



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 25 de enero de 2021

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

JOSE FERNANDO SÁNCHEZ GUARNIZO _____, con C.C. No. 1082805233 DE TELLO,
_____, con C.C. No. _____,
_____, con C.C. No. _____,
_____, con C.C. No. _____,

Autor (es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado:

MONITOREO DEL COMPOSTAJE Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL COMPOST OBTENIDO A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL CENTRO AGROINDUSTRIAL Y DE EXPOSICIONES DEL HUILA, "CEAGRODEX DEL HUILA S.A."

presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de

INGENIERO AGRÍCOLA;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Jose fernando Sánchez Guarín

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

MONITOREO DEL COMPOSTAJE Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL COMPOST OBTENIDO A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL CENTRO AGROINDUSTRIAL Y DE EXPOSICIONES DEL HUILA, "CEAGRODEX DEL HUILA S.A."

AUTOR O AUTORES:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| SÁNCHEZ GUARNIZO | JOSE FERNANDO |

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| SANABRIA MÉNDEZ | NADIA BRIGITTE |

ASESOR (ES):

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
|----------------------------|--------------------------|

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: IINGENIERÍA AGRÍCOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2020

NÚMERO DE PÁGINAS: 58

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos Ilustraciones en general Grabados
Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas
o Cuadros

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

| <u>Español</u> | <u>Inglés</u> | <u>Español</u> | <u>Inglés</u> |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------|
| 1. Compostaje | Composting | 6. _____ | _____ |
| 2. Beneficio animal | Animal benefit | 7. _____ | _____ |
| 3. Contenido ruminal | Ruminal content | 8. _____ | _____ |
| 4. Estiércol | Manure | 9. _____ | _____ |
| 5. Abono orgánico | Organic fertilizer | 10. _____ | _____ |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En el departamento del Huila, gran parte de los centros de beneficio animal han sido sellados debido al inadecuado manejo de los residuos generados en la actividad. La transformación de los residuos orgánicos en compost es una alternativa ambiental, económica y socialmente viable. Como una estrategia para mitigar la contaminación, la presente investigación evaluó la calidad del compost obtenido a partir de los residuos orgánicos del centro agroindustrial y de exposiciones del Huila “Ceagrodex” S.A. Para esto se recolectó material proveniente del beneficio del ganado bovino (sangre, pelos, orejas, caretas, y contenido ruminal), porcino (pelos, cascos y estiércol) y material vegetal con el que se establecieron dos pilas de compostaje. Las variables consideradas en este estudio para evaluar la calidad del compost se determinaron de acuerdo con la norma técnica colombiana (NTC) 5167 de 2004, ajustadas a los métodos utilizados por el laboratorio de suelos y agua de la universidad Surcolombiana, y el laboratorio nacional de suelos del instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Los resultados muestran diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las dos pilas en las variables materia orgánica, cenizas, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), fósforo, potasio, sodio, humedad y densidad. Sin embargo, basado en la NTC 5167, todas las variables evaluadas en este estudio cumplieron con los requisitos exigidos, a excepción del porcentaje de fósforo el cual fue menor al 1%.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In the department of Huila, a large part of the animal benefit centers have been sealed due to the inadequate waste management generated during their activity. The transformation of organic waste into compost is an environmentally, economically and socially viable alternative.

As a strategy to mitigate pollution, the present investigation evaluated the quality of the compost obtained from organic waste produced by Ceagrodex del Huila S.A.'s agro-industrial and exhibition center. For this, material was collected from the benefit of cattle (blood, hair, ears, cowhide, and ruminal content), pigs (hair, hooves and manure) and plant material with which two compost piles were established.

The variables considered in this study to evaluate the quality of the compost were determined according to the Colombian technical standard (NTC) 5167 of 2004, adjusted to the methods used by the soil and water laboratory of the Surcolombiana University, and the national soils laboratory of Agustín Codazzi geographic institute IGAC.

The results show significant differences ($P < 0.05$) between the two piles in the variables organic matter, ash, cation exchange capacity (CEC), electrical conductivity (EC), phosphorus, potassium, sodium, humidity and density. However, based on NTC 5167, all variables evaluated in this study met the requirements, except for the percentage of phosphorus, which was less than 1%.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: NADIA BRIGITTE SANABRIA MÉNDEZ

Firma:

Nombre Jurado: Jaime Izquierdo Bautista

Firma:

Nombre Jurado: Armando Torrente Trujillo

Firma:

**MONITOREO DEL COMPOSTAJE Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL
COMPOST OBTENIDO A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL
CENTRO AGROINDUSTRIAL Y DE EXPOSICIONES DEL HUILA,
“CEAGRODEX DEL HUILA S.A.”.**

JOSE FERNANDO SANCHEZ GUARNIZO

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA-2019**

**MONITOREO DEL COMPOSTAJE Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL
COMPOST OBTENIDO A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL
CENTRO AGROINDUSTRIAL Y DE EXPOSICIONES DEL HUILA,
“CEAGRODEX DEL HUILA S.A.”.**

JOSE FERNANDO SANCHEZ GUARNIZO

**Informe de pasantía como requerimiento parcial para obtener
el título de Ingeniero Agrícola**

**Nadia Brigitte Sanabria Méndez. Msc.
Director**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA-2019**

NOTA DE ACEPTACION

DIRECTOR

JURADO

JURADO

Neiva, septiembre 29 de 2020

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCION | 9 |
| 1. GENERALIDADES | 10 |
| 1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 10 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN | 11 |
| 1.3 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS..... | 12 |
| 1.3.1 Objetivo general | 12 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 12 |
| 2. MARCO TEORICO..... | 13 |
| 2.1 DEFINICION..... | 13 |
| 2.2 ANTECEDENTES..... | 13 |
| 2.3 PRINCIPALES SISTEMAS DE COMPOSTAJE | 14 |
| 2.3.1 Sistemas abiertos | 14 |
| 2.3.2 Sistemas Cerrados | 16 |
| 2.4 ETAPAS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE..... | 19 |
| 2.4.1 Etapa mesofílica | 19 |
| 2.4.2 Etapa termofílica | 19 |
| 2.4.3 Etapa mesofílica II..... | 20 |
| 2.4.4 Etapa de maduración..... | 21 |
| 2.5 PARAMETROS MAS INFLUYENTES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE | 21 |
| 2.5.1 Relación C/N..... | 21 |
| 2.5.2 Temperatura | 22 |
| 2.5.3 pH..... | 23 |
| 2.5.4 Humedad..... | 24 |
| 2.5.5 Oxigeno..... | 24 |
| 2.4 PARAMETROS DE CALIDAD QUE DEBEN GARANTIZAR LOS ABONOS O ENMIENDAS Y FERTILIZANTES ORGANICOS | 24 |
| 3. METODOLOGIA | 26 |
| 3.1 Localizacion geografica..... | 26 |
| 3.2 Descripción general del experimento. | 26 |
| 3.2.1 Recolección de materias primas | 27 |
| 3.2.1.1 Residuos planta bovina..... | 27 |
| 3.2.1.2 Residuos planta porcina..... | 28 |
| 3.2.1.3 Estiercol de corrales | 28 |
| 3.2.1.4 Lodos..... | 28 |
| 3.2.1.5 Material vegetal | 28 |

| | |
|---|----|
| 3.2.2 Formación de pilas..... | 29 |
| 3.2.2.1 Proporciones de cada material a compostar | 29 |
| 3.2.2.2 Dimensiones de las pilas | 30 |
| 3.2.3 Coctel de microorganismos..... | 30 |
| 3.2.3.1 Ingredientes | 30 |
| 3.2.3.2 Preparación | 31 |
| 3.3 Monitoreo de las variables de respuesta evaluadas durante el proceso | 31 |
| 3.3.1 Temperatura | 31 |
| 3.3.2 pH..... | 31 |
| 3.3.3 Humedad..... | 32 |
| 3.3.4 Oxígeno..... | 32 |
| 3.4 Metodos de muestreo y tecnicas de laboratorio utilizadas para evluar la calidad del compost | 32 |
| 3.4.1 Metodos de muestreo..... | 32 |
| 3.4.2 Metodos de laboratorio utilizados para determinar las variables evaluadas | 32 |
| 4. ANÁLISIS DE DATOS | 33 |
| 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS | 33 |
| 5.1 EVOLUCION DEL COMPOST..... | 33 |
| 5.1.1 Temperatura | 33 |
| 5.1.1 pH..... | 35 |
| 5.2 CALIDAD DEL COMPOST | 36 |
| 5.2.1 Analisis fisicoquimico del compost..... | 36 |
| 5.2.1 Verificacion de la calidad del producto de acuerdo a la norma ICONTEC (NTC 5167) . | 38 |
| 5. CONCLUSIONES | 42 |
| 6. RECOMENDACIONES | 42 |
| 7. BIBLIOGRAFIA | 43 |
| 8. ANEXOS..... | 46 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Pila con aireacion pasiva | 15 |
| Figura 2. Hileras con volteo mecanico en planta de compostaje Ceagrodex | 15 |
| Figura 3. Pila estatica con aireacion pasiva..... | 16 |
| Figura 4. Pila estatica con aireacion forzada | 16 |
| Figura 5. Diseño de contenedores para compostaje..... | 17 |
| Figura 6. Reactor cilindrico, tipo silo | 18 |
| Figura 7. Tambor rotatorio | 18 |
| Figura 8. Etapas del compostaje | 19 |
| Figura 9. Comportamiento del pH durante el primer mes de compostaje | 23 |
| Figura 10. Pila verde | 29 |
| Figura 11. Pila de compost, primer volteo | 29 |
| Figura 12. Maquina volteadora de compost. Agraris 220 | 31 |
| Figura 13. Comportamiento de la temperatura de las pilas durante el proceso de compostaje | 34 |
| Figura 14. Comportamiento del pH de las pilas durante el proceso de compostaje..... | 35 |
| Figura 15. Comparación grafica del analisis fisico quimico del compost | 41 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Temperatura y tiempo de exposición necesario para la destrucción de parásitos y patógenos más comunes | 20 |
| Tabla 2. Requisitos específicos para fertilizantes o abonos orgánicos en Colombia | 25 |
| Tabla 3. Material vegetal agregado por cada animal sacrificado..... | 30 |
| Tabla 4. Cantidad de residuos empleados para el compostaje | 30 |
| Tabla 5. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del compost..... | 33 |
| Tabla 6. Resultados de los análisis efectuados al compost y resultados de la prueba <i>t</i> para comparación de medias | 37 |
| Tabla 7. Comparación de resultados con valores de ceagrocompost y NTC 5167 | 38 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Formato R-PCOMP-05, control materia prima pilas de compost | 46 |
| Anexo 2. Termometro de sonda Vici, modelo CHY801 | 47 |
| Anexo 3. Potenciometro Thermo Scientific Orion | 47 |
| Anexo 4. Resultados analisis de compost pila 1 | 48 |
| Anexo 5. Resultados analisis de compost pila 2 | 51 |
| Anexo 6. Resultados de analisis de nitrogeno para pila 1 y 2 | 54 |
| Anexo 7. Comparación de medias entre la pila 1 y ceagrocompost | 55 |
| Anexo 8. Compración de medias entre la pila 2 y ceagrocompost | 55 |
| Anexo 9. Registros fotograficos | 56 |

INTRODUCCION

En el departamento del Huila, gran parte de los centros de beneficio animal han sido cerrados debido principalmente al inadecuado manejo de los residuos generados en la actividad y a problemas de sanidad en los productos cárnicos.

El Centro agroindustrial y de exposiciones del Huila, “Ceagrodex S.A.” es un centro de beneficio bovino y porcino que ofrece los servicios a nivel nacional y cumple con las normas ambientales y sanitarias vigentes en el territorio nacional.

Con el interés de reducir los impactos ambientales generados por las actividades productivas de la empresa, cada uno de los residuos producidos están contemplados dentro del plan de gestión integral de residuos sólidos y reciben el debido proceso de transformación y/o eliminación.

La transformación de los residuos orgánicos en compost es una alternativa ambiental, económica y socialmente viable; que ayuda a reducir grandes cantidades de residuos minimizando impactos ambientales como: emisión de gases de efecto invernadero y contaminación de fuentes hídricas. El producto final: compost, puede ser utilizado como fertilizante orgánico o mejorador de suelos debido a su importante aporte de materia orgánica.

En el presente documento se describe el proceso de compostaje que se lleva a cabo en la planta de compostaje de Ceagrodex del Huila S.A. para aprovechar los residuos orgánicos, así como los resultados de la evaluación fisicoquímica del compost obtenido en este estudio y la comparación con los requerimientos específicos del compost basado en la norma técnica colombiana (NTC) 5167.

Con lo anterior se busca estandarizar el proceso para la obtención del compost de tal forma que cumpla con los requerimientos de la NTC 5167 y que se ofrezca un producto de calidad al consumidor final.

1. GENERALIDADES

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Obedeciendo la política ambiental establecida en Ceagrodex del Huila S.A, donde se compromete a minimizar y compensar los impactos ambientales negativos generados por las actividades que realiza la empresa y a cumplir las normas ambientales vigentes con las que se encuentra relacionada la actividad productiva de la empresa; los residuos orgánicos tales como rumen, estiércol, pelos, cascotes, cascarilla de arroz, hojas secas, entre otros, se destinan para la fabricación de compost.

Durante el proceso de compostaje, el monitoreo de algunos parámetros como temperatura, pH, aireación y humedad permiten en buena medida establecer el grado de maduración alcanzado por el compost y el tiempo necesario para finalizar el tratamiento. Actualmente el único parámetro medido durante la transformación de los residuos en la planta de compostaje de Ceagrodex es la temperatura. Una recomendación dada por Bahamón (2016), en su trabajo “Elaboración de compostaje a partir de los residuos del centro agroindustrial y de exposiciones del Huila Ceagrodex”, fue monitorear el comportamiento del pH durante el proceso, con el fin de obtener herramientas teóricas que permitan determinar el estado de madurez o la fase en la que se encuentra el proceso, aprovechar de manera eficiente la acción de los microorganismos y disminuir el tiempo de compostaje.

Con el monitoreo de las variables temperatura, pH y el control de la humedad por medio de riegos, y de la aireación por medio de volteo de pila, además de tener en cuenta aspectos como color, olor y textura, se espera ofrecer las herramientas teóricas necesarias para producir compost con las condiciones requeridas para ser comercializado: homogéneo, con alto contenido de materia orgánica, estable, minimizando el riesgo de contaminar el resto del material almacenado en la bodega a granel con material inmaduro.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente y la manera en cómo podemos contribuir a la solución de estos problemas, surge la pregunta problema de este trabajo;

¿Cuáles son las condiciones requeridas para comercializar compost producido a partir de los residuos orgánicos generados en Ceagrodex del Huila S.A.?

