved=0ahUKEwjL_vSpt_7dAhWmtlkKHdgQAr8Q6AEIJAA#v=onepage&q=como%20hacer%20compost&f=false
- **Álvarez, Armando; et al**. *Fisiología animal aplicada* [en línea]. 1° ed. Colombia: Universidad de Antioquia, 2009. [Consulta: 18 octubre 2017]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=vyAj6ngqa0UC&pg=PA28&dq=microorganismos+del+rumen&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjN6JD11ZvXAhUL4yYKHVeyAPQQ6AEIPjAA#v=onepage&q=microorganismos del rumen&f=true](https://books.google.com.ec/books?id=vyAj6ngqa0UC&pg=PA28&dq=microorganismos+del+rumen&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjN6JD11ZvXAhUL4yYKHVeyAPQQ6AEIPjAA#v=onepage&q=microorganismos%20del%20rumen&f=true).

- **Álvarez de la Puente, J.** *Manual de compostaje para la agricultura ecológica*. [en línea], 1º ed. Andalucía-España: Consejería de Agricultura y Pesca, 2014. [Consulta: 20 octubre 2017]. http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4493509%5Cnhttp://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/produccion-ecologica/produccion/boletines/boletin_compostajecompleto.pdf

- **Ansorena, Javier.** *El compost de biorresiduos. Normativa, calidad y aplicaciones*. [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2016. [Consulta: 20 octubre 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=Ni-IDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=que+es+el+compostaje&hl=es-19&sa=X&ved=0ahUKEwIj7MeJuorbAhUJjlkKHW6IDksQ6AEIMDAC#v=onepage&q=que+es+el+compostaje&f=true>

- **Arango, Sergio; et al.** "Análisis fisicoquímico y microbiológico del proceso de co-compostaje a partir de biomasa de leguminosa y ruminaza". *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* [en línea], 2016, (Colombia) volumen 10(2), pp. 345-354. [Consulta: 21 octubre 2017] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5751>

- **Araujo, Omar; & Vergara, Juan.** "Propiedades Físicas y Químicas del Rumen". *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* [en línea], 2007, (Perú) vol. 15(1). pp. 133-140. [Consulta: 21 octubre 2017] Disponible en: <http://www.bioline.org.br/pdf?la07044>.

- **Arias, G; et al.** "Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica". *Universidad y ciencia Cielo* [en línea], 2014, (México) vol. 25(3). pp. 1-5. [Consulta: 23 octubre 2017] Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792009000300005.

- **Barraza, Fernando; et al.** "Calidad fisiológica y energía de germinación de semillas de balsamina (*Momordica charantia* L.)". *Ciencia y Agricultura* [en línea], 2016, (Colombia) vol. 33(331), pp. 43-52. DOI 10.22267/rcia.163301.5. [Consulta: 25 octubre 2017] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163301.5>.

- **Brito, Hannibal; et al.** "Obtención de Compost a Partir de Residuos Sólidos Orgánicos Generados en el Mercado Mayorista Del Cantón Riobamba". *European Scientific Journal* [en línea], 2016, (Ecuador) vol. 12(29), pp. 76-92. ISSN 18577881. DOI 10.19044/esj.2016.v12n29p76. [Consulta: 17 Noviembre 2017] Disponible en: <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/8200/7914>.

- **Brito, U; & Sandoval, C.** "Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta". *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [en línea], 2003, (México) vol. 2(2), pp. 45-63. ISSN: 1870-0462. [Consulta: 29 Noviembre 2017] Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/939/93912118001.pdf>

- **Cantero, José; et al.** "Efectos del compost y lombriabono sobre el crecimiento y rendimiento de berenjena *Solanum melongena* L". *Revista de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2015, (España) vol. 32(2), pp. 56-67. ISSN: 0120-0135. [Consulta: 02 Diciembre 2017] Disponible en: <http://http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/2643>

- **Castells, Xavier; et al.** *Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales* [en línea]. Madrid-España: Díaz de los Santos, 2012. [Consulta: 15 Octubre 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=DPpBMDfVdUC&pg=PA728&dq=sistemas+de+compostaje&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjA47na5sDbAhVys1kKHQ6AAiMQ6AEIPDAE#v=onepage&q&f=true>

- **Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.** *Taller de Abonos Orgánicos* [en línea]. Costa Rica: Meléndez, 2003. [Consulta: 18 Noviembre 2017]. Disponible en: <https://docplayer.es/11977333-Taller-de-abonos-organicos-3-y-4-de-marzo-2003.html>.

- **Chica, A; & Artola, A.** *Ingeniería y aspectos técnicos de la estabilización aeróbica. De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad.* [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2015. [Consulta: 02 Enero 2018]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=mdysBwAAQBAJ&pg=PA31&dq=conductividad+electrica+en+el+compostaje&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwixlZrxuKTbAhWjrVkJHdZ0D6oQ6AEITTAI#v=onepage&q=conductividad+electrica+en+el+compostaje&f=true>.

- **Contreras, A; & Molero, M.** *Ciencia y Tecnología del Medioambiente* [en línea]. Madrid-España: UNED, 2011. [Consulta: 04 Febrero 2018] Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=xtvNPP8X6KAC&pg=PA263&dq=relaci%C3%B3n+carbono+nitr%C3%B3geno&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjKwqDp-tfcAhWCjVkJHYpZBUoQ6AEIVDAJ#v=onepage&q=relaci%C3%B3n%20carbono%20nitr%C3%B3geno&f=true>

- **Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico.** *Frecuencia de cortado de césped.* 2018. Riobamba-Ecuador, 2018.

- **Díaz, Alexey; et al.** *Los microorganismos del rumen y su papel en la fisiología digestiva del rumiante*. [en línea]. La Habana-Cuba: Instituto de Ciencia Animal, 2007. [Consulta: 10 Marzo 2018] Disponible en: <http://monografias.umcc.cu/monos/2008/Agronomia/m082.pdf>.

- **Fernández, L; et al.** *Manual de técnicas de análisis de suelos*. [en línea]. México: Instituto Mexicano del Petróleo, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006. [Consulta: 14 Marzo 2018] Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG008215.pdf>.

- **García, Hugo; et al.** *Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera* [en línea]. Bogotá-Colombia: Corpoica, 2007. [Consulta: 26 Marzo 2018] ISBN 9789588311173. Disponible en: <http://www.panelamonitor.org/documents/519/guia-tecnologica-para-el-manejo-integral-del-siste/>.

- **García, J; et al.** *Residuos agroalimentarios. De Residuo a recurso. El camino hacia la Sostenibilidad* [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa. 2014. [Consulta: 28 Marzo 2018] Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=XL7-CAAQBAJ&pg=PA200&dq=materiales+que+se+pueden+compostar&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjbu5qosLnbAhVO+rFMKHUrcDWk4ChDoAQgvMAI#v=onepage&q=materiales+que+se+pueden+compostar&f=true>.

- **García, Mauricio; & Gomez, Jairo.** *Manejo de la materia orgánica en la Orinoquia*. Bogotá-Colombia: Universidad de Colombia sede Palmira, 2012, pp. 5-10.

- **KALIL, S.P.,** 2007. *Seguimiento del proceso de humificación en compost inoculado*. S.l.: Pontificia Universidad Javeriana.

