



Empleo de compostaje con residuos orgánicos producidos por los equinos para mejorar su disposición final en una escuela de policía

LIBROS DE INVESTIGACIÓN

John Edison Díaz Figueroa
Giovanni Andrés Vargas Galván
Julián David Acevedo Giraldo
Jhon Edison Montaña Fandiño

2020



El futuro
es de todos

Presidencia
de la República

Colombia: Empleo de compostaje con residuos orgánicos producidos por los equinos para mejorar su disposición final en una escuela de policía.

1.a edición, 2020.

79 p.; 23x16,5 cm

ISBN e-book: 978-958-59955-6-7

1. agro-ecología. 2. compostaje. 3. equinaza. 4. abonos orgánicos 5. enriquecimiento de suelos. I John Edisson Díaz Figueroa. II Giovanni Andrés Vargas Galván. III Julián David Acevedo Giraldo. IV. Jhon Edison Montaña Fandiño

Dirección Nacional de Escuelas
Mayor General Juan Alberto Libreros Morales
Director Nacional de Escuelas

Edición

© Editorial de la Dirección Nacional de Escuelas de la Policía Nacional de Colombia

Vicerrectoría de Investigación

dinae.vicin@policia.gov.co

Trv. 33 No. 47A - 35 Sur • Bogotá, D. C., Colombia

Teléfono: (57-1) 515 9000 Ext. 9854

Editor

Mayor Juan Aparicio Barrera

Serie Libros resultados de investigación

Queda prohibida la reproducción parcial o total de este libro por cualquier proceso reprográfico o fónico, especialmente por fotocopia, microfilme, offset o mimeógrafo.

Ley 23 de 1982

ISBN (digital): 978-958-59955-6-7

Primera edición: noviembre de 2020

Diseño de Carátula: Competitividad SAS.

Diagramación e impresión: Competitividad SAS.

Corrección de estilo: Competitividad SAS.

Bogotá D. C. - Colombia



Policía Nacional de Colombia

General

Óscar Atehortua Duque

Director General Policía Nacional

Mayor General

Gustavo Alberto Moreno Maldonado

Subdirector General Policía Nacional

Mayor General

Juan Alberto Libreros Morales

Director Nacional de Escuelas

Teniente Coronel

Marcos Wilson Forero Ruge

Director Escuela de Aviación Policial

Teniente Coronel

Lirza Barrera Quitián

Vicerrectora de Investigación

Grupo de Investigación ESAVI- DINA E, Código: COL0093308201905191024. Área: Ambiental. Línea: Gestión Ambiental.

Las opiniones expresadas en esta obra son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan la postura de la Policía Nacional de Colombia.

Como citar este libro: Díaz, J. E., Vargas, G. A., Acevedo, J. D., y Montaña, J. E. (2020). *Empleo de compostaje con residuos orgánicos producidos por los equinos para mejorar su disposición final en una escuela de policía*. Policía Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.22335/EDNE.12>

Título

Empleo de compostaje con residuos orgánicos producidos por los equinos para mejorar su disposición final en una escuela de policía

Resumen

Este proyecto de investigación realizó la evaluación de dos mezclas con los residuos orgánicos generados por los semovientes en la Escuela de Aviación Policial; esto, con la finalidad de obtener compost o abono orgánico a través del proceso de compostaje aerobio por pila estática, el cual debe cumplir con los parámetros de calidad establecidos y pueda ser utilizado en el enriquecimiento de los suelos y propagación de material vegetal en la Institución. También, se tiene la posibilidad de transferir el conocimiento y la tecnología del proceso del compostaje desarrollado, por parte de la Policía Nacional a otras instituciones, comunidades o gremios que tengan equinos. El proceso de compostaje duró tres meses (30 de junio hasta el 28 de agosto del año 2017) y los abonos orgánicos obtenidos a través de las mezclas 1 y 2, presentaron los siguientes valores respectivamente: Relación carbono/ nitrógeno 15.39 y 15.43, porcentaje de humedad del 34.80% y 34.70 %, porcentaje de materia orgánica (MO) del 23.29 y 23.35, el pH 7.2 y 7.1 y contenido medio de fósforo total fue de 1.07 y 1.06, los cuales no presentaron grandes diferencias con los valores recomendados en la literatura como óptimos.

Palabras clave: agro-ecología, compostaje, equinaza, abonos orgánicos, enriquecimiento de suelos.

Title

Use of composting with organic residues produced by equine to improve their final disposal in a police school

Abstract

This research project carried out the evaluation of two mixtures with the organic waste generated by livestock at ESAVI; This is, in order to obtain compost or organic fertilizer through the process of aerobic composting by static pile, which must comply with the established quality parameters and can be used in the enrichment of soils can expansion and maintenance of the landscaping. Also, it gets the possibility of transferring the knowledge and technology of the composting process developed by the National Police to other institutions, communities or unions that have equines. The composting process lasted 3 months (June 30 to August 28, 2017) and the organic fertilizers obtained through mixtures 1 and 2, presented the following values respectively: Carbon / nitrogen ratio 15.39 and 15.43, percentage of humidity of 34.80% and 34.70%, percentage of organic matter (OM) of 23.29 and 23.35, pH 7.2 and 7.1 and average content of total phosphorus was 1.07 and 1.06, it didn't present great differences with the values recommended in the literature as optimal.