1.1. JUSTIFICACIÓN.

De acuerdo con un estudio realizado por la FAO (2011), sobre el estado de los recursos de tierras y aguas (SOLAW), la degradación de los suelos debido a la sobreexplotación y el uso excesivo de agroquímicos que traen como consecuencia la pérdida de materia orgánica, pérdida de fertilidad y contaminación de suelos, comprometerá la capacidad de la producción agrícola para mantener la demanda de alimentos y la seguridad alimentaria. Hernández, Ojeda, López y Arras (2010), afirman que “la agricultura actual demanda retomar con fuerza la producción, el uso y la aplicación de abonos orgánicos en diversas formas con todos los beneficios que ello conlleva y con las precauciones que la calidad de los procesos requieren.”

La aplicación de compost al suelo, trae beneficios físicos, químicos y microbiológicos debidos principalmente al aporte de materia orgánica; aumenta la capacidad de retención hídrica, aumenta la estabilidad estructural, reduce la erosión, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, regula el pH, aporta macronutrientes, aumenta las poblaciones de microorganismos, favorece la respiración radicular, favorece la germinación de las semillas entre otros. (Negro *et al.*, 2000; Román, Martínez y Pantoja, 2013;)

Por otro lado, el compost para ser aplicado deberá haber culminado todas las fases del proceso, la aplicación de compost inmaduro o inestable al suelo, genera problemas tales como: inmovilización del nitrógeno mineral, presencia de sustancias fitotóxicas, aumenta la temperatura del suelo, inhibe la germinación, afecta el desarrollo de las plantas, entre otros.

1.2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

1.2.1. General:

Evaluar la calidad del compost obtenido a partir de los residuos orgánicos del centro agroindustrial y de exposiciones del Huila “Ceagrodex” S.A. con fines de comercialización.

1.2.2. Específicos:

- Medir las variables temperatura y pH del compost durante el proceso de compostaje hasta la estabilización.
- Controlar las variables humedad y aireación durante el proceso de compostaje hasta la estabilización.
- Comparar las propiedades fisicoquímicas del compost elaborado en la planta de compostaje, con los requisitos que deben cumplir los abonos orgánicos, basado en la norma técnica colombiana (NTC) 5167.

2. MARCO TEORICO

2.1. DEFINICION

El compostaje es un proceso de descomposición controlado de materia orgánica en presencia de oxígeno, donde intervienen una gran variedad de microorganismos; la supervivencia de estos depende en gran medida de las condiciones ambientales y de los nutrientes presentes en los residuos a descomponer (Acosta y Peralta, 2015). El producto final (compost maduro) debe ser un material estable, con alto contenido de materia orgánica, libre de patógenos humanos, bacterias contaminantes de alimentos, y semillas de maleza (Román *et al.*, 2013)

2.2. ANTECEDENTES

El proceso de compostaje ha sido ampliamente estudiado en todo el mundo; se han realizado investigaciones con diferentes enfoques, variando el método de producción, la materia prima, la aplicación de activadores biológicos y el control de los parámetros que intervienen durante el proceso.

Durante el proceso de compostaje se deben monitorear las variables necesarias para garantizar un producto estable, que puede ser utilizado como fertilizante o mejorador de suelos y además se reducen el tiempo y los costos de producción (Bueno, Díaz y Cabrera, 2007).

En una investigación realizada por Defrieri, Jiménez, Effron y Palma (2005), se estudió el comportamiento de algunos parámetros químicos y biológicos en la producción de compost obtenido a partir de una mezcla de cama de caballo y gallina con el ánimo de buscar herramientas analíticas que permitan determinar el grado de madurez y la estabilidad del producto.

Gordillo y Chávez (2016), evaluaron la calidad del compost producido a partir de diferentes mezclas de residuos azucareros, variando el método de aireación y aplicando dos fuentes de microorganismos. Los resultados muestran que el sistema de aireación por tubos es poco eficiente y la descomposición no es adecuada, además afirma que los tratamientos donde se utilizan microorganismos comerciales no reducen su población durante el proceso.

Bahamón (2016), recomienda monitorear el proceso de compostaje no solo mediante la lectura de la temperatura sino también con la medición del pH, parámetro que el autor relaciona con la temperatura y la actividad microbiana.

De la misma manera, Castrillón, Bedoya y Montoya (2006), en el estudio realizado para medir el efecto que tiene el pH sobre los microorganismos en la etapa de maduración, concluyen que el pH tiene un efecto significativo sobre el crecimiento de unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias, mohos y levaduras; los mismos autores, sugieren evaluar el pH junto con otros parámetros que intervienen en el desarrollo de los microorganismos responsables del proceso de descomposición como la temperatura, humedad y aireación debido a que esto afecta la duración del proceso, la calidad del producto terminado y además reduce los riesgos de contaminación.

Uicab-Brito y Sandoval (2003), en su estudio llamado uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta, describen el proceso y el comportamiento de algunas variables dependiendo la fase en la que se encuentra el mismo. Además señalan otras alternativas para la utilización de estos residuos.

Guerrero y Monsalve (2007), en el departamento de Risaralda, Colombia, llevaron a cabo una investigación con el ánimo de reducir el impacto ambiental generado por los residuos de una planta de beneficio animal, por medio de la fabricación de compost. Los resultados obtenidos muestran que la frecuencia de volteo es un factor influyente en la humedad y el porcentaje de degradación de los residuos y que además el compost obtenido es de buena calidad, rico en nitrógeno y fosforo.

2.3. PRINCIPALES SISTEMAS DE COMPOSTAJE

Algunos de los factores más importantes para seleccionar el sistema de compostaje son; la calidad requerida, el espacio, el tiempo, y la mano de obra disponible, además de las características del material de partida. Los sistemas de compostaje se dividen principalmente en dos grupos; sistemas abiertos y sistemas cerrados, estos a su vez se dividen en diferentes formas. (Negro *et al.*, 2000; Román *et al.*, 2013; USDA, 2000;)

2.3.1. Sistemas abiertos

Los sistemas abiertos, son los sistemas en donde la masa de residuos a compostar se dispone al aire libre o bajo cubierta. Teniendo en cuenta las necesidades y/o recursos de la planta de compostaje, existe una amplia variedad de formas para el amontonamiento del material, variando la forma, la técnica de aireación, y otros manejos. Entre los que se destacan:

Pila con aireación pasiva: el método consiste en formar una mezcla de materia prima en una pila, capaz de mantener la porosidad y estructura necesarias para una aireación adecuada durante todo el proceso de compostaje. Figura 1.

La pila se puede voltear periódicamente para reestablecer principalmente la porosidad. La aireación se logra con el movimiento pasivo del aire a través de la pila, por lo que se requiere que el tamaño de la pila sea lo suficientemente pequeño para evitar zonas anaeróbicas.

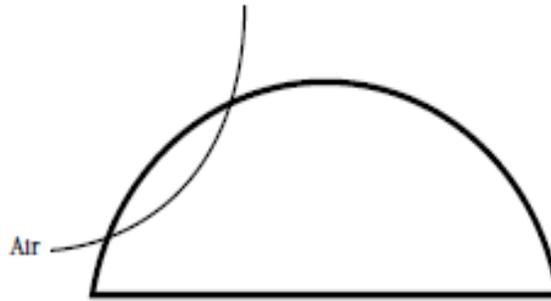


Figura 1. Pila con aireación pasiva

Fuente: USDA, 2000.

Hileras o pilas con volteo mecanizado: su configuración es alargada, y de forma piramidal (Figura 2). Las materias primas se mezclan antes o durante la formación de las hileras y estas se voltean regularmente utilizando volteador de tornillo o la pala frontal adaptada al tractor.



Figura 2. Hileras con volteo mecánico en planta de compostaje Ceagrodex.

Fuente: Autor.

El sistema de aireación de estas hileras es pasivo; una adecuada aireación pasiva se logra volteando regularmente las hileras, además voltear las hileras también sirve para regular la porosidad, liberar calor, vapor de agua y gases; y se descompone el material de manera más uniforme. Los volteos son más frecuentes durante las primeras etapas de compostaje, cuando la actividad microbiana es más intensa y la evolución de la temperatura es la mayor. (USDA, 2000)

Hilera o pila estática con aireación pasiva: bajo este sistema no se realizan volteos de pila. La aireación se logra mediante la circulación libre del aire a través de una tubería perforada que se instala en la capa base de la pila; la capa base está compuesta de turba, paja o compost para que el aire que fluye a través de las tuberías se distribuya de manera uniforme. La parte exterior de la pila también se cubre con una capa de

musgo turba o compost, que sirve para retener humedad, amoniaco y disuadir moscas (Figura 3)

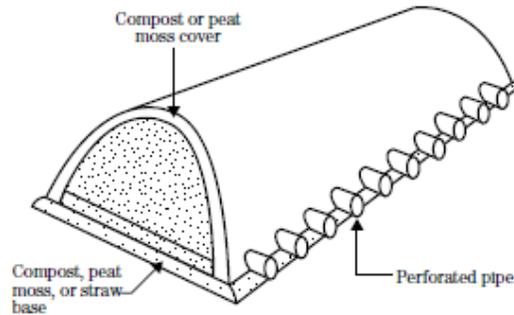


Figura 3. Pila estática con aireación pasiva
Fuente: USDA, 2000

Al momento de establecer la pila, se debe formular una mezcla con buena porosidad y estructura para permitir una aireación adecuada. La aireación pasiva también requiere que las pilas no sean tan altas como las del método de hilera con volteo mecánico.

Hilera o pila estática con aireación forzada: utiliza la misma configuración que el sistema anteriormente descrito; la diferencia es que este sistema usa ventiladores para succionar o soplar el aire por medio de la tubería instalada en el interior de la pila (Figura 4).

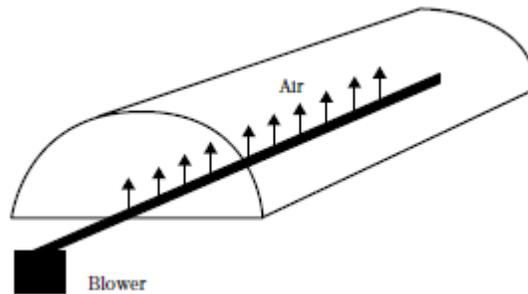


Figura 4. Pila estática con aireación forzada
Fuente: USDA, 2000.

El método de succión del aire permite un mejor control del olor que utilizar la presión positiva para soplar. La desventaja de usar la succión es que no se puede pasar tanto aire a través de la pila como se puede empujar usando presión positiva. Los ventiladores utilizados para la aireación sirven no solo para proporcionar oxígeno, sino también para regular la temperatura permitiendo un mayor control del proceso.

1.1.1. Sistemas cerrados

En estos sistemas las fases iniciales del compostaje se realizan en reactores que pueden ser estáticos o dinámicos. Finalizadas estas etapas, el material es retirado del

reactor y acopiado para terminar la etapa de maduración (Sztern y Pravia, 1999). Entre estos podemos incluir los siguientes sistemas de compostaje:

Contenedor o Cajón: este método se realiza en contenedores o cajones que pueden ser fabricados en concreto, ladrillo, metal, madera, plástico o cualquier otro material. Algunos contenedores cuentan con sistema de ventilación forzada, igual que la pila estática con ventilación forzada. Los contenedores sin ventilación como los de madera o bidones plásticos, tienen espacios u orificios laterales para favorecer la ventilación y el material debe voltearse regularmente.

Cuando se tiene un conjunto de contenedores, es común llenar el primer contenedor para el compostaje primario, mover el material a un segundo contenedor para el compostaje secundario, y luego mover el material a un área donde se pueda terminar la etapa de maduración. (USDA, 2000)

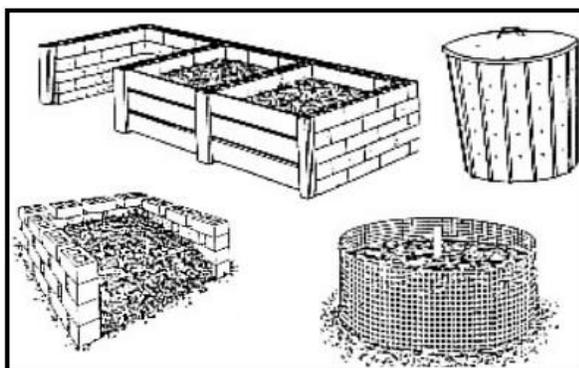


Figura 5. Diseños de contenedores para compostaje

Fuente: Navarro, 2014.

Silo: para el método de compostaje tipo silo se usan reactores verticales que operan de forma continua (figura 6).

El material a compostar se deposita por la parte superior del silo y se retira de la parte inferior. La aireación se proporciona a través de la base del silo, de modo que el aire es forzado hacia arriba a través del material a compostar. Los gases que se liberan pueden recogerse desde la parte superior y dirigirse a un sistema de tratamiento de olores.

Debido a que este es un sistema estático, las materias primas deben mezclarse bien antes de depositarse en el silo, sin embargo, el apilamiento vertical del material presenta desafíos de compactación, control de temperatura y flujo de aire. (USDA, 2000)

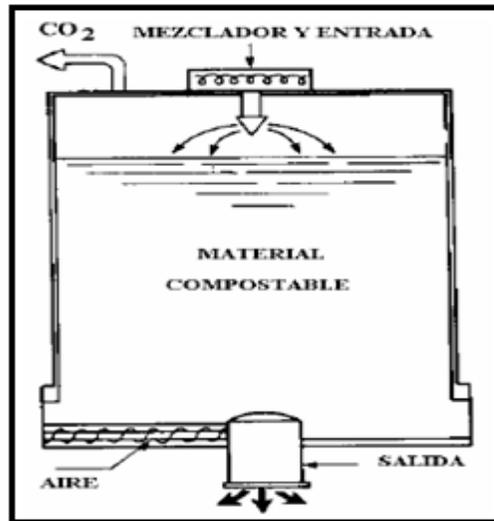


Figura 6. Reactor cilíndrico, tipo silo

Fuente: Saña y Soliva (como se citó en: Negro *et al.*, 2013)

Tambor rotatorio: el sistema consiste en cilindros de diámetro pequeño, dispuestos de manera horizontal con una ligera inclinación. En el interior del cilindro se depositan los materiales a compostar y este puede girar en torno a su eje principal permitiendo el volteo de la mezcla. (Gutiérrez, 2013).

Para la producción de compostaje casero usando este método, Navarro (2014) recomienda llenar 2/3 del cilindro para facilitar la aireación y el volteo, además realizar un giro al cilindro cada 3 días.