- **Labrador, Juana.** *Compostaje en agricultura ecológica*. [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa. 2013. [Consulta: 28 Marzo 2018] Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=WUDk-S25hyMC&pg=PA108&dq=Compostaje+en+agricultura+ecol%C3%B3gica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwihptq-3v7dAhUNtlkKHUqUBJQ4FBD0AQhAMAU#v=onepage&q=Compostaje%20en%20agricultura%20ecol%C3%B3gica&f=false>

- **Laich, F.** *El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje* [en línea]. Tenerife-España: Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, 2011. [Consulta: 17 Marzo 2018] Disponible en: <http://biomusa.net/es/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de-compostaje/file>

- **Laich, F.** *Microorganismos del compost y del té de compost* [en línea]. Canarias-España: Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, 2012 [Consulta: 18 Febrero 2018] Disponible en: [ttp://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/01Actualidad/documentos/f_laich_-_microorganismos_del_compost_y_del_te_-_lanzarote_2012.pdf](http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/01Actualidad/documentos/f_laich_-_microorganismos_del_compost_y_del_te_-_lanzarote_2012.pdf)

- **López, M; et al.** *Valorización de la fracción orgánica de residuos municipales: Materia prima, proceso y producto. Residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad* [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2014. [Consulta: 24 Enero 2018]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=RhhNBQAAQBAJ&pg=PA49&dq=cesped+en+el+compostaje&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj-7KC06LjbAhUowFkKHSGcCgIQ6AEIJAA#v=onepage&q=cesped+en+el+compostaje&f=true>.

- **Márquez, P; et al.** *Factores que afectan al proceso de Compostaje.* [en línea]. Sevilla-España: Universidad de Huelva. Facultad de Ciencias Experimentales, 2005. [Consulta: 29 Enero 2018]. Disponible en: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores que afectan al proceso de compostaje.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores+que+afectan+al+proceso+de+compostaje.pdf).

- **Masaguer, A; et al.** *Uso del compost como componente de sustratos para cultivo en contenedor. De Residuo a recurso. El camino hacia la Sostenibilidad.* [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2015. [Consulta: 16 Diciembre 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=G-o9CQAAQBAJ&pg=PA76&dq=cesped+en+el+compostaje&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj-7KC06LjbAhUowFkKHSGcCgIQ6AEIMDAC#v=onepage&q=cesped+en+el+compostaje&f=true>.

- **Méndez, Artemio; et al.** "Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen [en línea], 2018, (México) vol. 9(2), pp. 271-280 [Consulta: 30 Noviembre 2017] Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/939/93912118001.pdf>

- **Moreno, Joaquin; & Moral, Raul.** *Compostaje* [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2008. [Consulta: 20 diciembre 2017]. ISBN 9788484764793. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=APuzwas6rrcC&printsec=frontcover&dq=moreno+casco&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjgh-mAq8DbAhWBrFkKHTfgBEoQ6AEIJAA#v=onepage&q=moreno+casco&f=true>.

- **Moreta, Marco.** Diseño de un secador tipo tunel para la deshidratación de la harina de sangre en el Camal Frigorífico de Riobamba (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. (Riobamba-Ecuador). 2012. pp.8-10. [Consulta: 11 Febrero 2017] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2503/1/96T00183.pdf>

- **Muñoz, Elena; et al.** "Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada con bioensayo de germinación de lechuga". *Terra Latinoamericana* [en línea], 2015, (México) 124(2), pp. 179-185. [Consulta: 11 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v33n2/2395-8030-tl-33-02-00179.pdf>

- **Muñoz, J; et al.** "Sistema de Compostaje y Lombricompostaje aplicado en Residuos Orgánicos de una Galería Municipal". *Suelos Ecuatoriales* [en línea], 2015, 45(2), pp. 72-83. [Consulta: 10 Enero 2018]. http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/20.

- **Naranjo, E.** Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Agronómica. (Ambato-Ecuador). 2013 , pp. 24-72. [Consulta: 27 Febrero 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/5310/1/Tesis-52%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20173.pdf>.

- **Navarro, G; & Navarro S.** *Fertilizantes, Química y Acción* [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2014. [Consulta: 02 Febrero 2018]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=3McUBQAAQBAJ&pg=PA191&dq=sistemas+de+compostaje&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjA47na5sDbAhVys1kKHQ6AAiMQ6AEIQTAF#v=onepage&q=sistemas+de+compostaje&f=true>.

- **Nogués, N; et al.** *Energía de la biomasa II (Energías renovables)* [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2010. ISBN 8415031017. [Consulta: 11 Febrero 2018] Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=bffuDAAAQBAJ&pg=PA191&dq=materiales+compostables&hl=es-19&sa=X&ved=0ahUKEwjHiuWI9LvbAhVsp1kKHXITB7wQ6AEIJAA#v=onepage&q=materiales+compostables&f=true>.

- **NTE INEN 0222.** *Fertilizantes. Determinación del contenido de humedad.* Quito-Ecuador. Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1978.

- **Órgano de Difusión del Gobierno del Distrito Federal.** *Gaceta Oficial Del Distrito Federal*. 2012. México: ISBN 3000112502.

- **Oviedo, R.** Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Ingeniería. Investigación y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. *ScieELO* [en línea], 2016, 18(1), pp. 31-42. [Consulta: 03 Marzo 2018]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=bffuDAAAQBAJ&pg=PA191&dq=materiales+compostables&hl=es-19&sa=X&ved=0ahUKEwjHiuWI9LvbAhVsp1Kkhxi>.

- **Palmero, R.** *Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional en pilas o montones*. [en línea] Tenerife-España, 2010. [Consulta: 10 Marzo 2018]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=bffuDAAAQBAJ&pg=PA191&dq=materiales+compostables&hl=es-19&sa=X&ved=0ahUKEwjHiuWI9LvbAhVsp1kKHXI>.

- **Pascual, R. & Venegas.** La materia orgánica del suelo. Papel de los microorganismos. *Ciencias ambientales*, [en línea], 2010, 5(1), pp. 11. [Consulta: 03 Marzo 2018]. Disponible en: <https://www.ugr.es/~cjl/MO%20en%20suelos.pdf>.

- **Proietti, P; et al.** "Composting optimization: Integrating cost analysis with the physical-chemical properties of materials to be composted". *Elsevier* [en línea], 2016, (Italia) 137(1), pp. 1087-1098. [Consulta: 02 Marzo 2018] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Primo_Proietti/publication/305691475_Composting_optimization_Integrating_cost_analysis_with_the_physical-chemical_properties_of_materials_to_be_composted/links/57a83eac08aee07544c214d9/Composting-optimization-Integrati.

- **Ramírez, R.** *Principios de nutrición de rumiantes*. [en línea] Bloomington-Estados Unidos: Palabrio, 2017, pp. 36-40. [Consulta: 01 Abril 2018] Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=Vv0sDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Principios+de+nutrici%C3%B3n+de+ruminantes.&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiViczywIfeAhWLq1kKHSzZCkkQ6AEIJAA#v=onepage&q=Principios%20de%20nutrici%C3%B3n%20de%20ruminantes.&f=true>.

- **REAL DECRETO 506 SOBRE PRODUCTOS FERTILIZANTES**, 2013. *Boletín oficial del estado*. España.