Figura 7. Tambor rotatorio

Fuente: Pérez y Calderón, 2017

1.1. ETAPAS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

Una pila de compostaje atraviesa una amplia gama de temperaturas durante todo el proceso; con la variación de la temperatura, las condiciones se tornan adecuadas o inadecuadas para ciertos tipos de microorganismos (USDA, 2000). En el proceso de compostaje se diferencian tres etapas, de acuerdo a los microorganismos que predominan en cada una de ellas, se denominan: mesofílica, termofílica, mesofílica II. Una vez terminado el proceso de compostaje, inicia una cuarta fase llamada maduración (figura 8).

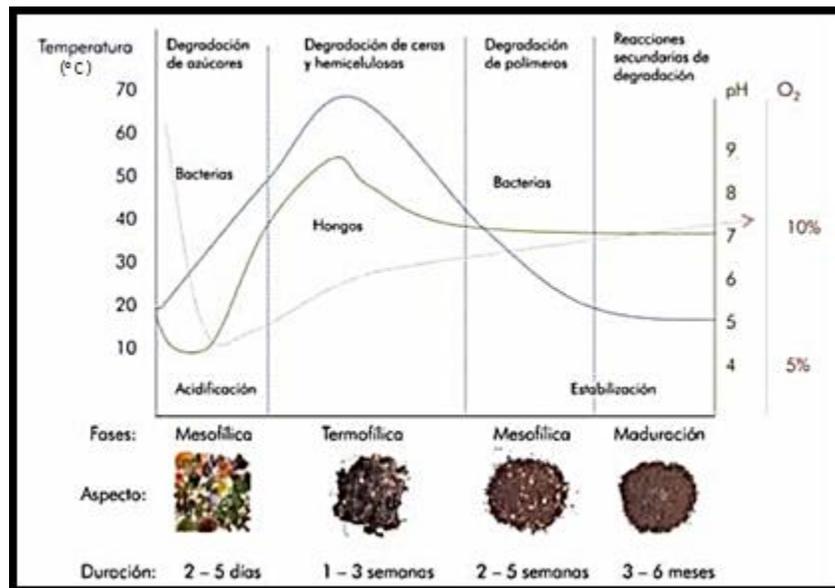


Figura 8. Etapas del compostaje
Fuente: Román *et al.*, 2013

1.1.1. Etapa mesofílica

En esta etapa la temperatura alcanzada es 45°C. Al inicio del proceso, se desarrollan las familias de microorganismos mesófilos que descomponen las fuentes más simples de carbono (C) y nitrógeno (N). Esta descomposición genera calor que se traduce en un incremento de la temperatura en el proceso (Barrena, 2006). La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH tiende a bajar (Román *et al.*, 2013).

1.1.2. Etapa termofílica

El rango de temperatura para esta etapa es de 45°C a 70°C. A medida que avanza el proceso, y con la variación de las condiciones iniciales, van apareciendo nuevos microorganismos termofílicos a la vez que las poblaciones mesofílicas van desapareciendo. Esta fase es muy importante, ya que al alcanzar temperaturas tan

altas, se eliminan los microorganismos patógenos (Tabla 1) y otros elementos biológicos indeseables, asegurando la correcta higienización del producto final (Barrena, 2006).

Los microorganismos termofílicos, actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el medio tiende a alcalinizarse. A partir de los 60° C comienzan a aparecer las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer los compuestos de carbono complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas del lugar, y otros factores. (Román *et al.*, 2013).

Tabla 1. Temperatura y tiempo de exposición necesario para la destrucción de los parásitos y patógenos más comunes

| ORGANISMO | TEMPERATURA Y TIEMPO DE EXPOSICION |
|---|--|
| <i>Salmonella typhosa</i> | 30 minutos a 55-60° C. No se desarrolla a temperaturas superiores a 46° C. |
| <i>Salmonella</i> sp. | 60 minutos a 55° C o 15-20 minutos a 60° C |
| <i>Shigella</i> sp. | 60 minutos a 55° C. |
| <i>Escherchia coli</i> | 60 minutos a 55° C o 15-20 minutos a 60° C. |
| <i>Tennia saginata</i> | Se elimina en unos pocos minutos a 55° C. |
| Larvas de <i>Trichinella spiralis</i> | Mueren rápidamente a 55° C e instantáneamente a 60° C |
| <i>Brucella abortus</i> | 3 minutos a 62-63° C o a 55° C durante 60 minutos |
| <i>Micrococcus pyogens</i> var. <i>Aureus</i> | 10 minutos a 50° C |
| <i>Streptococcus pyogens</i> | 10 minutos a 54° C |
| <i>Mycobacterium tuberculosis</i> var. <i>Hominis</i> | 15-20 minutos a 66° C o instantáneamente a 67° C |
| <i>Corynebacterium diphtheriae</i> | 45 minutos a 55° C |
| Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i> | 60 minutos a temperaturas superiores a 55° C |

Fuente: Golueke, como se citó en Negro *et al.*, 2000.

1.1.3. Etapa mesofílica II

Con el agotamiento de las fuentes de carbono y nitrógeno, y la desaparición de los microorganismos termófilos, comienza el descenso de la temperatura hasta situarse en temperaturas iguales o inferiores a los 40°C, donde se desarrollan nuevamente los microorganismos mesofílicos que utilizarán como nutrientes los polímeros más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina restantes en las pilas de compost (Sztern y Pravia, 1999).

Con el reinicio de las actividades de los microorganismos mesofílicos el pH del medio desciende levemente, aunque en general tiende a mantenerse alcalino. (Román *et al.*, 2013).

1.1.1. Etapa de maduración

Una vez alcanzada la temperatura ambiente, inicia la etapa de maduración, esta etapa puede llegar a durar varios meses, dependiendo el tipo de material y la destinación final del producto. En ella se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román *et al.*, 2013).

En esta etapa, no es necesario un sistema de aireación ni una elevada frecuencia de volteo, ya que la actividad biológica es menor y las necesidades de oxígeno son mínimas en comparación con las etapas anteriores. Debido a esto, en esta etapa se genera mucho menos calor y el pH se mantiene ligeramente alcalino, por lo que las pilas de maduración pueden tener grandes dimensiones (Barrena, 2006).

1.2. PARAMETROS MAS INFLUYENTES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Dado que el compostaje es un proceso aeróbico, donde intervienen una gran variedad de microorganismos, los factores que afecten su establecimiento y desarrollo, afectaran directamente el proceso. (Barrena, 2006; Gutiérrez, 2013). Estos factores incluyen la relación carbono/ nitrógeno (C/N), temperatura, humedad, pH, y el oxígeno o aireación. (Guerrero y Monsalve, 2006; Negro *et al.*, 2000; Román *et al.*, 2013).

1.2.1. Relación C/N

La relación C/N, nos expresa las unidades de carbono por unidad de nitrógeno presentes en los materiales o la mezcla a compostar. El carbono y el nitrógeno son los nutrientes más importantes en el proceso de compostaje; el carbono como fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno como elemento esencial para la síntesis proteica. (Gordillo y Chávez, 2016; Negro *et al.*, 2000; Sztern y Pravia, 1999).

Autores como Barrena (2006); Negro *et al.* (2000), afirman que una relación C/N adecuada para iniciar el proceso de compostaje debe estar en el rango 25:1 a 35:1. Por otro lado Bohórquez, (2013); Gordillo y Chávez, (2016); Sztern y Pravia (1999); proponen un rango para la relación C/N de 20:1 a 30:1, y una relación óptima de 25:1.

De acuerdo con Román *et al.* (2013); cuando se tienen relaciones iniciales de C/N superiores a 35:1 el proceso tiende a enfriarse y el tiempo de compostaje será mayor. Si por el contrario la relación inicial de C/N en la mezcla de productos a compostar, es menor de 15:1 se producen olores ofensivos por la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco. Estas pérdidas no afectan negativamente al compostaje, pero suponen un derroche de N: nutriente fundamental para los cultivos, así como un problema medioambiental ya que el amoníaco es un gas con un considerable efecto invernadero. (Bueno *et al.*, 2007)

Para obtener una adecuada relación C/N al inicio del proceso de compostaje, se deben mezclar residuos con altos contenidos de nitrógeno como los de origen animal y residuos con altos contenidos de carbono, como los de origen vegetal. A continuación se muestran las ecuaciones usadas por Guerrero y Monsalve (2007); para calcular la relación C/N óptima a partir de la humedad y las cantidades presentes de cada nutriente en los residuos del centro de beneficio animal “Guayabito” en Santa Rosa de Cabal, Colombia.

Ecuaciones para cada tipo de residuo a ser mezclado:

Contenido de Agua= Cantidad a compostar x humedad
Contenido de materia seca= Cantidad a compostar x (1 – humedad)
Contenido de nitrógeno= Contenido de materia seca x Nitrógeno
Contenido de Carbono= Contenido de nitrógeno x Relación C/N

Ecuaciones para hallar la relación C/N y humedad en mezcla:

$$\text{Relacion C/N} = \frac{\Sigma \text{ contenido de carbono en cada residuo}}{\Sigma \text{ contenido de nitrogeno en cada residuo}}$$

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(\Sigma \text{ contenido de agua de cada residuo}) * 100}{\text{cantidad total a compostar}}$$

Fuente: Guerrero y Monsalve, 2006

1.2.2. Temperatura

Un parámetro útil y relevante para monitorear el compostaje es la temperatura. Con el registro de temperaturas diario se establece el patrón de comportamiento del proceso. Las variaciones en el comportamiento normal del patrón pueden indicar disminución o cambios en la actividad microbiológica (USDA, 2000).

De acuerdo con Bueno *et al.* (2007); debido a la relación directa que existe entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica, y la relación directa que existe entre la degradación y el tiempo durante el cual la temperatura ha sido alta, el comportamiento de la temperatura puede definir la eficiencia y el grado de estabilización al que ha llegado el proceso.

El compostaje inicia a temperatura ambiente, el incremento de la actividad biológica genera calor que es retenido por la masa de residuos a compostar, lo que provoca un incremento general de la temperatura. El aumento de la temperatura en la primera fase del proceso indica presencia de material fácilmente degradable y condiciones favorables para el desarrollo de microorganismos (Barrena, 2006)

Mantener temperaturas elevadas asegura la correcta higienización del material y aumenta la velocidad de descomposición del material; sin embargo temperaturas muy altas (mayor a 70° C) inhiben la actividad de la mayoría de los microorganismos que

intervienen en el proceso. Por otro lado cuando la temperatura no aumenta puede atribuirse a baja humedad, material insuficiente, o inadecuada relación C/N (Román *et al.*, 2013).

1.2.3. pH

El pH varía durante el proceso (figura 9) debido a su acción sobre los microorganismos, lo que lo hace un parámetro importante para evaluar el desarrollo de los mismos y el grado de estabilización alcanzado por los residuos. (Thobanoglous *et al.*, como se citó en Muñoz, 2005).

El inicio del proceso de compostaje se caracteriza por un pH ácido debido a los ácidos orgánicos desprendidos por la degradación biológica de los compuestos carbonatados de cadena corta o de fácil descomposición (Gutiérrez, 2013); seguidamente se produce una progresiva alcalinización del medio debido a la pérdida de ácidos orgánicos y como consecuencia de la formación de amonio. Finalmente en la tercera etapa del proceso el pH tiende a la neutralidad debido a la aparición de compuestos húmicos y la propiedad tampón que adquiere el compost por el contenido de materia orgánica (Bueno *et al.*, 2007)

Para tener una población variada de microorganismos al inicio del proceso, se recomienda tener una mezcla con pH cercana a 7. Los valores extremos de pH no son un impedimento para el desarrollo del proceso, pero afectan la puesta en marcha, el tipo de reacciones y la velocidad del proceso (Barrena, 2006).

Cuando los residuos orgánicos presentan un pH marcadamente ácido se debe realizar una neutralización mediante la adición de Piedra Caliza, Calcáreo o Carbonato de Calcio de uso agronómico. Por otro lado, cuando los valores de pH son superiores a 8 también son agentes inhibidores del crecimiento, haciendo precipitar nutrientes esenciales del medio, de forma que no son asequibles para los microorganismos (Sztern y Pravia, 1999).

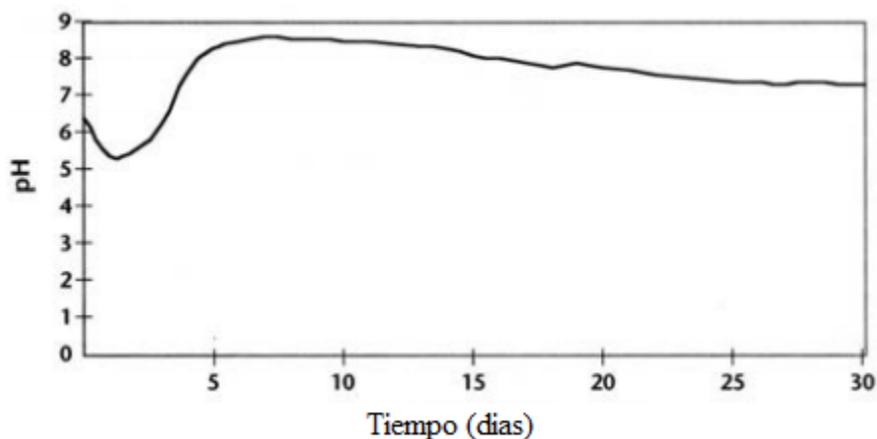


Figura 9. Comportamiento del pH durante el primer mes de compostaje
Fuente: NYC Department of sanitation, 2012

1.2.4. Humedad

La importancia de la humedad radica en que los microorganismos utilizan el agua como medio de transporte de las sustancias solubles que les sirven de alimento. Un rango de humedad óptimo para el crecimiento microbiano es de 50-70%; cuando la humedad desciende de 30% disminuye la actividad biológica. Si la humedad supera el 70% el agua desplaza el aire en los espacios libres, reduciendo la transferencia de oxígeno y produciendo condiciones anaeróbicas (Bueno *et al.*, 2007); este hecho provoca la aparición de olores ofensivos, generación de lixiviados y pérdida de nutrientes (Barrena, 2006)

De acuerdo con Román *et al.* (2013) cuando la humedad está por debajo de 45% se puede aumentar por medio de riegos o agregando material con alto contenido de humedad; si por el contrario la humedad es muy alta, se puede disminuir por medio de volteos o agregando material con bajo contenido de humedad como serrines, paja u hojas secas.

1.2.5. Oxígeno

Debido a que el compostaje es un proceso aeróbico, es indispensable la presencia de oxígeno para el desarrollo y la supervivencia de los microorganismos que intervienen en él. De acuerdo con Román *et al.* (2013) la saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación produce una disminución de la temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso se detenga por falta de agua. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis.