- **Robles M.** Evaluación de parámetros de temperatura, pH y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad provincial de Leoncio Prado. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Departamentio Académico de Ciencias Ambientales. (Tingo María-Perú). 2015. pp. 20-59. [Consulta: 20 de Marzo 2018] Disponible en: https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/evaluacióndeparámetrosdetemperatura%2cphymedidadparaelp proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residu.

- **Rodriguez, A; et al.** Microbiología Ruminal. *Carata semestral del Colegio de Ciencias Agrícolas y del Fondo prar el Fomenti de la Industria de Peueños Rumiantes en Puerto Rico dirigida a aproductores comerciales.* [En línea], 2008, (Puerto Rico) 3(1), pp. 1-4. [Consulta: 27 de Marzo 2018] Disponible en:

- **Román, P. & Martínez, M.** "Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura". *FAO para América Latina y el Caribe.* [en línea], 2013, (Santiago de Chile) 23(2): ISBN 01679236 (ISSN). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>.

- **Romero, M. & Lozano, T.** *Producción Ecológica Certificada de Hortalizas de Clima Frío* [en línea]. Bogotá-Colombia: Ultracolor LTDA. 2003, pp. 50-63 [Consulta: 1 noviembre 2017]. ISBN 9789589029527. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=wZaghpJoVqsC&pg=PA34&dq=fase+mesoflica&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwj7M_ez53XAhXC1CYKHYYbDCv4Q6AEIOjAE#v=onepage&q=fase mesoflica&f=true.

- **Ruven, E.** *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales.* Madrid-España: SEMARNAT, 2013, pp. 56-75

- **Sagarpa,** *Elaboración de composta.* [en línea]. México: Secretaría de gricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, 2010. [Consulta: 5 marzo 2018]. Disponible en:<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Elaboraci?n de Composta.pdf>.

- **Sánchez, M. & Correa, A.** *Residuos Ganaderos. De Residuo a Recurso. El camino hacia la Sostenibilidad* [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2016. [Consulta: 13 Octubre 2017]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=FUhCDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=compostaje&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjLu_PdpePaAhWBpFkKHd8gBpgQ6AEIMDAC#v=onepage&q=compostaje&f=true.

- **Silva, J; et al.** 2015. "Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje". *Escuela de Ingeniería Recursos Naturales y el Ambiente (EIDENAR)*, [en línea], 2015, (Colombia), 28(4) pp. 1-25. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/compostaje.pdf>.

- **Soliva, M. & Huerta, O.** "Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas". *CENEAM* [en línea], 2004, (España) 34(3), pp. 9. [Consulta: 27 Octubre 2017]. Disponible en: http://mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/articulos_ESAB/Compostaje_lodos.pdf.


- **Soliva, M. & López, M.** "Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso". [en línea], 2004, (España) 23(1), pp. 1-20. [Consulta: 30 Octubre 2017] Disponible en: <http://gidr.gesfer.cat/tractaments/els-principals-tractaments/calidad-compost-lodos.pdf>.

- **Vargas, M; et al.** *Residuos agrícolas. De Residuo a Recurso. El camino hacia la Sostenibilidad*. Madrid-España: Mundi-Prensa. [en línea]. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2014. [Consulta: 01 Noviembre 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=yL3-CAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Residuos+agr%C3%ADcolas.+De+Residuo+a+Recurso.+El+camino+hacia+la+Sostenibilidad.&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjyZvjYfeAhVyuVvKkHUB9Dc0Q6AEIKzAB#v=onepage&q=Residuos%20agr%C3%ADcolas.%20De%20Residuo%20a%20Recurso.%20El%20camino%20hacia%20la%20Sostenibilidad.&f=true>

- **Varnero, M; et al.** "Índices de Fitotoxicidad de residuos orgánicos durante el compostaje". *CENEAM* [en línea], 2007, (Chile) 7(1), pp. 28-37. ISSN 0718-2791. DOI 10.4067/S0718-27912007000100003. [Consulta: 08 Octubre 2017] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912007000100003>.

ANEXOS

ANEXO A: Reporte de análisis del contenido ruminal no separado

| | | |
|---|---|----------------------|
|  AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASESORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO | LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES | PGT/F/09-FO01 |
| | Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845 | Rev. 3 |
| | INFORME DE ANÁLISIS | Hoja 1 de 1 |

Informe número: LN-F-E17-1337
 Fecha emisión informe: 16-10-2017

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: JENNY BARRAGAN

Dirección: Luis Urdaneta y Francisco Rodríguez Teléfono: ---
 Correo Electrónico: jennybarragan37@gmail.com

Provincia: Chimborazo Cantón: Riobamba N° Orden de Trabajo: 06-2017-063
 N° Factura/Documento: 009-001-2905

DATOS DE LA MUESTRA:

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico | Conservación de la muestra: Envase apropiado |
| Lote: --- | Tipo de envase: funda plástica |
| Provincia: Chimborazo | Coordenadas: X: -1.66567 |
| Cantón: Riobamba | Y: -78.5333 |
| Parroquia: --- | Altitud: 2764 |
| Muestreado por: Jenny Barragan | |
| Fecha de muestreo: 22/09/2017 | Fecha de inicio de análisis: 02/10/2017 |
| Fecha de recepción de la muestra: 27/09/2017 | Fecha de finalización de análisis: 16/10/2017 |


RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA | PARÁMETROS ANALIZADOS | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADOS | ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA) |
|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|----------|--------|------------|--------------------------------|
| F171268 | T3 | NT | PEE/F/14 | % | 1.924 | --- |
| | | P ₂ O ₅ * | PEE/F/04 | % | 0.7220 | --- |
| | | K ₂ O* | PEE/F/19 | % | 0.4977 | --- |
| | | MO | PEE/F/09 | % | 87.73 | --- |

*: Resultado obtenido por cálculo
 NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, MO = Materia Orgánica.

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Edison Vega
 Observaciones: Los resultados esta expresados en %p/p


Anexo Gráficos: ---
 Anexo Documentos: ---



AGROCALIDAD

AGENCIA ECUATORIANA DE ASESORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO

Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes



Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

ANEXO B: Reporte de análisis del contenido ruminal separado

| | | |
|--|---|----------------------|
|  AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL TIPO Y ZOOSENIARIO | LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845 | PGT/F/09-FO01 |
| | INFORME DE ANÁLISIS | Rev. 4 |
| | | Hoja 1 de 1 |

Informe número: LN-F-E18-0034
 Fecha emisión informe: 31-01-2018

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: SANTIAGO ISRAEL CAJAS FREIRE

Dirección: Tomás Sevilla y Lizardo Ruiz

Teléfono: 0979309183

Correo Electrónico: jennybarragan37@gmail.com

Provincia: Chimborazo

Cantón: Riobamba

N° Orden de Trabajo: 06-2018-005

N° Factura/Documento: 009-001-3066

DATOS DE LA MUESTRA:

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico | Conservación de la muestra: Envase apropiado |
| Lote: --- | Tipo de envase: funda plástica |
| Provincia: Chimborazo | X: --- |
| Cantón: Riobamba | Coordenadas: Y: --- |
| Parroquia: Maldonado | Altitud: --- |
| Muestreado por: Santiago Cajas | |
| Fecha de muestreo: | Fecha de inicio de análisis: 22/01/2018 |
| Fecha de recepción de la muestra: 17/01/2018 | Fecha de finalización de análisis: 31/01/2018 |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA | PARÁMETROS ANALIZADOS | METODO | UNIDAD | RESULTADOS | ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA) |
|-------------------------------|---------------------------------------|--|----------|--------|------------|--------------------------------|
| F180031 | R1 | NT | PEE/F/14 | % | 1.99 | --- |
| | | ² P ₂ O ₅ | PEE/F/04 | % | 1.8615 | --- |
| | | ² K ₂ O | PEE/F/19 | % | 0.0757 | --- |
| | | MO | PEE/F/09 | % | 79.95 | --- |
| | | Humedad | PEE/F/18 | % | 67.19 | --- |

²: Resultado obtenido por cálculo

NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, MO = Materia Orgánica

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Mayra Quishpe, Ing. Edison Vega.

Observaciones: Los resultados están expresados en % p/p.

Anexo Gráficos: ---

Anexo Documentos: ---



AGROCALIDAD
 AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL TIPO Y ZOOSENIARIO
 Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes



 30-01-2018

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

ANEXO D: Reporte de análisis del biodigestor 1

| | | |
|---|---|----------------------|
|  AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOAGNARIO | LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Telef.: 02-2372-844/2372-845 | PGT/F/09-FO01 |
| | | Rev. 4 |
| | INFORME DE ANÁLISIS | Hoja 1 de 1 |

Informe número: LN-F-18-0547
 Fecha emisión informe: 18-06-2018

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: JENNY BARRAGÁN

Dirección: Francisco Rodríguez y Luis Urdaneta
 Teléfono: 0992644062
 Correo Electrónico: jennybarragan37@gmail.com
 Provincia: Chimborazo Cantón: Riobamba N° Orden de Trabajo: 06-2018-030
 N° Factura/Documento: 4365

DATOS DE LA MUESTRA:

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico | Conservación de la muestra: Envase apropiado |
| Lote: --- | Tipo de envase: Funda plástica |
| Provincia: --- | X: --- |
| Cantón: --- | Coordenadas: Y: --- |
| Parroquia: --- | Altitud: --- |
| Muestreado por: --- | |
| Fecha de muestreo: --- | Fecha de inicio de análisis: 04/06/2018 |
| Fecha de recepción de la muestra: 30/05/2018 | Fecha de finalización de análisis: 18/06/2018 |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA | PARÁMETROS ANALIZADOS | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADOS | ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA) |
|-------------------------------|---------------------------------------|--|-------------|--------|------------|--------------------------------|
| F180520 | T1 | NT | PEE/F/14 | % | 3.21 | --- |
| | | ² P ₂ O ₅ | PEE/F/04 | % | 2.6466 | --- |
| | | ² K ₂ O | PEE/F/19 | % | 0.3948 | --- |
| | | MO | PEE/F/09-10 | % | 69.58 | --- |

¹: Resultado obtenido por cálculo
 NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, MO = Materia Orgánica

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Edison Vega, Ing. Mayra Quishpe.

Observaciones: Los resultados están expresados en % p/p.

Anexo Gráficos: ---

Anexo Documentos: ---



Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes

15 JUN 2018

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.



ANEXO E: Reporte de análisis del biodigestor 2

| | | |
|---|---|----------------------|
|  AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL RÍO Y ZOOAGROPECUARIO | LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Telef.: 02-2372-844/2372-845 | PGT/F/09-FO01 |
| | INFORME DE ANÁLISIS | Rev. 4 |
| | | Hoja 1 de 1 |

Informe número: 1N-F-18-0548
 Fecha emisión informe: 18-06-2018

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: JENNY BARRAGÁN

Dirección: Francisco Rodríguez y Luis Urdaneta Teléfono: 0992644062
 Correo Electrónico: jennybarragan37@gmail.com
 Provincia: Chimborazo Cantón: Riobamba N° Orden de Trabajo: 06-2018-030
 N° Factura/Documento: 4365

DATOS DE LA MUESTRA:

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico | Conservación de la muestra: Envase apropiado |
| Lote: --- | Tipo de envase: Funda plástica |
| Provincia: --- | X: --- |
| Cantón: --- | Coordenadas: Y: --- |
| Parroquia: --- | Altitud: --- |
| Muestreado por: --- | |
| Fecha de muestreo: --- | Fecha de inicio de análisis: 04/06/2018 |
| Fecha de recepción de la muestra: 30/05/2018 | Fecha de finalización de análisis: 18/06/2018 |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA | PARÁMETROS ANALIZADOS | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADOS | ESPECIFICACIÓN (FOHA TÉCNICA) |
|-------------------------------|---------------------------------------|--|-------------|--------|------------|-------------------------------|
| F180521 | TZ | NT | PEE/F/14 | % | 3.01 | --- |
| | | ² P ₂ O ₅ | PEE/F/04 | % | 2.0012 | --- |
| | | ² K ₂ O | PEE/F/19 | % | 1.3648 | --- |
| | | MO | PEE/F/09-10 | % | 67.81 | --- |

¹: Resultado obtenido por cálculo
 NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, MO = Materia Orgánica

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Edison Vega, Ing. Mayra Quishpe.

Observaciones: Los resultados están expresados en % p/p.

Anexo Gráficos: ---
 Anexo Documentos: ---



19 JUN 2018


 Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.



ANEXO F: Reporte de análisis del biodigestor 3

| | | |
|--|---|---------------|
|  AGROCALIDAD <small>AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL RIEGO Y FERTILIZANTES</small> | LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845 | PGT/F/09-FO01 |
| | | Rev. 4 |
| | INFORME DE ANÁLISIS | Hoja 1 de 1 |

Informe número: LN-F-E18-0549
 Fecha emisión informe: 18-06-2018

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: JENNY BARRAGÁN

Dirección: Francisco Rodríguez y Luis Urdaneta

Teléfono: 0992644062

Correo Electrónico: jennybarragan37@gmail.com

Provincia: Chimborazo

Cantón: Riobamba

N° Orden de Trabajo: 06-2018-030

N° Factura/Documento: 4365

DATOS DE LA MUESTRA:

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico | Conservación de la muestra: Envase apropiado |
| Lote: --- | Tipo de envase: Funda plástica |
| Provincia: --- | X: --- |
| Cantón: --- | Coordenadas: Y: --- |
| Parroquia: --- | Altitud: --- |
| Muestreado por: --- | |
| Fecha de muestreo: --- | Fecha de inicio de análisis: 04/06/2018 |
| Fecha de recepción de la muestra: 30/05/2018 | Fecha de finalización de análisis: 18/06/2018 |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA | PARÁMETROS ANALIZADOS | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADOS | ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA) |
|-------------------------------|---------------------------------------|--|-------------|--------|------------|--------------------------------|
| F180522 | T3 | NT | PEE/F/14 | % | 3.29 | --- |
| | | ² P ₂ O ₅ | PEE/F/04 | % | 2.3357 | --- |
| | | ² K ₂ O | PEE/F/19 | % | 1.1969 | --- |
| | | MO | PEE/F/09-10 | % | 69.59 | --- |

²: Resultado obtenido por cálculo

NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, MO = Materia Orgánica

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Edison Vega, Ing. Mayra Quishpe.

Observaciones: Los resultados están expresados en % p/p.