El suministro de oxígeno al material en descomposición se realiza mediante sistemas de aireación y/o sistemas de volteo dependiendo el método de compostaje utilizado. Además la aireación también se realiza de manera pasiva cuando las pilas de compost tienen la porosidad y estructura adecuada que favorece el intercambio de gases. (Barrena, 2006)

La aireación del material en descomposición cumple tres funciones; suministrar oxígeno para permitir la actividad microbiológica, eliminar el exceso de humedad y liberar el calor producido para regular la temperatura (Haug, como se citó en USDA, 2000).

1.3. PARAMETROS DE CALIDAD QUE DEBEN GARANTIZAR LOS ABONOS O ENMIENDAS Y FERTILIZANTES ORGANICOS

La calidad del compost está determinada por sus características físicas, químicas y biológicas. La calidad requerida, dependerá del uso final y de la sensibilidad de ese uso. (USDA, 2000).

De acuerdo con Bohórquez (2013) “la calidad de un compost es generalmente basada en la evaluación de parámetros como pH, contenido de sales solubles, estabilidad y la presencia de componentes indeseables como semillas de malezas, metales pesados, compuestos Fito tóxicos [sic] y objetos extraños.”

En Colombia, el instituto colombiano agropecuario (ICA) en la resolución 00150 de 2003 orienta sobre la comercialización, uso y manejo adecuado de fertilizantes de suelo. En esta resolución, también se establecen requisitos y procedimientos armonizados con las reglamentaciones internacionales vigentes, especialmente en lo relacionado con terminología, clasificación, composición garantizada, etiquetado, tolerancias, contenidos mínimos permisibles y parámetros para verificación de la conformidad.

Además, la norma técnica colombiana (NTC) 5167 emitida por el instituto colombiano de normas técnicas (ICONTEC) en el año 2004, establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo. Algunos de estas características se reúnen en la tabla 2.

Tabla 2. Requisitos específicos para fertilizantes o abonos orgánicos en Colombia.

| PARAMETRO A CARACTERIZAR | LIMITES PERMISIBLES |
|---|---|
| Contenido de cenizas | Máximo 60% |
| Contenido de Humedad | |
| Predominan materiales de origen animal | Máximo 20% |
| Contenido de carbono orgánico oxidable total | Mínimo 15% |
| Contenido N total | Declararlos si cada uno es mayor al 1%. |
| Contenido P ₂ O ₅ total | Declararlos si cada uno es mayor al 1%. |
| Contenido K ₂ O total | Declararlos si cada uno es mayor al 1%. |
| Relación C/N | Declararla |
| Capacidad de Intercambio Catiónico CIC | Mínimo 30 meq/100 g suelo |
| Capacidad de retención de humedad | Mínimo su propio peso |
| pH | Mayor de 4 y menor de 9 |
| Densidad | Máxima 0.6 g/cm ³ |
| Metales pesados | |
| Arsénico | 41 mg/kg |
| Cadmio | 39 mg/kg |
| Cromo | 1200 mg/kg |
| Mercurio | 17 mg/kg |
| Níquel | 420 mg/kg |
| Plomo | 300 mg/kg |
| Poblaciones Salmonella spp. | Ausente 25 g producto final |
| Poblaciones Enterobacterias totales | < 1000 UFC / g producto final |

Fuente: ICONTEC, NTC 5167 de 2004.

3. METODOLOGIA

3.1. LOCALIZACION GEOGRAFICA

El experimento se realizó en la planta de compostaje de Ceagrodex del Huila S.A. La planta se encuentra ubicada en el kilómetro 12 por la vía que de la ciudad de Neiva conduce al sur en el departamento del Huila. Geográficamente la planta de compostaje se sitúa entre 2°49'51'' latitud norte y 75°17'49'' longitud oeste.

3.2 DESCRIPCION GENERAL DEL EXPERIMENTO

Para la realización del presente estudio se recolectó residuos orgánicos provenientes en su mayoría del proceso de beneficio del ganado bovino y porcino en Ceagrodex del Huila durante 15 días. Una vez recolectado el material se realizó la formación de pilas verdes a cielo abierto.

El monitoreo y control de la temperatura y pH en este experimento se efectuó a partir del momento en que se realizó el primer volteo a las pilas verdes. Los volteos de pila se realizaron con una maquina volteadora de compost accionada por tractor; inicialmente una vez por semana y luego con lapsos más largos en el tiempo dependiendo en la fase que se encontraba el proceso. El primer volteo depende en gran medida de las condiciones climáticas de la zona, temperatura y humedad de la pila verde. Si la pila tiene alta humedad (>70%), se dificulta su manipulación y la maquinaria no puede realizar labores.

Para mantener la humedad adecuada (50% - 60%) y ayudar a la rápida descomposición de los residuos, las pilas fueron regadas durante las dos primeras fases de compostaje con un coctel de microorganismos preparado con anterioridad. Durante la fase mesofílica II, las pilas fueron humedecidas únicamente con agua.

A cada una de las pilas se agregó 50 kg de cal al momento de establecerlas en campo, y durante las primeras dos fases de compostaje se agregaron 100kg mas de cal para un total de 150kg durante todo el proceso, esto con el fin de disminuir la emisión de malos olores y regular el pH.

El monitoreo de la temperatura y humedad se realizó diariamente durante todo el proceso a las 10 am \pm 1 hora, la medición del pH se realizó una vez por semana y la evaluación de la calidad final del compost se realizó una vez terminado el proceso, en el laboratorio de suelos y agua de la universidad Surcolombiana de Neiva, a excepción del nitrógeno, el cual se cuantificó en el laboratorio nacional de suelos del instituto geográfico Agustín Codazzi IGAC.

Desde la formación de pilas verdes en campo hasta el primer volteo transcurrieron 15 días. A partir de ese momento y hasta la recolección de las pilas transcurrieron 147 días; por lo que la duración total del proceso de compostaje fue 162 días. El compost recolectado fue llevado a la bodega a granel donde permanecerá por los menos dos meses más antes de ser tamizado y empacado en bolsas de 10kg y 40kg.

3.1.1. Recolección de materias primas

La materia prima para la obtención de compost son principalmente residuos orgánicos provenientes del beneficio del ganado bovino y porcino; estiércol bovino y porcino, lodos extraídos de la laguna de oxidación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y material vegetal resultante de podas, aseo de los patios de la planta, y camas para el transporte de ganado.

La mayor parte de estos residuos son recolectados diariamente, mezclados y almacenados en el cuarto de almacenamiento de residuos orgánicos. Es un cuarto de aproximadamente 13m x 27m, cubierto, ventilado, y está dotado de un canal para la recolección de lixiviados, el cual conduce hasta el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Para el presente estudio se recolectó residuos orgánicos durante 15 días, se mezcló en proporciones adecuadas (Tabla 3) y se almacenó en el cuarto anteriormente descrito.

3.1.1.1. Residuos planta bovina

Vómito: los animales al ser insensibilizados vomitan; estos vómitos son recolectados en una canastilla o trampa que se conecta a la planta de beneficio por una tubería. La canastilla es posteriormente retirada por el tractor y llevada hasta el sitio de almacenamiento del material de partida.

Sangre: la sangre que queda en el canal de sangría al final del proceso de beneficio bovino, no es utilizada para la fabricación de harina de sangre. Esta sangre es conducida por una tubería hasta la canastilla de vómitos. La canastilla es posteriormente llevada hasta el sitio de almacenamiento del material de partida.

Pelos: En una olla centrífuga equipada con aspas fijas, donde se inyecta agua a 70 °C se pelan las patas y manos del animal. Los pelos son conducidos por una tubería hasta la zona de pieles, donde son empacados en tulas y transportados por el tractor hasta el sitio de almacenamiento de materias primas.

Orejas y caretas: las orejas y caretas son retiradas de la cabeza del animal y conducida por una banda transportadora hasta la zona de pieles. Allí se cocinan durante 12 horas en una olla autoclave a 70 °C y 120 psi; esto con el fin de disminuir los malos olores y evitar la atracción de animales como roedores, gallinazos y otros vectores. Posteriormente las caretas y orejas son transportadas por el tractor hasta el sitio de almacenamiento de materias primas.

Contenido ruminal: se trata del alimento no digerido que se encuentra en el primer estomago de los rumiantes. El contenido ruminal es conducido por una tubería desde el área de víscera blanca hasta el sitio de almacenamiento de materias primas. Allí es expulsado por un tornillo compactador que retira gran cantidad de humedad al residuo.

3.1.1.2. Residuos planta porcina

Pelos: el animal es introducido en una alberca de escaldado que contiene agua a 65 °C para ablandar los pelos de la piel del cerdo. Los pelos son retirados por una maquina dotada de aspas móviles y enviados mediante tubería a una trampa o canastilla. La canastilla es posteriormente llevada hasta el sitio de almacenamiento del material de partida.

Cascos: los cascos son retirados manualmente por operarios en una parrilla. Este residuo es enviado por tubería a la misma canastilla de pelos. La canastilla es posteriormente llevada hasta el sitio de almacenamiento del material de partida.

Estiércol: es obtenido cuando se realiza el proceso de lavado de víscera blanca. Este estiércol es conducido por tuberías hasta la canastilla de estiércol de corral porcino. La canastilla es posteriormente llevada hasta el sitio de almacenamiento del material de partida.

3.1.1.3. Estiércol de corrales

Estiércol de corrales bovinos: este material es recolectado en trampas o canastillas diariamente con el lavado de los corrales de recepción y corrales de sacrificio bovino. Cuando hay suficiente material en las canastillas, el tractor retira la canastilla y deposita el material en un lugar cubierto y ventilado para que la humedad disminuya hasta que se pueda manipular. Una vez alcanzada la humedad alrededor de 60% el estiércol se lleva al sitio de almacenamiento del material de partida.

Estiércol de corrales porcinos: este material es recolectado en trampas o canastillas diariamente con el lavado de los corrales porcinos. La canastilla es posteriormente llevada hasta el sitio de almacenamiento del material de partida.

3.1.1.4. Lodos

Los lodos son extraídos de la laguna de oxidación de la PTAR con la ayuda de una bomba. Son dejados al aire libre hasta que alcanzan humedad del 60%, necesaria para ser manipulados. Posteriormente es depositado en pequeñas proporciones directamente a las pilas de compostaje.

3.1.1.5. Material Vegetal

El material vegetal utilizado para la obtención de compost en Ceagrodex, proviene de tres fuentes:

Podas y barredura de patios: es el material resultante de las podas de árboles y jardines de la planta, y hojas de los arboles recolectadas en el aseo de los patios de la planta.

Camas para el transporte de ganado: este material es principalmente cascarilla de arroz. Este residuo es aportado por los transportadores que llevan el ganado hasta la planta de beneficio.

Material vegetal aportado por Electrohuila S.A E.S.P.: este material proviene de la poda de los árboles que realiza la empresa Electrohuila para el mantenimiento de sus redes eléctricas.

3.1.2. Formación de pilas

El material recolectado durante 15 días fue suficiente para formar 2 pilas de compostaje. La formación de pilas verdes se realizó transportando el material en un remolque halado por el tractor hasta el primer patio de transformación. Transcurridos 15 días se realizó el primer volteo a las pilas verdes; el primer volteo depende en gran medida de las condiciones climáticas y la humedad de la pila.

Con el primer volteo de pila, esta adquiere su forma característica piramidal e inicia el proceso de monitoreo de las variables.



Figura 10. Pila verde



Figura 11. Pila de compost, primer volteo.

3.1.2.1. Proporciones de cada material a compostar.

Debido a la gran cantidad y variedad de residuos orgánicos que se recolectan, se hace complejo pesarlos diariamente. Las trampas o canastillas, se pesan cada 15 días, y se lleva un registro en el formato R-PCOMP-05 (anexo 1). De acuerdo con los registros históricos, se tiene establecida la cantidad promedio de residuos generados por cada animal sacrificado, así:

- Bovino: 27 Kg
- Porcino: 4.8 Kg

El material vegetal utilizado para la obtención de compost fue una mezcla de hojas secas y cascarilla de arroz. De acuerdo con el manual de compostaje de Ceagrodel Huila, la cantidad de material vegetal que se debe agregar por animal sacrificado para tener condiciones ideales al arranque del proceso, se relacionan en la tabla 3.

Tabla 3. Material vegetal agregado por cada animal sacrificado

| Especie | Cascarilla de arroz (kg) | Hoja de árbol seca (kg) | Total (kg) |
|---------|--------------------------|-------------------------|------------|
| Bovino | 7 | 14 | 21 |
| Porcino | 1 | 2 | 3 |

Fuente: Manual de compostaje Ceagrodex, 2017

Durante los 15 días de recolección del material de partida se sacrificaron 1600 bovinos y 1250 porcinos aproximadamente; las cantidades totales de cada residuo para iniciar el proceso de compostaje se relacionan en la tabla 4.

Tabla 4. Cantidad de residuos empleados para el compostaje

| Especie | Residuo | Residuos por animal (Kg) | Cantidad animales | Residuos totales (Kg) |
|--------------|--------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|
| Bovino | Residuo animal | 27 | 1600 | 43200 |
| | Cascarilla arroz | 7 | | 11200 |
| | Hoja de árbol seca | 14 | | 22400 |
| porcino | Residuo animal | 4,8 | 1250 | 6000 |
| | Cascarilla arroz | 1 | | 1250 |
| | Hoja de árbol seca | 2 | | 2500 |
| Total | | | | 86550 |

3.1.2.2. Dimensiones de las pilas

Las dimensiones de las pilas de compostaje están condicionadas por las dimensiones de la maquina volteadora de compost (figura 12) y el espacio disponible en la planta. La volteadora utilizada en la planta de compostaje de Ceagrodex (Agraris 220), tiene una altura máxima de 1.9 m y una altura mínima de 1.5 m, graduable con cilindros hidráulicos. El ancho de la ventana de la maquina volteadora es de 2.2 m, y la longitud inicial de las pilas fue 60 m aproximadamente.

3.1.3. Coctel de microorganismos

Para favorecer el crecimiento y la aparición de microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje, las pilas fueron humedecidas diariamente con un coctel de microorganismos durante las primeras dos fases del compostaje (mesofilica I y termofilica).

3.1.3.1. Ingredientes:

- 60 kg de melaza
- 5 kg de soya
- 20 litros de yogurt

- 20 litros de suero

3.1.3.2.Preparación:

- Se disuelve completamente los 60 kg de melaza en agua, y se depositan en un tanque de 5000 litros
- Se depositan 20 litros de yogurt y 20 litros de suero en el tanque de 5000 litros.
- La soya es empacada en una bolsa de malla fina para evitar que los granos obstruyan la bomba, y es introducida al tanque.
- Se completa el volumen del tanque (5000 litros) con agua limpia y se deja fermentar la mezcla durante 10 días para iniciar su aplicación.



Figura 12. Maquina volteadora de compost. Agraris 220.