Anexo Gráficos: ---

Anexo Documentos: ---


 Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes


 18 JUN 2018

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

ANEXO G: Reporte de análisis de la pila 1

| | | |
|--|---|----------------------|
|  AGROCALIDAD <small>AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL RÍO Y ECOLÓGICO</small> | LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Telef.: 02-2372-844/2372-845 | PGT/F/09-FO01 |
| | | Rev. 4 |
| | INFORME DE ANÁLISIS | Hoja 1 de 1 |

Informe número: LN-F-18-0550
 Fecha emisión informe: 18-06-2018

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: JENNY BARRAGÁN

Dirección: Francisco Rodríguez y Luis Urdaneta

Teléfono: 0992644062

Correo Electrónico: jennybarragan37@gmail.com

Provincia: Chimborazo

Cantón: Riobamba

N° Orden de Trabajo: 06-2018-030

N° Factura/Documento: 4365

DATOS DE LA MUESTRA:

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico | Conservación de la muestra: Envase apropiado |
| Lote: --- | Tipo de envase: Funda plástica |
| Provincia: --- | X: --- |
| Cantón: --- | Coordenadas: Y: --- |
| Parroquia: --- | Altitud: --- |
| Muestreado por: --- | |
| Fecha de muestreo: --- | Fecha de inicio de análisis: 04/06/2018 |
| Fecha de recepción de la muestra: 30/05/2018 | Fecha de finalización de análisis: 18/06/2018 |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA | PARÁMETROS ANALIZADOS | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADOS | ESPECIFICACIÓN (FOJA TÉCNICA) |
|-------------------------------|---------------------------------------|--|-------------|--------|------------|-------------------------------|
| F180523 | P1 | NT | PEE/F/14 | % | 3.09 | --- |
| | | ² P ₂ O ₅ | PEE/F/04 | % | 2.3340 | --- |
| | | ² K ₂ O | PEE/F/19 | % | 0.2709 | --- |
| | | MO | PEE/F/09-10 | % | 69.66 | --- |

²: Resultado obtenido por cálculo

NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, MO = Materia Orgánica

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Edison Vega, Ing. Mayra Quishpe.

Observaciones: Los resultados están expresados en % p/p.

Anexo Gráficos: ---

Anexo Documentos: ---



 Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes


 AGROCALIDAD
 AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL RÍO Y ECOLÓGICO
 LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES


 AGROCALIDAD
 AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL RÍO Y ECOLÓGICO

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

ANEXO H: Reporte de análisis de la pila 2

| | | |
|---|---|----------------------|
|  AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL PRODUCTO AGROPECUARIO | LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES Vía Interoceánica Km. 143 y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845 | PGT/F/09-FO01 |
| | INFORME DE ANÁLISIS | Rev. 4 |
| | | Hoja 1 de 1 |

Informe número: LN-F-18-0551
 Fecha emisión informe: 18-06-2018

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: JENNY BARRAGÁN

Dirección: Francisco Rodríguez y Luis Urdaneta

Teléfono: 0992644062

Correo Electrónico: jennybarragan37@gmail.com

Provincia: Chimborazo

Cantón: Riobamba

N° Orden de Trabajo: 06-2018-030

N° Factura/Documento: 4365

DATOS DE LA MUESTRA:

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico | Conservación de la muestra: Envase apropiado. |
| Lote: --- | Tipo de envase: Funda plástica |
| Provincia: --- | Coordenadas: X: --- |
| Cantón: --- | Y: --- |
| Parroquia: --- | Altitud: --- |
| Muestreado por: --- | |
| Fecha de muestreo: --- | Fecha de inicio de análisis: 04/06/2018 |
| Fecha de recepción de la muestra: 30/05/2018 | Fecha de finalización de análisis: 18/06/2018 |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA | PARÁMETROS ANALIZADOS | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADOS | ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA) |
|-------------------------------|---------------------------------------|--|-------------|--------|------------|--------------------------------|
| F180524 | P2 | NT | PEE/F/14 | % | 3.46 | --- |
| | | ² P ₂ O ₅ | PEE/F/04 | % | 2.3287 | --- |
| | | ² K ₂ O | PEE/F/19 | % | 1.1213 | --- |
| | | MO | PEE/F/09-10 | % | 69.72 | --- |

²: Resultado obtenido por cálculo

NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, MO = Materia Orgánica

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Edison Vega, Ing. Mayra Quishpe.

Observaciones: Los resultados están expresados en % p/p.

Anexo Gráficos: ---

Anexo Documentos: ---

Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes

[Handwritten signature and stamp]

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.



ANEXO I: Reporte de análisis de la pila 3

| | | |
|--|---|----------------------|
|  AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL PISO Y ZOOAGROARIO | LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845 | PGT/F/09-FO01 |
| | | Rev. 4 |
| | INFORME DE ANÁLISIS | Hoja 1 de 1 |

Informe número: LN-F-E18-0552
 Fecha emisión informe: 18-06-2018

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: JENNY BARRAGÁN

Dirección: Francisco Rodríguez y Luis Urdaneta

Teléfono: 0992644062

Correo Electrónico: jennybarragan37@gmail.com

Provincia: Chimborazo

Cantón: Riobamba

N° Orden de Trabajo: 06-2018-030

N° Factura/Documento: 4365

DATOS DE LA MUESTRA:

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico | Conservación de la muestra: Envase apropiado |
| Lote: --- | Tipo de envase: Funda plástica |
| Provincia: --- | X: --- |
| Cantón: --- | Y: --- |
| Parroquia: --- | Altitud: --- |
| Muestreado por: --- | |
| Fecha de muestreo: --- | Fecha de inicio de análisis: 04/06/2018 |
| Fecha de recepción de la muestra: 30/05/2018 | Fecha de finalización de análisis: 18/06/2018 |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA | PARÁMETROS ANALIZADOS | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADOS | ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA) |
|-------------------------------|---------------------------------------|--|-------------|--------|------------|--------------------------------|
| F180525 | P3 | NT | PEE/F/14 | % | 3.12 | --- |
| | | ² P ₂ O ₅ | PEE/F/04 | % | 2.1166 | --- |
| | | ² K ₂ O | PEE/F/19 | % | 1.0868 | --- |
| | | MO | PEE/F/09-10 | % | 68.61 | --- |

²: Resultado obtenido por cálculo


NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, MO = Materia Orgánica

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Edison Vega, Ing. Mayra Quishpe.

Observaciones: Los resultados están expresados en % p/p.

Anexo Gráficos: ---

Anexo Documentos: ---

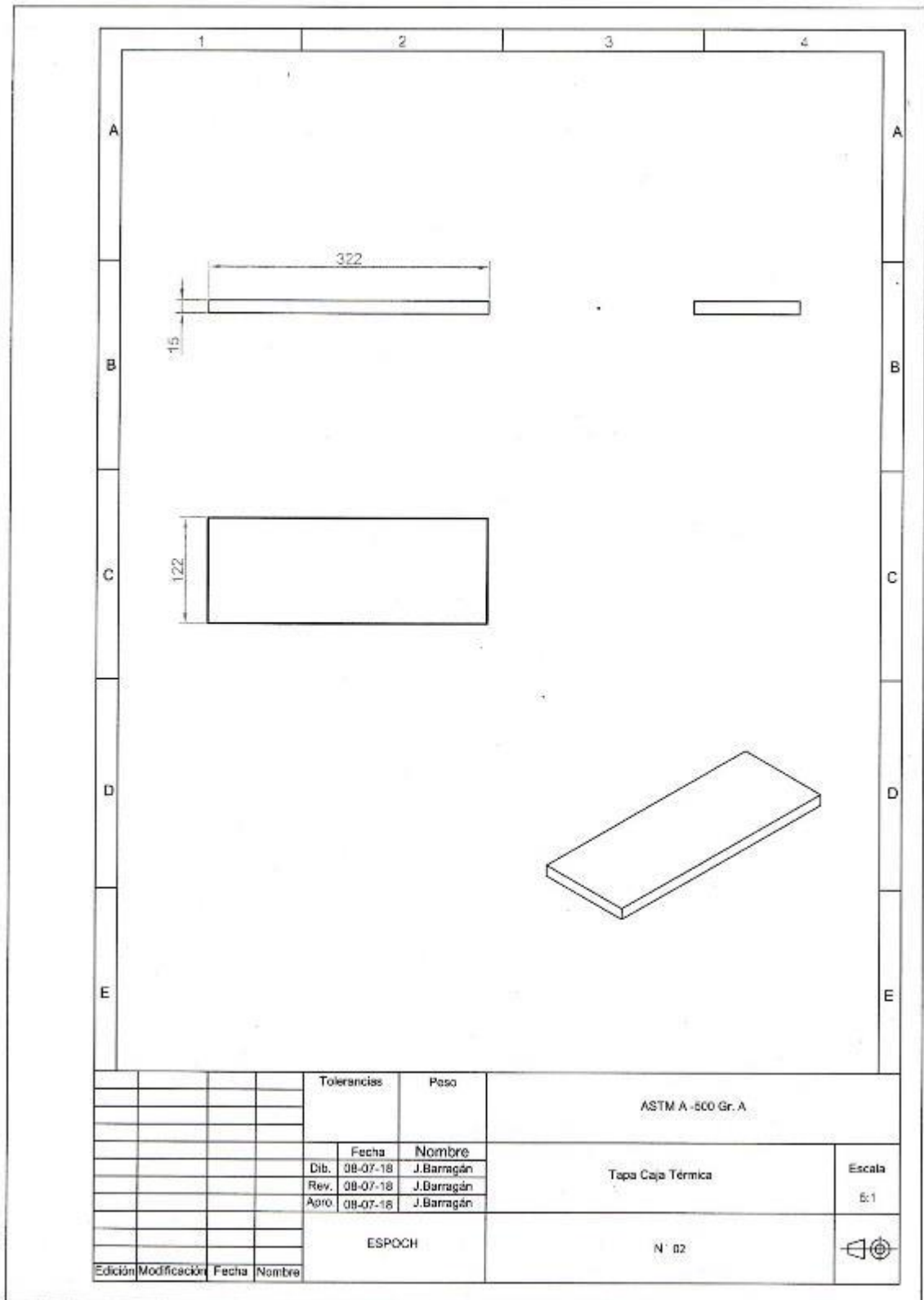

 Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

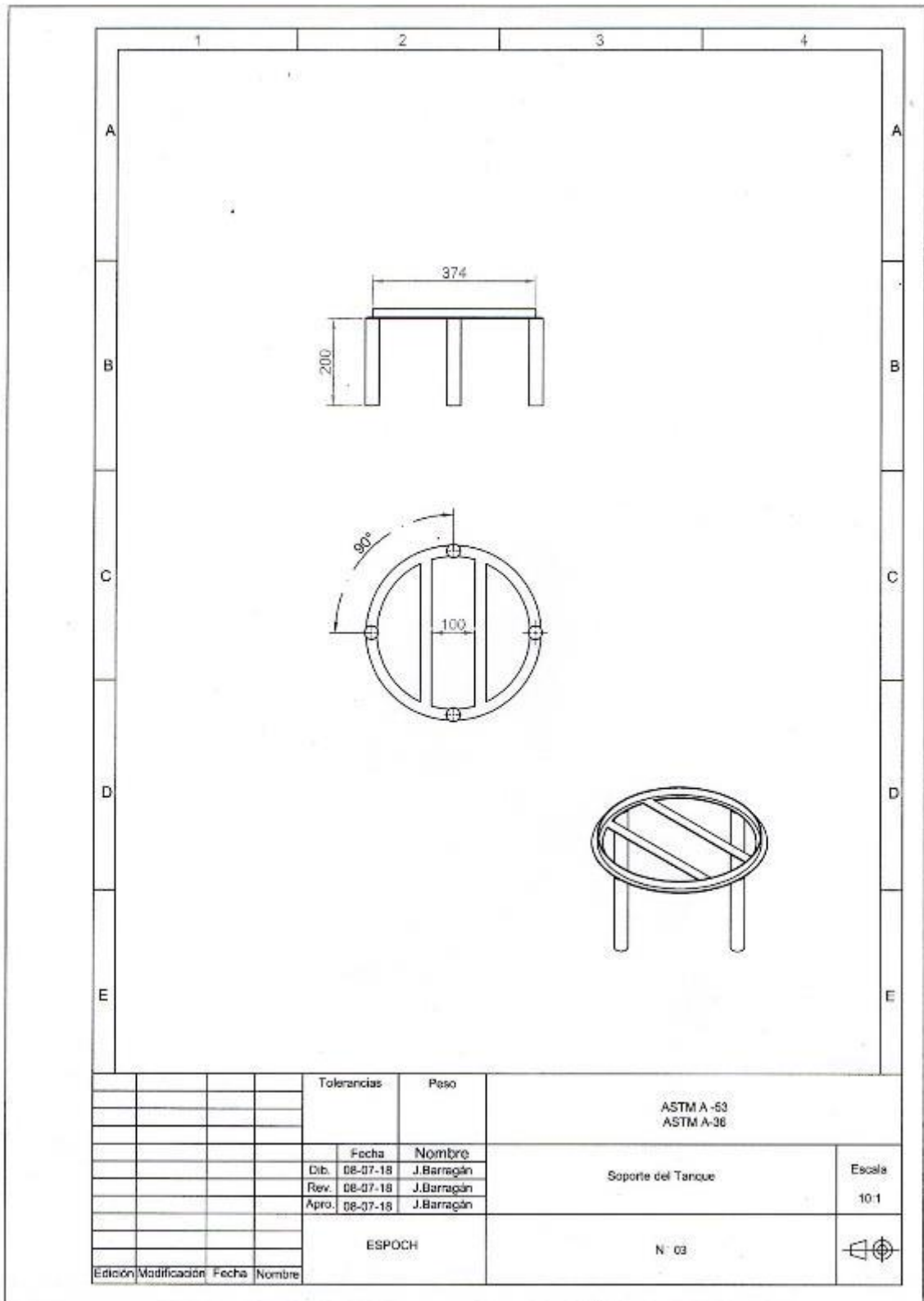
ANEXO J: Características generales que deben cumplir los tipos de composta. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011

| Parámetro | TIPO DE COMPOSTA | | |
|---|---|---------------------------------------|---|
| | A | B | C |
| Uso recomendado | Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta | Agricultura ecológica y reforestación | Paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación |
| Humedad | 25-35 % en peso | | 25-45 % en peso |
| pH | 6.7 – 7.5 | 6.5 – 8 | |
| Conductividad eléctrica | < 4 dS/m | < 8 dS/m | < 12 dS/m |
| Materia orgánica | > 20% MS | | > 25 % MS |
| Carbono total | Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado | | |
| Nitrógeno total % MS | | | |
| Relación C/N | < 15 | < 20 | < 25 |
| Macronutrientes (NPK) En % MS | De 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma \leq 7%: portará la leyenda "Composta - mejorador de suelos. Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% Debe portar la leyenda "Composta para nutrición vegetal" y se indicarán las cantidades para cada macronutriente. | | |
| Granulometría | \leq 10mm | \leq 30 mm | |
| Fitotoxicidad (IG) | IG \geq 85 % | IG \geq 75 % | IG \geq 60 % |
| Diferencia de temperatura con el ambiente medida a una profundidad \geq 50 cm | \leq 10°C | | \leq 15°C |