3.2. MONITOREO DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA EVALUADAS DURANTE EL PROCESO

3.2.1. Temperatura

La temperatura se midió diariamente después del primer volteo de pila en 6 puntos diferentes a lo largo de las pilas de compost a una profundidad de 0.8 metros, con un termómetro de sonda marca Vici, modelo CHY801. (Anexo 2)

3.2.2. pH

Para la medición del pH se tomaron 6 submuestras a lo largo de toda la pila alcanzando diferentes profundidades y se mezclaron para obtener una muestra de 1kg. Las muestras se tomaron a 2, 5, 14, 21, 28, 37, 44, 51, 58, 65, 73, 80, 87, 92, 98, 105, 112, 119, 126, 133, 147 días después de realizar el primer volteo a las pilas verdes

establecidas en campo y fueron analizadas por duplicado en el laboratorio de suelos de la universidad Surcolombiana, en extracto acuoso relación 1:5 (10 gr muestra/ 50ml de agua destilada) utilizando un potenciómetro Thermo Scientific Orion. (Anexo 3)

3.2.3. Humedad

Para determinar el contenido de humedad en las pilas de compost, se utilizó la técnica manual o de puño cerrado sugerida por Uicab-Brito y Sandoval, 2003; Altamirano y Cabrera, 2006; Sztern y Pravia 1999; Román *et al.*, 2013.

Durante las fases mesofílica I y termofílica, las pilas son regadas con coctel de microorganismos hasta obtener la humedad deseada (50% - 60%) y durante la fase mesofílica II las pilas son humedecidas únicamente con agua.

3.2.4. Oxígeno

Debido a que las pilas son estáticas con aireación pasiva, se debe suministrar oxígeno por medio de volteos. Los volteos de pilas se realizan teniendo en cuenta principalmente la temperatura y la humedad; cuando la humedad de la pila es mayor a 60%, la maquina utilizada no puede realizar el volteo. A la pila 1 se le realizaron 11 volteos, los días 8, 17, 27, 33, 40, 47, 54, 75, 96, 117, 138; y a la pila 2 se le realizaron 10 volteos, los días 8, 17, 27, 33, 40, 54, 75, 96, 117, 138, ambos casos exceptuando el primer volteo de las pilas, el cual se realizó a las pilas verdes.

3.3. METODOS DE MUESTREO Y TECNICAS DE LABORATORIO UTILIZADAS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL COMPOST

3.3.1. Método de muestreo

Las muestras para el monitoreo del pH y la evaluación de la calidad final del compost fueron tomadas conforme el protocolo del laboratorio INIA (2015), que recomienda tomar 1 submuestra cada 10 metros de pila de compost a diferentes profundidades, posteriormente se mezcló y homogenizó las submuestras en un balde limpio para obtener una muestra representativa de 1kg. Las muestras fueron empacadas en bolsas tipo ziploc®, rotuladas y depositadas en una nevera de icopor hasta su traslado al laboratorio.

3.3.2. Métodos de laboratorio utilizados para determinar las variables evaluadas

Las variables consideradas por este estudio para determinar la calidad final del compost fueron evaluadas de acuerdo con la NTC 5167 de 2004 y ajustadas a los métodos utilizados por el laboratorio de suelos y agua de la universidad

Surcolombiana, y laboratorio nacional de suelos del IGAC, donde se cuantifico el nitrógeno.

Tabla 5. Parámetros evaluados para la determinación de la calidad del compost.

| PARAMETRO A CARACTERIZAR | METODO |
|--|---------------------------------------|
| Contenido de cenizas | Calcinación a 550°C |
| Contenido de Humedad | Horno de secado |
| Contenido Na | NTC 5349 |
| Contenido de carbono orgánico oxidable total | NTC 5403 método B, Walkley Black |
| Contenido N total | Kjeldahl |
| Contenido P2O5 total | NTC 5350 Bray II |
| Contenido K2O total | NTC 5349 |
| Relación C/N | Relación matemática; C/N |
| Capacidad de Intercambio Catiónico CIC | NTC 5268 |
| Capacidad de retención de humedad | Relación matemática; g agua/g suelo |
| Ph | Potenciómetro, Relación, 1:5 NTC 5264 |
| Densidad | NTC 5167 |
| Conductividad eléctrica | Extracto de saturación, NTC 5596 |
| contenido de materia orgánica | Calcinación a 550°C |

Fuente: Laboratorio de suelos y agua Universidad Surcolombiana; Laboratorio nacional de suelos del IGAC

4. ANALISIS DE DATOS

Para realizar el análisis de los resultados obtenidos se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS® Centurión XVI, llevando a cabo una comparación de dos muestras independientes, donde se ejecutó una prueba *t* para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% entre las medias de los parámetros evaluados en las muestras de compost de este estudio.

De la misma manera, se realizó una prueba *t* para para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los datos mostrados en la etiqueta del compost que comercializa Ceagrodex del Huila S.A (ceagrocompost) y las medias de los parámetros evaluados en las muestras de compost de cada pila.

5. RESULTADOS Y ANALISIS

5.1. EVOLUCION DEL COMPOST

5.1.1. Temperatura

De acuerdo con la figura 13, las pilas iniciaron el proceso a una temperatura propia de la fase mesofílica, por debajo de los 40°C. Al tercer día del proceso la pila 1 alcanza

temperaturas por encima de los 45°C, temperatura que se ubica dentro del rango de la fase termofílica. La pila 2, alcanza temperaturas por encima de 45°C al segundo día del proceso. De acuerdo con autores como Román *et al.* (2013); Uicab-Brito y Sandoval (2003), el aumento acelerado de la temperatura al inicio del proceso se debe al calor producido por la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos incluidos en el proceso de descomposición.

Las temperaturas de la fase termofílica, es decir por encima de 45°C se extendieron por cerca de 90 días para ambas pilas. Según Escobar, Sánchez y Azero (2012), las temperaturas elevadas durante un largo tiempo en el proceso de compostaje, se deben a la adición de preparados biodinámicos al compost. La temperatura más alta que alcanzó la pila 1 fue 70.3°C y para la pila 2 el pico de temperatura fue 70.1°C. De acuerdo con autores como Barrena (2006); Sztern y Pravia (1999), esto supone una correcta higienización del material; cuando el compost alcanza temperaturas cercanas a 70°C, se eliminan microorganismos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables.

Con la disminución de las fuentes de nitrógeno y carbono, las pilas comienzan a disminuir la temperatura, la pila 1 llegó nuevamente a los 45°C cuando transcurrieron 92 días de proceso, mientras que la pila 2 alcanzó esta temperatura a los 100 días del proceso. A partir de ese momento inició la tercera fase de compostaje, fase mesofílica II; las pilas continuaron el proceso con una disminución paulatina de la temperatura hasta que alcanzó la temperatura ambiente (35°C a 33°C), por lo que a los 147 días de proceso se recogieron las pilas de compost y se dio inicio a la fase de maduración.

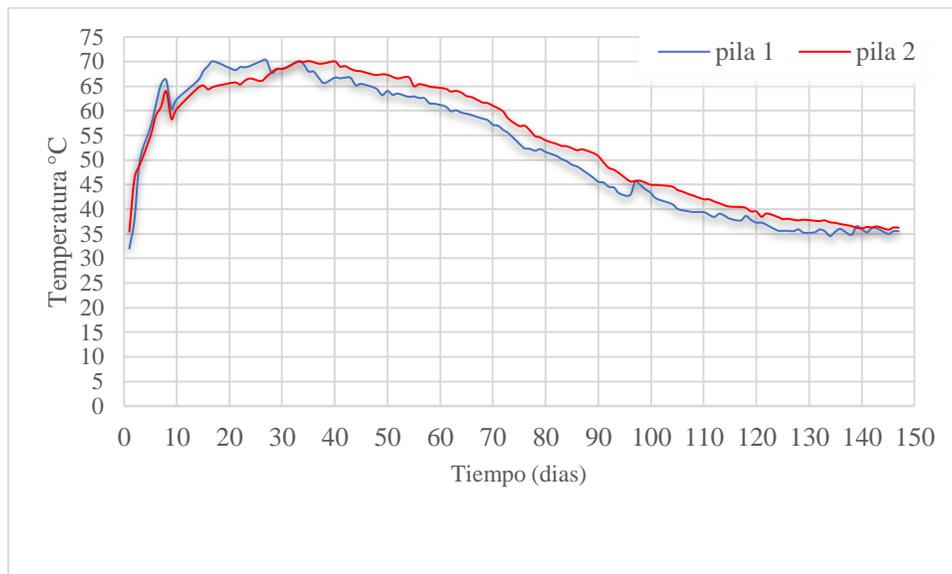


Figura 13. Comportamiento de la temperatura de las pilas durante el proceso de compostaje.

En términos generales, el comportamiento de la temperatura en las pilas de compost se asemeja al comportamiento registrado por Riera (2016), en pilas de compost utilizando residuos de faenado bovino, donde el compost presentó aumento acelerado de la temperatura al inicio del proceso, una fase termofílica que se alarga por varias semanas y una disminución lenta de temperatura hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Por otro lado, el registro de temperaturas tomado por Bahamón (2016) en la misma planta de compostaje se diferencia con los registros de temperaturas tomados en este estudio, en la medida en que la primera fase de compostaje tarda alrededor de 20 días y el proceso tiene una fase termofílica más corta, lo que redujo el tiempo de compost en aproximadamente 30 días. Esto se debió posiblemente por la composición inicial de las pilas y los volteos realizados durante el proceso, los cuales fueron más frecuentes en el estudio de Bahamón (2016).

5.1.2. pH

El siguiente gráfico relaciona el comportamiento del pH promedio para las dos pilas de compost durante el tiempo de monitoreo.

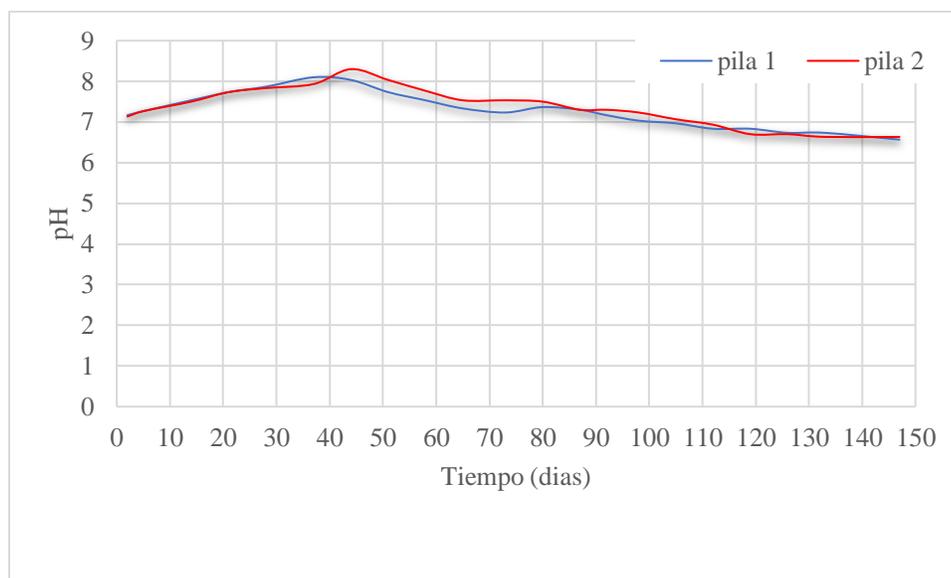


Figura 14. Comportamiento del pH de las pilas durante el proceso de compostaje.

De acuerdo con la figura 14, las pilas 1 y 2 presentan valores muy similares durante todo el proceso, con variaciones muy pequeñas cada semana. El compostaje inició con un pH muy cercano al neutro (7.2 y 7.1 respectivamente) y paulatinamente aumentó hasta que la pila 1 alcanzó un pH de 8.1 a los 37 días de proceso y la pila 2 alcanzó un pH de 8.3 a los 44 días de proceso. A partir de ese momento comenzó el descenso del pH, hasta obtener al final del proceso valores de pH por debajo del neutro; 6.56 para la pila 1 y 6.6 para la pila 2.

Normalmente los valores de pH al inicio del proceso tienden a ser un poco ácidos debido a la generación de ácidos orgánicos que resultan de la descomposición de los compuestos más simples presentes en los residuos. Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio se deben probablemente a la aplicación de cal agrícola a las pilas de compost en el inicio del proceso y también al tiempo que duraron las primeras muestras en ser trasladadas al laboratorio para ser analizadas (40 días aproximadamente).

De acuerdo con autores como Bueno *et al.*, (2007); Escobar *et al.* (2012); Román *et al.* (2013), entre otros, los valores de pH obtenidos durante el proceso y al final del mismo se consideran óptimos ya que se encuentran dentro de los rangos permisibles para el desarrollo de diferentes grupos fisiológicos encargados de la descomposición de los residuos.

En general, los resultados obtenidos en este trabajo, guardan gran similitud con los mostrados por Riera (2015); en pilas de compost utilizando residuos de faenado bovino; quien obtuvo pH ligeramente ácidos al inicio del proceso, posterior alcalinización del medio y un producto final con pH entre 6 y 7 para 3 pilas de compost. Por otro lado, los resultados mostrados por Brito *et al.* (2016); Oviedo, Marmolejo y Torres (2016), quienes utilizaron residuos sólidos orgánicos municipales y de plaza de mercado, muestran pH cercanos a 9 al final del proceso, lo que los autores relacionan con el tipo de residuos utilizados para realizar el proceso de compostaje.

5.2. CALIDAD DEL COMPOST

5.2.1. Análisis fisicoquímico del compost

En la tabla 6 se presenta una comparación de medias usando la prueba *t* de student para cada uno de los parámetros evaluados al compost.