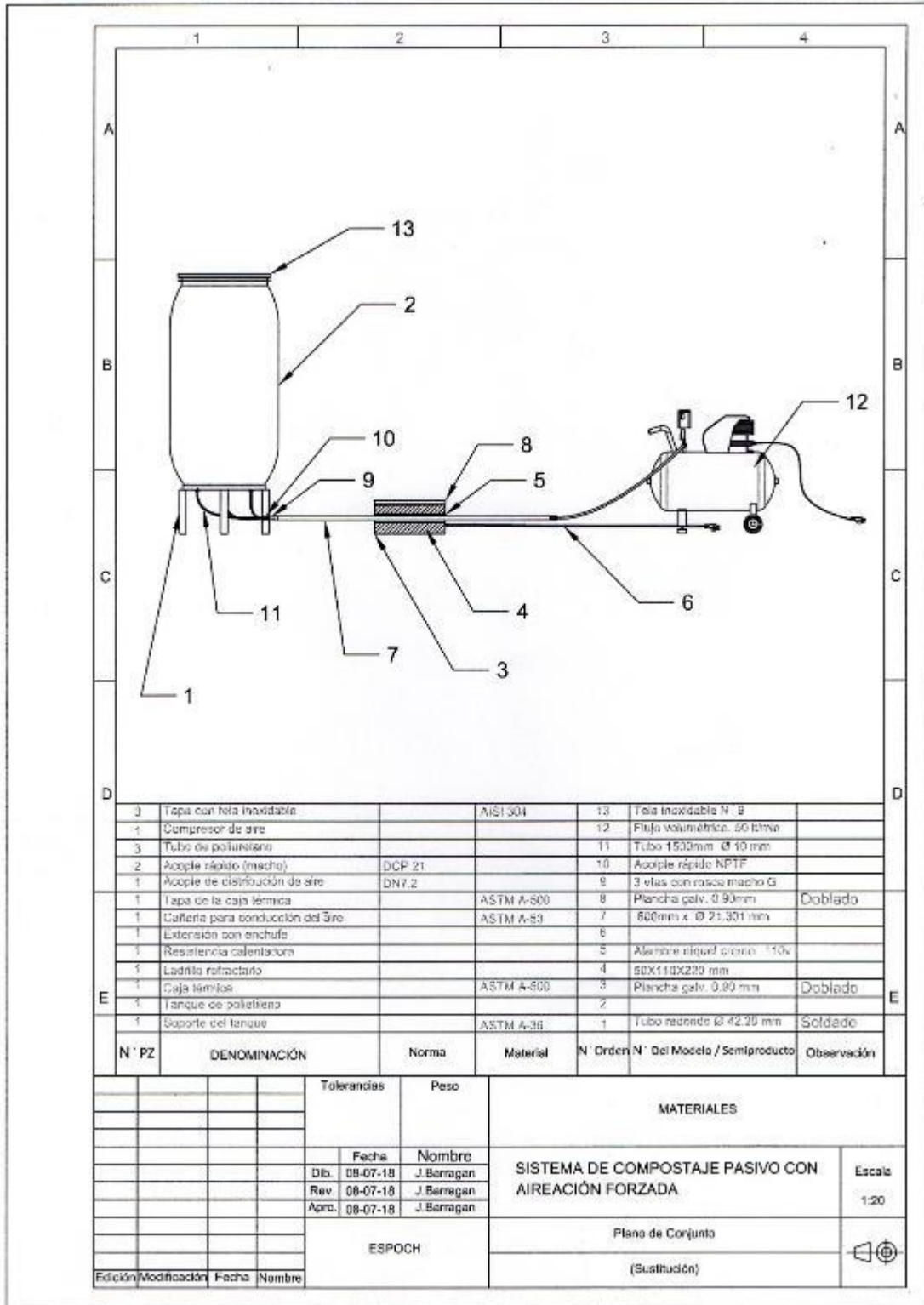
ANEXO L: Plano N° 2. Tapa de caja térmica



ANEXO M: Plano N° 3. Soporte de biodigestor



ANEXO N: Plano de conjunto. Sistema de compostaje pasivo con aireación forzada



ANEXO P: Sólido del sistema de compostaje pasivo con aireación forzada

a.



| NOTAS | CATEGORIA DEL DIAGRAMA | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA | SÓLIDO DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE PASIVO CON AIREACIÓN FORZADA | | |
|--|--|---|---|----------|-------|
| a. Sólido del sistema de compostaje pasivo con aireación forzada | <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR | | Lamina | Escala | Fecha |
| | | 1 | A4 | 25/07/18 | |

Realizado por:
Jenny Karol Barragán Guerrero

ANEXO Q: Muestreo de las materias primas

a.



b.

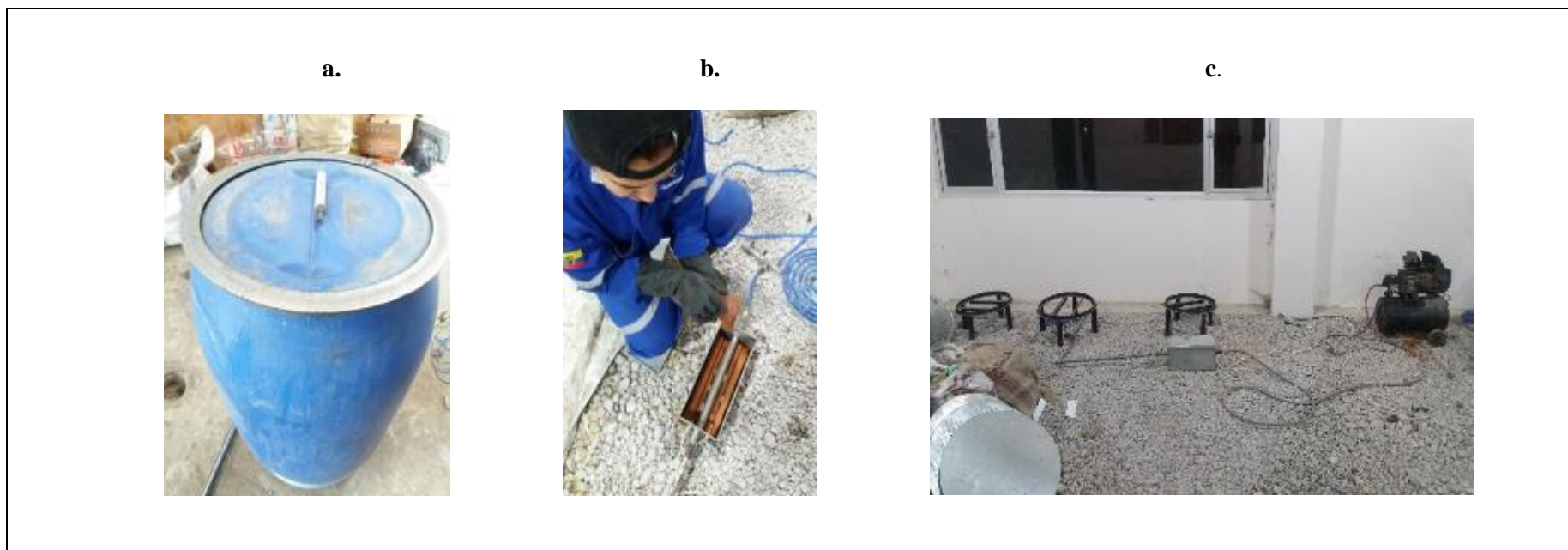


c.