El intervalo de confianza para la diferencia entre las medias de cada parámetro, se construyó asumiendo que las varianzas de las dos muestras son iguales. Aquellos intervalos que contengan el valor 0, indican que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias con un nivel de confianza del 95%. Del mismo modo, el valor-P calculado que sea mayor o igual a 0,05, indica que la diferencia entre las medias es igual a 0,0 con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 6. Resultados de los análisis efectuados al compost y resultados de la prueba *t* para comparación de medias.

| PARAMETRO | PILA 1 | PILA 2 | Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias | valor-P |
|---|--------|--------|--|-------------|
| Carbono Orgánico Oxidable Total (%) | 21,95 | 19,59 | [-0,934313; 5,64765] | 0,117691 |
| Materia orgánica (%) | 74,10 | 55,98 | [7,34157; 28,8918] | 0,00953114 |
| Cenizas (%) | 25,90 | 44,68 | [-29,6013; -7,96539] | 0,008518 |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol+/kg) | 45,69 | 36,93 | [6,01804; 11,5086] | 0,000895099 |
| Capacidad de Retención de humedad (%) | 131,33 | 131 | [-2,11527; 2,78194] | 0,724659 |
| Conductividad Eléctrica (ds/m) | 13,05 | 14,06 | [-1,05564; -0,957695] | 5,64E-07 |
| Nitrógeno Total (%) | 2,89 | 2,52 | [-0,0204177; 0,760351] | 0,0581099 |
| Fosforo (P ₂ O ₅) (%) | 0,70 | 0,86 | [-0,279998; -0,0433349] | 0,0192151 |
| Potasio total (K ₂ O) (%) | 17,79 | 16,57 | [1,0443; 1,39231] | 4,12833E-05 |
| Sodio (Na) (%) | 6,08 | 6,86 | [-0,801776; -0,740891] | 2,45E-07 |
| Humedad (gravimétrica) (%) | 19,23 | 8,4 | [9,2197; 12,447] | 0,000048761 |
| pH | 6,57 | 6,63 | [-0,19755; 0,0642166] | 0,2302 |
| Densidad (g/cm ³) | 0,45 | 0,5 | [-0,0846285; -0,0153715] | 0,0160108 |
| Relación C/N | 7,63 | 7,79 | [-1,61783; 1,29886] | 0,776545 |

De acuerdo a lo anterior, existen diferencias entre las medias de los parámetros: materia orgánica, cenizas, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, fosforo, potasio, sodio, humedad, y densidad. Sin embargo, los parámetros con las diferencias más notables son materia orgánica, cenizas, capacidad de intercambio catiónico y humedad.

Debido a que las pilas recibieron el mismo tratamiento durante todo el proceso, excepto por un volteo adicional realizado a la pila 1, las diferencias entre las medias de los parámetros materia orgánica y cenizas posiblemente se deben a un insuficiente mezclado del material al inicio del proceso.

La pila 1 tiene 18,12% más materia orgánica que la pila 2. De acuerdo a diferentes autores, el contenido de materia orgánica afecta directamente la capacidad de intercambio catiónico de un suelo, lo que explica en gran medida la diferencia que existe entre la capacidad de intercambio catiónico de la pila 1 y la pila 2, que es de 8,76 cmol+/kg.

En cuanto a la diferencia que existe en el contenido de humedad, posiblemente se debió a un error en la toma de la muestra; por tomar submuestras a diferentes

profundidades de la pila, las cuales tienen mayor contenido de humedad a mayor profundidad o por insuficiente homogenización de las submuestras en el balde.

A pesar de la diferencia estadística que existe en la conductividad eléctrica, los valores obtenidos, 13,05 y 14,06 ds/m, para la pila 1 y 2 respectivamente son muy similares. El valor de la conductividad eléctrica refleja indirectamente el contenido de nutrientes que puede tener el compost. De acuerdo con Bohorquez (2013), la variable conductividad eléctrica aumenta durante el proceso debido a la degradación y mineralización de los materiales orgánicos, los cuales van liberando compuestos responsables de la salinidad en el compost. En consecuencia los altos contenidos de nitrógeno, potasio y sodio ayudaron a que se llegara a estos valores de conductividad eléctrica en ese momento del proceso de compostaje.

Los valores de carbono orgánico oxidable total, capacidad de retención de humedad, nitrógeno total, pH y la relación C/N no tienen diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%.

3.1.1. Verificación de calidad del producto de acuerdo a la norma ICONTEC (NTC 5167)

En la tabla 7 se presentan las medias de los resultados obtenidos de los análisis efectuados a las muestras de compost, los valores registrados en la etiqueta del compost que comercializa Ceagrodex (Ceagrocompost) y los valores que deben garantizar estos parámetros de acuerdo a la NTC 5167.

Tabla 7. Comparación de resultados con valores de Ceagrocompost y NTC 5167

| PARAMETRO | PILA 1 | PILA 2 | CEAGROCOMPOST | NTC 5167 |
|---|--------|--------|---------------|-------------------------|
| Carbono Orgánico Oxidable Total (%) | 21,95 | 19,59 | 19,9 | ≥ 15% |
| Cenizas (%) | 25,90 | 44,68 | 54,7 | ≤ 60% |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol+/kg) | 45,69 | 36,93 | 53,2 | ≥ 30 cmol+/kg |
| Capacidad de Retención de humedad (%) | 131,33 | 131 | 148 | ≥ 100% |
| Conductividad Eléctrica (ds/m) | 13,05 | 14,06 | 0,15 | --- |
| Nitrógeno Total (%) | 2,89 | 2,52 | 1,43 | ≥ 1% |
| Fosforo (P ₂ O ₅) (%) | 0,70 | 0,86 | 2,37 | ≥ 1% |
| Potasio total (K ₂ O) (%) | 17,79 | 16,57 | 0,79 | ≥ 1% |
| Sodio (Na) (%) | 6,08 | 6,86 | 1,23 | --- |
| Humedad (gravimétrica) (%) | 19,23 | 8,4 | 8,4 | ≤ 20% |
| pH | 6,57 | 6,63 | 5,06 | 4 – 9 |
| Densidad (g/cm ³) | 0,45 | 0,5 | 0,46 | ≤ 0,6 g/cm ³ |
| Relación C/N | 7,63 | 7,79 | 13,92 | --- |

Según la comparación de medias realizadas (Figura 15) entre cada una de las pilas de compost y los datos aportados por ceagrocompost, el carbono orgánico oxidable total, es el único parámetro que no tiene diferencias estadísticamente significativas entre las dos pilas y ceagrocompost con un nivel de confianza del 95%. Además, los valores de carbono orgánico oxidable total, coinciden con los reportados por Defrieri *et al.* (2005) y Escobar *et al.* (2012); y se encuentran dentro de lo establecido por la NTC 5167 ($\geq 15\%$).

El contenido de cenizas tiene una diferencia notable entre las pilas de compost y ceagrocompost. Sin embargo, los tres valores citados en la tabla se encuentran dentro del rango establecido por la NTC 5167 ($<60\%$).

Los valores de conductividad eléctrica, muestran una gran diferencia en relación con el valor referenciado por ceagrocompost. Esto se debió posiblemente a la metodología utilizada para la determinación. En este estudio se realizó la medición utilizando el extracto de saturación mientras que para ceagrocompost se determinó utilizando la relación 1:200 compost: agua. Sin embargo, los resultados obtenidos por otros autores muestran la gran variedad de valores que puede tener este parámetro en abonos o enmiendas orgánicas; así, Altamirano y Cabrera, (2006), citan valores de 21,1 y 16,83 ds/m, Chilón (2011) encontró valores entre 2,85 y 3,55 ds/m; Bohorquez (2013), cita valores entre 4 y 8 ds/m; Martínez, Miglierina, Luna, Van Konijnenburg y Pellerejo, (2008) encontraron valores entre 1,5 y 2,8 ds/m. Así mismo Christian, Evanylo y Pease (2009) afirman que si el compost se usará como mejorador de suelos, la conductividad eléctrica no debe superar 20 ds/m.

Los resultados de nitrógeno, fósforo, potasio y sodio, muestran diferencias estadísticamente significativas con los resultados reportados por ceagrocompost. No obstante, para este estudio, el nutriente que no cumple con lo establecido por la NTC 5167, es el fósforo; y para ceagrocompost el nutriente que no cumple con lo establecido en la NTC 5167 es el potasio.

Las dos pilas evaluadas tienen alrededor del doble de contenido de nitrógeno que lo reportado por ceagrocompost. Sin embargo los resultados son similares a los reportados por Guerrero y Monsalve (2007), (2,0 y 1,49%) y Riera (2015), (3,1%) quienes usaron mezclas de estiércol bovino, contenido ruminal y material vegetal.

La mayor diferencia dentro de los macronutrientes existe en el potasio. Para este estudio, se obtuvo valores de 17,79% y 16,57%, mientras que ceagrocompost reportó 0,79%. De igual manera, los valores de sodio encontrados en este estudio superan en alrededor de 5% los valores de sodio de ceagrocompost.

En cuanto al pH, a pesar de las diferencias estadísticamente significativas encontradas, los valores son muy similares. Los tres valores reportados son ligeramente ácidos, 6,57 y 6,63 para las pilas evaluadas en este estudio y 5,06 para ceagrocompost y se encuentran en el rango de 4 a 9 establecido por la NTC 5167.

La densidad de la pila 1 y ceagrocompost no muestran diferencias estadísticamente significativas entre sí, pero sí con la pila 2. Sin embargo, los valores son muy similares, $0,45 \text{ g/cm}^3$ para la pila 1, $0,5 \text{ g/cm}^3$ para la pila 2 y $0,46 \text{ g/cm}^3$ para ceagrocompost. Los tres valores cumplen con lo que establece la NTC 5167 ($<0,6 \text{ g/cm}^3$)

Al igual que la mayoría de los parámetros evaluados, los valores de la relación C/N encontrados en este estudio, muestran diferencias estadísticamente significativas con los valores reportado por ceagrocompost. La NTC 5167, no establece un valor de referencia para la relación C/N, sin embargo, diferentes autores, mencionan que la relación C/N al final del proceso de compostaje debe estar entre 10 y 20. De acuerdo a lo anterior, ceagrocompost ofrece un valor aceptable de relación C/N (13,92), mientras que la relación C/N en este estudio estuvo por debajo de 10 (7,63 y 7,79). Estos valores coinciden con los reportados por Pérez R, Pérez A y Vertel, (2010), en un compost realizado a partir de estiércol bovino (7,44). Los autores relacionan este parámetro con la velocidad de liberación de nutrientes al suelo y mencionan que un compost con una relación C/N menor a 10 supone una liberación más rápida de nutrientes por parte del compost.

Además de las posibles causas de las diferencias mencionadas, otro factor que influenció en los resultados fue el momento en el que se tomaron las muestras a analizar. Para este estudio, los análisis se realizaron al momento de finalizar la tercera fase de compostaje, es decir la fase mesofílica II, mientras que los análisis que realiza Ceagrodex se hacen al compost que ya se encuentra maduro, es decir después de transcurrir mínimo 2 meses de terminada la fase mesofílica II.

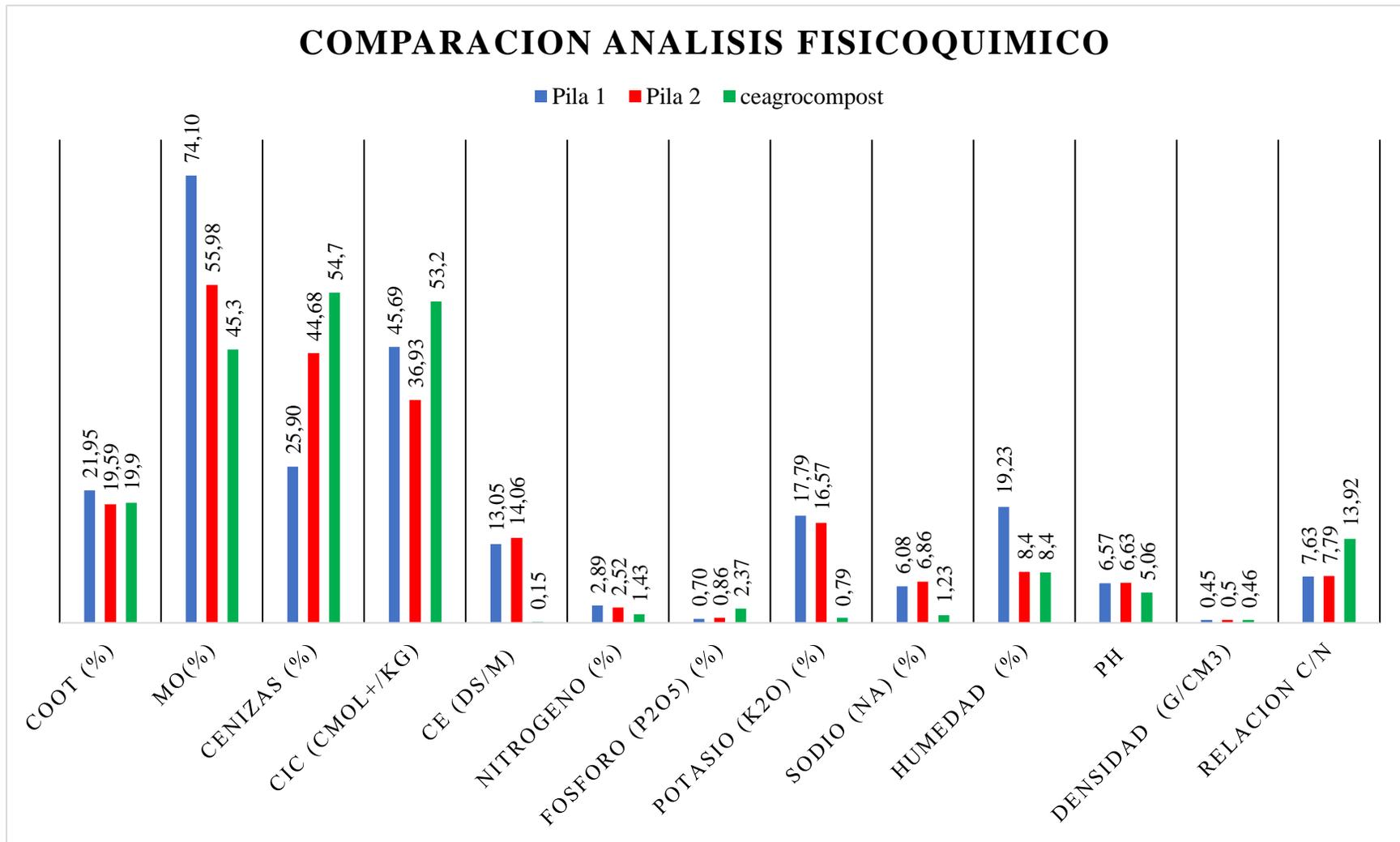


Figura 15. Comparación grafica del análisis fisicoquímico del compost

6. CONCLUSIONES

Basado en la NTC 5167; de los parámetros evaluados en este estudio, todos cumplen con los requisitos exigidos, a excepción del porcentaje de fósforo el cual es menor al 1% y no deberá presentarse en la etiqueta del producto. El abono se considera un abono rico en nitrógeno y potasio.

El monitoreo de la temperatura y el pH permite verificar el desarrollo del proceso del compost. Además, el registro diario de temperatura permite conocer parcialmente el grado de madurez y esterilización que alcanza el material.

Algunos de los parámetros evaluados al compost en este estudio, mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí con un nivel de confianza del 95%. Sin embargo, para ofrecer un producto con características homogéneas al consumidor, las pilas que van reduciendo su volumen, se van mezclando con otras pilas que lleven el mismo tiempo de proceso. De esta manera, también se optimiza el uso del espacio en la planta y se minimizan las diferencias de contenido que existe entre las pilas. Adicionalmente, el compost maduro es sometido a una nueva mezcla cuando se tamiza y se empaca.