| NOTAS | | CATEGORIA DEL DIAGRAMA | | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA | | MUESTREO DE LAS MATERIAS PRIMAS | | |
|---|--|--------------------------|---------------|---|--|---------------------------------|--------|----------|
| b. Muestreo de contenido ruminal no separado c. Muestreo de contenido ruminal separado d. Muestreo de residuo foliar (césped) | | <input type="checkbox"/> | CERTIFICADO | Realizado por: Jenny Karol Barragán Guerrero | | Lámina | Escala | Fecha |
| | | X | APROBADO | | | 2 | A4 | 25/07/18 |
| | | <input type="checkbox"/> | POR APROBAR | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> | POR VERIFICAR | | | | | |

ANEXO R: Construcción del sistema pasivo con aireación forzada



| NOTAS | CATEGORIA DEL DIAGRAMA | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA | CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA PASIVO CON AIREACIÓN FORZADA | | |
|---|--|--|---|----------|--|
| a. Construcción de bases para biodigestores b. Caja térmica c. Sistema de compostaje pasivo con aireación forzada | <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR | | Lámina | Escala | Fecha |
| | | 3 | A4 | 25/07/18 | Realizado por: Jenny Karol Barragán Guerrero |

ANEXO S: Pesado de materias primas

a.



b.



| NOTAS | | CATEGORIA DEL DIAGRAMA | | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA | | PESADO DE MATERIAS PRIMAS | | |
|---|--|--|----|---|--|---------------------------|--------|-------|
| a. Pesaje de contenido ruminal separado b. Pesaje de residuo foliar (césped) | | <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR | | Realizado por: Jenny Karol Barragán Guerrero | | Lámina | Escala | Fecha |
| | | 4 | A4 | | | 25/07/18 | | |

ANEXO T: Mezclado de las materias primas

a.



b.



c.



| NOTAS | | CATEGORIA DEL DIAGRAMA | MEZCLADO DE LAS MATERIAS PRIMAS | | | | | |
|---|--|-------------------------------|--|--|--|--|--------|----------|
| a. Mezclado de materias primas para los biodigestores de compostaje b. Mezclado de materias primas para pilas de compostaje c. Mezclado de materias primas para pilas de compostaje | | | <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Jenny Karol Barragán Guerrero | | | Lámina | Escala |
| | | | 5 | | | | A4 | 25/07/18 |

ANEXO U: Verificación de variables

a.



b.



c.



| NOTAS | CATEGORIA DEL DIAGRAMA | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Jenny Karol Barragán Guerrero | VERIFICACIÓN DE VARIABLES | | |
|---|--|--|---------------------------|--------|----------|
| a. Verificación de temperatura en biodigestores b. Verificación de temperatura y humedad en pilas de compostaje c. Verificación de temperatura y humedad en pilas de compostaje | <input type="checkbox"/> CERTIFICADO | | Lámina | Escala | Fecha |
| | <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO | | 6 | A4 | 25/07/18 |
| | <input type="checkbox"/> POR APROBAR | | | | |
| | <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR | | | | |
| | <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR | | | | |

ANEXO V: Evolución en la degradación de los desechos orgánicos



| NOTAS | | CATEGORIA DEL DIAGRAMA | | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA | | EVOLUCIÓN EN LA DEGRADACIÓN DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS | | |
|--|---------------|-------------------------------------|-------------|--|--|--|--------|----------|
| a. Macroorganismos propios del proceso de compostaje b. Hongos mesófilos en los biodigestores c. Hongos mesófilos en las pilas de compostaje | | <input type="checkbox"/> | CERTIFICADO | Realizado por: Jenny Karol Barragán Guerrero | | Lámina | Escala | Fecha |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> | APROBADO | | | 7 | A4 | 25/07/18 |
| <input type="checkbox"/> | POR APROBAR | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | POR VERIFICAR | | | | | | | |

ANEXO W: Preparación de muestras finales para su caracterización

a.



b.



c.



| NOTAS | | CATEGORIA DEL DIAGRAMA | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA | PREPARACIÓN DE MUESTRAS FINALES PARA SU CARACTERIZACIÓN | | |
|--|--|--|---|---|--------|----------|
| a. Secado de muestras b. Molienda de muestras c. Muestras estériles para su análisis | | | | Lámina | Escala | Fecha |
| | | <input type="checkbox"/> CERTIFICADO | Realizado por: Jenny Karol Barragán Guerrero | 8 | A4 | 25/07/18 |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> POR APROBAR | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR | | | | |

ANEXO X: pH y Conductividad eléctrica

a.



b.



c.



| NOTAS | CATEGORIA DEL DIAGRAMA | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Jenny Karol Barragán Guerrero | pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA | | |
|---|--|--|------------------------------|--------|----------|
| a. Medición de pH b. Medición de conductividad c. Preparación de muestras para el índice de germinación | <input type="checkbox"/> CERTIFICADO | | Lámina | Escala | Fecha |
| | <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO | | 9 | A4 | 25/07/18 |
| | <input type="checkbox"/> POR APROBAR | | | | |
| | <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR | | | | |
| | <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR | | | | |

ANEXO Y: Índice de germinación

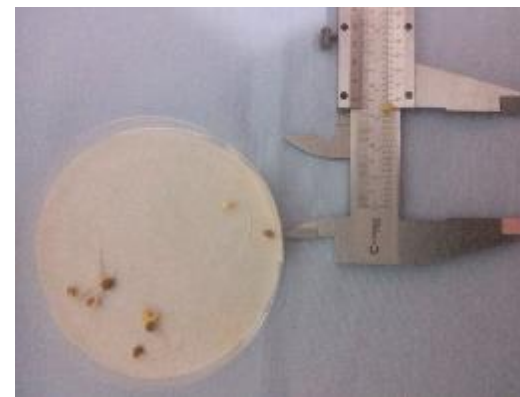
a.



b.



c.



| NOTAS | CATEGORIA DEL DIAGRAMA | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Jenny Karol Barragán Guerrero | ÍNDICE DE GERMINACIÓN | | |
|--|------------------------|--|-----------------------|--------|-------|
| a. Medición de semillas germinadas con el agua destilada. b. Semillas germinadas con la muestra final de compost. c. Medición de semillas germinadas con la muestra final de compost | | | Lámina | Escala | Fecha |
| | | <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR | | 10 | A4 |