Debido a la alta conductividad eléctrica que tiene el compost, se debe usar como acondicionador de suelo y no como sustrato único. Actualmente el producto ceagrocompost es comercializado como fertilizante orgánico para aplicación al suelo como polvo mojable.

La utilización de los residuos orgánicos generados en CeagroDEX para la fabricación de abono orgánico, es una alternativa que además de mitigar los impactos ambientales negativos generados por CeagroDEX, nos da como resultado un producto que trae grandes beneficios al suelo y genera ingresos económicos a la empresa.

7. RECOMENDACIONES

Hacer un análisis de carbono, nitrógeno y humedad a cada uno de los residuos utilizados en el proceso de compostaje para establecer una relación C/N óptima (25:1) al inicio del proceso.

Se debe tener especial cuidado con el mezclado de las materias primas para el compost. Una mezcla homogénea garantiza menores diferencias de contenido en las pilas verdes y un producto confiable al consumidor.

Durante la etapa termofílica, la temperatura superó en varias ocasiones los 70°C, por lo que se recomienda que durante esta etapa los volteos sean más frecuentes, para favorecer el intercambio de gases, disminución de temperatura, y evitar que mueran poblaciones de microorganismos benéficos.

Los patios de transformación tienen zonas donde se presentan encharcamientos, lo que propicia las zonas de anaerobiosis en las pilas de compost, malos olores y la interrupción

del proceso. Por lo que se recomienda nivelar el terreno y disponer las pilas de manera que no impidan la salida del agua.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, W., & Peralta, M. (2015). Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá (tesis de pregrado). Universidad de Cundinamarca, Fusagasuga, Colombia.
- Altamirano, M., & Cabrera, C. (2006). estudio comparativo para la elaboracion de compost por tecnica manual. *Revista del instituto de investigaciones FIGMMG, IX(17)*, 75-84.
- Bahamon, C. (2016). elaboracion de compostaje a partir de los residuos del centro agroindustrial y de exposiciones del Huila CEAGRODEX (tesis de pregrado). Universidad Surcolombiana.
- Barrena Gomez, R. (2006). Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso (Tesis de doctoral), Universidad autonoma de Barcelona.
- Bohorquez, A. (2013). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de la molienda de caña de azucar en la compañía Riopaila Castilla, Valle del Cauca, Colombia, (Tesis de maestria) Universidad Nacional de Colombia.
- Brito, H., Viteri, R., Luis, G., Villacres, M., Jara, J., Jimenez, S., . . . Parra, C. (2016). Obtención de compost a partir de residuos solidos orgánicos generados en el mercado mayorista del Cantón Riobamba. *XII(29)*, 76-94. doi:10.19044/esj.2016.v12n29p76
- Bueno, P., Diaz, M., & Cabrera, F. (2007). Factores que afectan al proceso de compostaje. En J. Moreno, & R. Moral, *Compostaje* (págs. 93-109). Madrid., España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Castrillón, O., Bedoya, O., & Montoya, D. (2006). Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos en la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. *Produccion + limpia, I(2)*.
- Chilón, E. (2011). Compostaje altoandino, seguridad alimentaria y cambio climatico. *CienciAgro, II(2)*, 261- 268.
- Christian, A., Evanylo, G., & Pease, J. (2009). On farm composting: a guide to principles, planning and operations. Virginia Cooperative Extension. (VCE). Obtenido de https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/48077/452-232_pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Defrieri, R. L., Jimenez, M. P., Effron, & Palma, M. (2005). Utilization of chemical and microbiological parameters as maturity criteria during the composting proces. *Agriscientia, XXII(1)*, 25-31.
- Escobar, F., Sánchez, J., & Azero, M. (2012). Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relacion C/N y la adición de preparados biodinámicos en la granja modelo Pairumani. *Acta Nova, V(3)*, 390- 410.

- FAO. (2011). El Estado de los Recursos de Tierras y Aguas del Mundo para la Alimentación y la agricultura.
- Gordillo, F., & Chavez, E. (2016). Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros.
- Guerrero, J., & Monsalve, J. (Diciembre de 2006). El compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda. *Scientia Et Technica*, *XII*(32), 469-474. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911652082>
- Guerrero, J., & Monsalve, J. (Mayo de 2007). Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado. *Scientia et Technica*, *XIII*(34), 595-600. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84934101>
- Gutiérrez, M. d. (2013). Determinación y control de olores en la gestión de residuos sólidos (Tesis Doctoral). Obtenido de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/11811/2014000000912.pdf?sequence=1>
- Hernandez-Rodriguez, O. A., Ojeda-Barrios, D. L., Lopez-Diaz, J. C., & Arras-Vota, A. M. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *TECNOCIENCIA Chihuahua*, *IV*(1), 1-6.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). (2003). Resolución 00150: Reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelo para Colombia. Bogota, Colombia. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/fertilizantes-y-bio-insumos-agricolas/resolucion-150-de-2003-1-1.aspx>
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS (ICONTEC). (2004). Productos para la industria agrícola. productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. NTC 5167. Bogota D.C , Colombia.
- Laboratorio INIA. (2015). Formulario recepción muestras de compost. Chile. Obtenido de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/formularios/quilamapu/Formulario%20de%20Recepcion%20Muestras%20de%20Compost.pdf>
- Martínez, R., Miglierina, A., Luna, M. V., & Pellerejo, G. (2008). Evaluación del compostaje de los residuos del procesamiento de cebolla. *Revista Pilquen*, *X*(9). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3360603>
- Muñoz Trochez, J. S. (2005). Compostaje en Pescador, Cauca: Tecnología apropiada para el manejo de residuos orgánicos y su contribución a la solución de problemas medioambientales. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Colombia.
- Navarro, R. A. (2014). Manual para hacer composta aeróbica. Obtenido de <http://latinamericacaribbean.recpnet.org/uploads/resource/cc1bd87a29c857c262b2655a94510754.pdf>
- Negro, M. J., Villa, F., Aibar, J., Aracón, R., Ciria, P., Cristóbal, M. V., . . . Zaragoza, C. (2000). Producción y gestión del compost. Obtenido de <http://digital.csic.es/handle/10261/16792>

- New York City Department of Sanitation. (2012). New york city master composter manual. Obtenido de <https://ilsr.org/wp-content/uploads/2012/09/NYC-Master-Composter-Manual-Under-Revision.pdf>
- Oviedo, E., Marmolejo, L., & Torres, P. (2014). Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. *Revista internacional de contaminación ambiental*, XXX(1), 91-100. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000100008
- Pérez, L., & Calderon, Y. (2017). Estimación de la estabilidad y madurez de compost elaborado a partir de pulpa de café (coffea arabiga l), mediante la utilización de técnicas de tambor rotatorio. (Tesis de pregrado). Universidad Surcolombiana.
- Riera, T. (2016). optimización de los residuos generados en el proceso de faenamiento del ganado en el camal del Cánton Chunchi provincia de Chimborazo mediante el proceso del compostaje para comercialización (Tesis de Pregrado). Escuela superior politecnica de Chimborazo. Ecuador.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en america latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura(FAO).
- Sztern, D., & Pravia, M. (1999). Manual para la elaboracion de compost- bases conceptuales y procedimientos. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compost.pdf>
- Uicab-Brito, L. A., & Sandoval Castro, C. A. (2003). Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria carnica en la elaboracion de composta. *Tropical and subtropical agroecosystems*, II(2), 45-63. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93912118001>
- United States Department of Agriculture. (2000). Part 637 Environmental Engineering, National Engineering Handbook. Chapter 2. Composting.

Anexo 2. Termómetro de sonda Vici, modelo CHY801



Anexo 3. Potenciómetro Thermo Scientific Orion.



Anexo 4. Resultados análisis de compost pila 1, muestra A.

| CÓDIGO | ER-FR-01 | VERSIÓN | 4 | VIGENCIA | 2014 | Página | 1 de 1 |
|------------------------------------|-------------------------------------|----------------|--------------------------------|---------------------------------------|------|--------------------------------|--------|
| DATOS DEL CLIENTE | | | | | | | |
| Solicitante: José Fernando Sánchez | | Ciudad: Rivera | | Dirección: Carrera 29 No. 51- 119 | | | |
| Teléfono: 313 7608118 | | | email: josesagu17@gmail.com | | | | |
| INFORMACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | | | |
| Finca: Ceagrodex huila | | | Matriz: Compost | | | N° Muestra: 032a-19 | |
| Vereda: No reporta | | | ID cliente: 1.8-05-19 | | | | |
| Municipio: Rivera | | | Fecha muestreo: No reporta | | | | |
| Departamento: Huila | | | Fecha recepción: 09/05/2019 | | | | |
| Cultivo: No reporta | | | Fecha análisis: 23/05/2019 | | | | |
| N° Cadena de custodia: No aplica | | | Fecha entrega: 31/05/2019 | | | | |
| N° Plan de muestreo: No aplica | | | Informe de resultados N°: 032a | | | | |
| PARAMETROS QUIMICOS | UNIDAD | RESULTADO | CALIFICACIÓN | MÉTODO | | | |
| pH | - | 6.5 | Ligeramente ácido | Relación 1:5 NTC 5264 | | | |
| Conductividad eléctrica | dS/m | 13.08 | Alto | Extracto de saturación NTC 5596 | | | |
| Carbono Orgánico (C.O) | % | 21.30 | Alto | NTC5403 método B | | | |
| Materia orgánica (M.O) | % | 77.10 | Alto | Calcinación 550°C | | | |
| Cenizas | % | 22.9 | - | Calcinación 550°C | | | |
| C.I.C. | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 45.11 | Alto | NTC 5268 | | | |
| Fósforo (P) | ppm | 3109 | Alto | NTC 5350 BRAY II | | | |
| Sodio (Na) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 264.85 | Alto | NTC 5349 | | | |
| Potasio (K) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 379.55 | Alto | | | | |
| Calcio (Ca) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | | | | |
| Magnesio (Mg) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | | | | |
| Capacidad retención humedad | % | 130 | - | Relación matemática g agua/g suelo | | | |
| Humedad gravimétrica | % | 19.7 | - | Horno de secado | | | |

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
 NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
 NOTA 3: Los datos del cliente y la información de la muestra es suministra por quien radica la muestra en el Laboratorio LABGAA.


JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
 Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

Sede Central - AV. Pastrana Borrero Cra. 1a.
 PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 8890 - (8) 875 9124
 Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
 PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968722
 Vigilada Mineducación
 www.usco.edu.co
 Neiva, Huila

Gestión, Participación y Resultados
 Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.
 Email: labgaa@usco.edu.co

Resultados análisis de compost pila 1, muestra B.

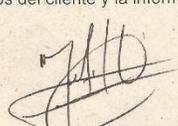
| CÓDIGO | ER-FR-01 | VERSIÓN | 4 | VIGENCIA | 2014 | Página | 1 de 1 |
|--------|----------|---------|---|----------|------|--------|--------|
|--------|----------|---------|---|----------|------|--------|--------|

| DATOS DEL CLIENTE | | |
|------------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Solicitante: José Fernando Sánchez | Ciudad: Rivera | Dirección: Carrera 29 No. 51- 119 |
| Teléfono: 313 7608118 | | email: josesagu17@gmail.com |

| INFORMACIÓN DE LA MUESTRA | | |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Finca: Ceagrodex huila | Matriz: Compost | N° Muestra: 032b-19 |
| Vereda: No reporta | ID cliente: 1.8-05-19 | |
| Municipio: Rivera | Fecha muestreo: No reporta | |
| Departamento: Huila | Fecha recepción: 09/05/2019 | |
| Cultivo: No reporta | Fecha análisis: 23/05/2019 | |
| N° Cadena de custodia: No aplica | Fecha entrega: 31/05/2019 | |
| N° Plan de muestreo: No aplica | Informe de resultados N°: 032b | |

| PARAMETROS QUIMICOS | UNIDAD | RESULTADO | CALIFICACIÓN | MÉTODO |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------------------|
| pH | - | 6.6 | Neutro | Relación 1:5 NTC 5264 |
| Conductividad eléctrica | dS/m | 13.03 | Alto | Extracto de saturación NTC 5596 |
| Carbono Orgánico (C.O) | % | 21.76 | Alto | NTC 5403 método B |
| Materia orgánica (M.O) | % | 78.11 | Alto | Calcinación 550°C |
| Cenizas | % | 21.89 | - | Calcinación 550°C |
| C.I.C. | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 45.13 | Alto | NTC 5268 |
| Fósforo (P) | ppm | 2758 | Alto | NTC 5350 BRAY II |
| Sodio (Na) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 264.85 | Alto | NTC 5349 |
| Potasio (K) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 378.55 | Alto | |
| Calcio (Ca) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | |
| Magnesio (Mg) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | |
| Capacidad retención humedad | % | 132 | - | Relación matemática g agua/g suelo |
| Humedad gravimétrica | % | 19.9 | - | Horno de secado |

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
 NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
 NOTA 3: Los datos del cliente y la información de la muestra es suministra por quien radica la muestra en el Laboratorio LABGAA.


JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
 Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

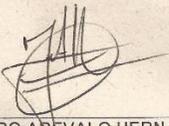
Sede Central - AV. Pastrana Borrero Cra. 1a.
 PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 8890 - (8) 875 9124
 Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
 PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968722
 Vigilada Mineducación
 www.usco.edu.co
 Neiva, Huila

Gestión, Participación y Resultados
 Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.
 Email: labgaa@usco.edu.co

Resultados análisis de compost pila 1, muestra C

| CÓDIGO | ER-FR-01 | VERSIÓN | 4 | VIGENCIA | 2014 | Página | 1 de 1 |
|--|-------------------------------------|--|--------------|------------------------------------|--------------------------------|---|--------|
| ENTREGA DE RESULTADOS | | | | | | | |
|  UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA NIT: 891180084-2 | | INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS | | | |  | |
| DATOS DEL CLIENTE | | | | | | | |
| Solicitante: José Fernando Sánchez | | Ciudad: Rivera | | Dirección: Carrera 29 No. 51- 119 | | | |
| Teléfono: 313 7608118 | | | | email: josesagu17@gmail.com | | | |
| INFORMACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | | | |
| Finca: Ceagrodex huila | | Matriz: compost | | | N° Muestra: 032c-19 | | |
| Vereda: No reporta | | ID cliente: 1.8-05-19 | | | | | |
| Municipio: Rivera | | Fecha muestreo: No reporta | | | | | |
| Departamento: Huila | | Fecha recepción: 09/05/2019 | | | | | |
| Cultivo: No reporta | | Fecha análisis: 23/05/2019 | | | | | |
| N° Cadena de custodia: No aplica | | Fecha entrega: 31/05/2019 | | | | | |
| N° Plan de muestreo: No aplica | | Informe de resultados N°: 032c | | | | | |
| PARAMETROS QUÍMICOS | UNIDAD | RESULTADO | CALIFICACIÓN | MÉTODO | | | |
| pH | - | 6.6 | Neutro | Relación 1:5 NTC 5264 | | | |
| Conductividad eléctrica | dS/m | 13.05 | Alto | Extracto de saturación NTC 5596 | | | |
| Carbono Orgánico (CO) | % | 22.86 | Alto | NTC 5403 método B | | | |
| Materia orgánica (MO) | % | 67.09 | Alto | Calcinación 550°C | | | |
| Cenizas | % | 32.91 | - | Calcinación 550°C | | | |
| C.I.C. | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 46.84 | Alto | NTC 5268 | | | |
| Fósforo (P) | ppm | 3265 | Alto | NTC 5350 BRAY II | | | |
| Sodio (Na) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 263.85 | Alto | NTC 5349 | | | |
| Potasio (K) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 377.55 | Alto | | | | |
| Calcio (Ca) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | | | | |
| Magnesio (Mg) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | | | | |
| Capacidad retención humedad | % | 132 | - | | | | |
| Humedad gravimétrica | % | 18.1 | - | Horno de secado | | | |

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
 NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
 NOTA 3: Los datos del cliente y la información de la muestra es suministra por quien radica la muestra en el Laboratorio LABGAA.


JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
 Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

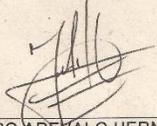
Sede Central - AV. Pastrana Borrero Cra. 1a.
 PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 8890 - (8) 875 9124
 Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
 PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968722
 Vigilada Mineducación
www.usco.edu.co
 Neiva, Huila

Gestión, Participación y Resultados
 Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.
 Email: labgaa@usco.edu.co

Anexo 5. Resultados análisis de compost pila 2, muestra A.

| PARAMETROS QUIMICOS | UNIDAD | RESULTADO | CALIFICACIÓN | MÉTODO |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------------------|
| pH | - | 6.6 | Neutro | Relación 1:5 NTC 5264 |
| Conductividad eléctrica | dS/m | 14.05 | Alto | Extracto de saturación NTC 5596 |
| Carbono Orgánico (CO) | % | 20.05 | Alto | NTC 5403 método B |
| Materia orgánica (MO) | % | 52.93 | Alto | Calcinación 550°C |
| Cenizas | % | 47.07 | - | Calcinación 550°C |
| C.I.C. | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 36.79 | Alto | NTC 5268 |
| Fósforo (P) | ppm | 3546 | Alto | NTC 5350 BRAY II |
| Sodio (Na) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 298.45 | Alto | NTC 5349 |
| Potasio (K) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 354.29 | Alto | |
| Calcio (Ca) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | |
| Magnesio (Mg) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | |
| Capacidad retención humedad | % | 130 | - | Relación matemática g agua/g suelo |
| Humedad gravimétrica | % | 8.2 | - | Horno de secado |

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
NOTA 3: Los datos del cliente y la información de la muestra es suministra por quien radica la muestra en el Laboratorio LABGAA.


JOHN JAIRO AREVALO HERNÁNDEZ
 Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

Sede Central - AV. Pastrana Borrero Cra. 1a.
 PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 8890 - (8) 875 9124
 Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
 PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968722
 Vigilada Mineducación
 www.usco.edu.co
 Neiva, Huila

Gestión, Participación y Resultados
 Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.
 Email: labgaa@usco.edu.co

Resultados análisis de compost pila 2, muestra B.



**UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA**
NTT-891180084-2

ENTREGA DE RESULTADOS

INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS



CÓDIGO ER-FR-01
VERSIÓN 4
VIGENCIA 2014
Página 1 de 1

DATOS DEL CLIENTE

| | | |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Solicitante: José Fernando Sánchez | Ciudad: Rivera | Dirección: Carrera 29 No. 51- 119 |
| Teléfono: 313 7608118 | email: josesagu17@gmail.com | |

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

| | | |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Finca: Ceagrodex huila | Matriz: compost | N° Muestra: 033b-19 |
| Vereda: No reporta | ID cliente: 2.8-05-19 | |
| Municipio: Rivera | Fecha muestreo: No reporta | |
| Departamento: Huila | Fecha recepción: 09/05/2019 | |
| Cultivo: No reporta | Fecha análisis: 23/05/2019 | |
| N° Cadena de custodia: No aplica | Fecha entrega: 31/05/2019 | |
| N° Plan de muestreo: No aplica | Informe de resultados N°: 033b | |

| PARAMETROS QUIMICOS | UNIDAD | RESULTADO | CALIFICACIÓN | MÉTODO |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------------------|
| pH | - | 6.6 | Neutro | Relación 1:5 NTC 5264 |
| Conductividad eléctrica | dS/m | 14.05 | Alto | Extracto de saturación NTC 5596 |
| Carbono Orgánico (CO) | % | 17.53 | Alto | NTC 5403 método B |
| Materia orgánica (MO) | % | 58.55 | Alto | Calcinación 550°C |
| Cenizas | % | 41.45 | - | Calcinación 550°C |
| C.I.C. | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 38.39 | Alto | NTC 5268 |
| Fósforo (P) | ppm | 3915 | Alto | NTC 5350 BRAY II |
| Sodio (Na) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 298.40 | Alto | NTC 5349 |
| Potasio (K) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 353.30 | Alto | |
| Calcio (Ca) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | |
| Magnesio (Mg) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | |
| Capacidad retención humedad | % | 132 | - | Relación matemática g agua/g suelo |
| Humedad gravimétrica | % | 8.6 | - | Horno de secado |

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
 NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
 NOTA 3: Los datos del cliente y la información de la muestra es suministra por quien radica la muestra en el Laboratorio LABGAA.



JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

Sede Central - AV. Pastrana Borrero Cra. 1a.
 PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 8890 - (8) 875 9124
 Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
 PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968722
 Vigilada Mineducación
www.usco.edu.co
 Neiva, Huila

Gestión, Participación y Resultados

Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext. 1096.
Email: labgaa@usco.edu.co

Resultados análisis de compost pila 2, muestra C.


UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
 NIT: 891180084-2

ENTREGA DE RESULTADOS
INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS





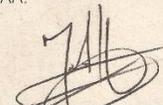

| | | | | | | | |
|---------------|----------|----------------|---|-----------------|------|---------------|--------|
| CÓDIGO | ER-FR-01 | VERSIÓN | 4 | VIGENCIA | 2014 | Página | 1 de 1 |
|---------------|----------|----------------|---|-----------------|------|---------------|--------|

| DATOS DEL CLIENTE | | |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Solicitante: José Fernando Sánchez | Ciudad: Rivera | Dirección: Carrera 29 No. 51- 119 |
| Teléfono: 313 7608118 | email: josesagu17@gmail.com | |

| INFORMACIÓN DE LA MUESTRA | | |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Finca: Ceagrodex huila | Matriz: compost | N° Muestra: 033c-19 |
| Vereda: No reporta | ID cliente: 2.8-05-19 | |
| Municipio: Rivera | Fecha muestreo: No reporta | |
| Departamento: Huila | Fecha recepción: 09/05/2019 | |
| Cultivo: No reporta | Fecha análisis: 23/05/2019 | |
| N° Cadena de custodia: No aplica | Fecha entrega: 31/05/2019 | |
| N° Plan de muestreo: No aplica | Informe de resultados N°: 033c | |

| PARAMETROS QUIMICOS | UNIDAD | RESULTADO | CALIFICACIÓN | MÉTODO |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------------------|
| pH | - | 6.7 | Neutro | Relación 1:5 NTC 5264 |
| Conductividad eléctrica | dS/m | 14.08 | Alto | Extracto de saturación NTC 5596 |
| Carbono Orgánico (CO) | % | 21.20 | Alto | NTC 5403 método B |
| Materia orgánica (MO) | % | 56.47 | Alto | Calcinación 550°C |
| Cenizas | % | 45.53 | - | Calcinación 550°C |
| C.I.C. | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 35.61 | Alto | NTC 5268 |
| Fósforo (P) | ppm | 3786 | Alto | NTC 5350 BRAY II |
| Sodio (Na) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 297.40 | Alto | NTC 5349 |
| Potasio (K) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | 350.3 | Alto | |
| Calcio (Ca) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | |
| Magnesio (Mg) | cmol ⁺ .kg ⁻¹ | - | - | |
| Capacidad retención humedad | % | 131 | - | Relación matemática g agua/g suelo |
| Humedad gravimétrica | % | 8.4 | - | Horno de secado |

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.
 NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
 NOTA 3: Los datos del cliente y la información de la muestra es suministra por quien radica la muestra en el Laboratorio LABGAA.


JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
 Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

Sede Central - AV. Pastrana Borrero Cra. 1a.
 PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 8890 - (8) 875 9124
 Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
 PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968722
 Vigilada Mineducación
www.usco.edu.co
 Neiva, Huila

Gestión, Participación y Resultados

Universidad Surcolombiana Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Huila. Bloque de Ingeniería primer piso. Tel. 8754753 ext.1096.
 Email: labgaa@usco.edu.co

Anexo 6. Resultado de análisis de nitrógeno para pila 1 y 2

| No. DE LABORATORIO | TIPO DE MUESTRA | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO | NITRÓGENO TOTAL % | PROFUNDIDAD (cm) |
|--------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|------------------|
| MO1-36292 | SUELO | P1 - 01 | 2.6323 | N.A. |
| MO1-36293 | SUELO | P1 - 02 | 3.0850 | N.A. |
| MO1-36294 | SUELO | P1 - 03 | 2.9398 | N.A. |
| MO1-36295 | SUELO | P2 - 01 | 2.4331 | N.A. |
| MO1-36296 | SUELO | P2 - 02 | 2.5295 | N.A. |
| MO1-36297 | SUELO | P2 - 03 | 2.5846 | N.A. |

| | | | |
|--|-----------------------------------|------------------------------|--------------------|
| NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO | JOSE FERNANDO SANCHEZ | TIPO DE MUESTRA | |
| DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACION | Hulla - Neiva | DIRECCIÓN DEL CLIENTE | KRA 29 No 51 - 119 |
| SUPLEMENTO DE RESULTADOS | <input type="checkbox"/> DE FECHA | | |

| | |
|-----------------------|--|
| Observaciones: | |
|-----------------------|--|



RESULTADO ESPECÍFICO NITRÓGENO TOTAL EN SUELOS Q-07
GESTIÓN AGROLÓGICA

Anexo 7. Comparación de medias entre la pila 1 y ceagrocompost.

| PARAMETRO | PILA 1 | CEAGRODEX | valor-P |
|---|--------|-----------|-------------|
| Carbono Orgánico Oxidable Total (%) | 21,95 | 19,9 | 0,0506987 |
| Materia orgánica (%) | 74,10 | 45,3 | 0,0145882 |
| Cenizas (%) | 25,90 | 54,7 | 0,0145882 |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol+/kg) | 45,69 | 53,2 | 0,00578341 |
| Capacidad de Retención de humedad (%) | 131,33 | 148 | 0,00159617 |
| Conductividad Eléctrica (ds/m) | 13,05 | 0,15 | 1,27E-06 |
| Nitrógeno Total (%) | 2,89 | 1,43 | 0,00830008 |
| Fosforo (P2O5) (%) | 0,70 | 2,37 | 0,0004279 |
| Potasio total (K2O) (%) | 17,79 | 0,79 | 2,54991E-06 |
| Sodio (Na) (%) | 6,08 | 1,23 | 2,49E-06 |
| Humedad (gravimétrica) (%) | 19,23 | 8,4 | 0,00275309 |
| pH | 6,57 | 5,06 | 0,000489108 |
| Densidad (g/cm3) | 0,45 | 0,46 | 0,528595 |
| Relación C/N | 7,63 | 13,92 | 0,00228108 |

Anexo 8. Comparación de medias entre la pila 2 y ceagrocompost.

| PARAMETRO | PILA 2 | CEAGRODEX | valor-P |
|---|--------|-----------|-------------|
| Carbono Orgánico Oxidable Total (%) | 19,59 | 19,9 | 0,803803 |
| Materia organica (%) | 55,98 | 45,3 | 0,0227772 |
| Cenizas (%) | 44,68 | 54,7 | 0,0268938 |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol+/kg) | 36,93 | 53,2 | 0,00244248 |
| Capacidad de Retención de humedad (%) | 131 | 148 | 0,00115141 |
| Conductividad Eléctrica (ds/m) | 14,06 | 0,15 | 5,17E-07 |
| Nitrógeno Total (%) | 2,52 | 1,43 | 0,00165861 |
| Fosforo (P2O5) (%) | 0,86 | 2,37 | 0,000271444 |
| Potasio total (K2O) (%) | 16,57 | 0,79 | 0,000012811 |
| Sodio (Na) (%) | 6,86 | 1,23 | 1,94E-06 |
| Humedad (gravimétrica) (%) | 8,4 | 8,4 | 1 |
| pH | 6,63 | 5,06 | 0,000448563 |
| Densidad (g/cm3) | 0,5 | 0,46 | 0,0390123 |
| Relación C/N | 7,79 | 13,92 | 0,0048988 |

Parámetros con valor-p menor a 0,05 indican que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los parámetros comparados con un nivel de confianza de 95%.

Anexo 9. Registros fotográficos.



Técnica manual o de puño usada para la determinación de humedad.



La imagen de la derecha es la pesa usada para pesar las canastillas con la materia prima y la imagen de la izquierda es el tractor cargando una canastilla de recolectar residuos.



Patio de transformación 1, donde se evidencia la formación de charcos cerca a las pilas de compost.



En la imagen de la izquierda está el remolque usado para cargar la materia prima y formar las pilas verdes. En la imagen de la derecha están las pilas verdes.



Pilas de compost en diferentes etapas del proceso

| COMPOSICIÓN GARANTIZADA: | |
|--|---|
| Carbono Orgánico Oxidable Total | 19.9 % |
| Cenizas | 54.7 % |
| CIC (capacidad de intercambio catiónico) | 53.2 mEq/100g |
| Capacidad de retención de humedad | 148 % |
| Conductividad eléctrica (1:200) | 0.15 dS/m |
| Nitrógeno orgánico total (N) | 1.43 % |
| Fósforo total (P ₂ O ₅) | 2.369 % |
| Potasio total (K ₂ O) | 0.79 % |
| Sodio (Na) | 1.229 % |
| Humedad | 3.36 % |
| pH | 5.06 |
| Densidad | 0.46 g/cm ³ |
| Metales pesados | Por debajo de los límites establecidos en la norma. |
| Salmonella spp | Ausente |
| Enterobacterias | 1,0E+02 UFC/g |

capturada en momento y aplicación de este fertilizante es recomendable la prescripción de un ingeniero agrónomo en base al análisis del suelo o

Etiqueta CEAGROCOMPOST.