Keywords: agroecology; composting; equinaza; Organic fertilizer; soil enrichment

LOS AUTORES

John Edisson Díaz Figueroa

Ingeniero Aeronáutico, con especialización en servicio policial. Capitán de la Policía Nacional de Colombia. En la actualidad es director y líder del grupo de investigación ESAVI-DINAE reconocido y categorizado en “C” ante el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, donde lidera los procesos de formación y desarrollo de la investigación para los programas ofertados por la Escuela de Aviación Policial. Ha participado como ponente, par evaluador y conferencista en los diferentes eventos académicos y de investigación a nivel departamental, nacional e internacional (Encuentros nacionales e internacionales de semilleros de investigación 2018-2019 RedCOLSI), actualmente es delegado ante la RedCOLSI nodo Tolima, en pro de mejorar e incentivar la semilla de investigación en los estudiantes del norte del Tolima. Correo electrónico: john.diaz1030@correo.policia.gov.co

Giovanni Andrés Vargas Galván

Ingeniero Mecánico, Especialista en Pedagogía y Ética, Magíster en Gestión Industrial con énfasis en Medioambiente. Es miembro de los grupos de investigación: GMAE de la Universidad de Ibagué en las líneas de Medio Ambiente, Agua y Energía con proyectos enfocados a energías renovables; Virtual Tec de Coreducación en la línea de investigación de residuos sólidos, gestión energética, arbolado, biomasa, energía solar y aire; DINAE ESAVI de la Escuela de Aviación Policial en las líneas de medioambiente, mantenimiento aeronáutico, entre otras. Experiencia laboral: Asesor Metodológico y Pedagógico de la Escuela de Aviación Policial. Ingeniero Contratista en proyectos de gestión energética, iluminación led, gestión ambiental y energías renovables en diferentes empresas públicas y privadas. Director de Programa y docente en Coreducación, Honda. Docente e investigador en la Universidad de Ibagué. Correo electrónico: giovannivargas8@hotmail.com

Julián David Acevedo Giraldo

Capitán de la Policía Nacional de Colombia, Administrador Policial, Especialista Piloto Policial, Especialista Carabiniero, Técnico en Explotaciones Agropecuarias Diversificadas. Instructor y maestro de equitación en la Escuela de Carabineros en Santiago de Chile. Experiencia laboral en los Departamentos de Policía Chocó y Antioquia, Escuela de Equitación Policial, Escuela de Carabineros Alejandro Gutiérrez. Correo electrónico: julian.acevedo4276@correo.policia.gov.co

Jhon Edison Montaña Fandiño

Capitán de la Policía Nacional de Colombia, Administrador Policial, Administrador de Empresas, Especialista en Piloto Policial, Especialista en Administración Aeronáutica y Aeroespacial. Experiencia laboral: Comandante de Sección de Vigilancia, Comandante de Estación en el Departamento de Policía Cundinamarca, Comandante Subestación de Policía Minca y Comandante Estación de Policía Rodadero en la Metropolitana de Santa Marta; asimismo, durante su proceso de formación como Piloto Policial, participó como ponente en el encuentro Departamental de Investigación RedCOLSI Nodo Tolima; actualmente, labora en el Área de Aviación Policial. Correo electrónico: ediss.montana@correo.policia.gov.co

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a la Escuela de Aviación Policial - ESAVI, a sus autoridades, administrativos y a los docentes del Programa Especialización Piloto Policial, por la colaboración en el desarrollo de este libro, el cual permitirá fortalecer la investigación y la formación de talento humano en la elaboración del compostaje a partir de residuos equinos.

John Edisson Díaz Figueroa:

Venturo aquel que puede ver cada nuevo amanecer, puesto que en este nuevo despertar agradezco al todopoderoso, quien es el que guía mis pasos en el camino de la vida, donde llena de fortalezas a mi familia para soportar la distancia y todos los sentimientos que nos separan, me permite contar con paciencia para afrontar cada reto que se me presenta y me brinda sabiduría para aprender de todos aquellos que me rodean, logrando tomar lo mejor de ellos y dar frutos de trabajo combinando lo académico, profesional y personal en cada nuevo proyecto culminado.

Giovanni Andrés Vargas Galván:

Agradezco primero a Dios por darme la oportunidad de lograr todos estos triunfos; a mi hijo y mi esposa, por su confianza y paciencia durante todo el tiempo de arduo trabajo y dedicación; además, a toda mi familia, por los momentos que dejo de compartir para poder cumplir con mi deber.

Julián David Acevedo Giraldo:

Dedico este logro a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar a este momento tan importante de mi formación profesional; a mi esposa y madre, por ser los pilares más importantes y expresarme siempre su amor y apoyo incondicional; además, a mis compañeros y docentes de la Especialización Piloto Policial, puesto que con su trabajo en equipo, conocimiento y enseñanzas no hubiera sido posible conseguir esta meta.

Jhon Edison Montaña Fandiño:

En primer lugar agradecer a Dios y a la Santísima Virgen, por cada bendición recibida durante el trasegar de mi vida, concediéndome logros importantes con el apoyo incondicional de todos mis seres queridos; mis padres y mi esposa, quienes siempre han estado a mi lado en todo momento, siendo esa motivación infalible en los momentos decisivos para cumplir mis metas propuestas. Asimismo, es gratificante ver los frutos de la dedicación y trabajo depositado en todos mis proyectos, siendo estos, objeto de orgullo personal, familiar e institucional.

Dios y Patria

PRÓLOGO

Este libro representa una posibilidad para fortalecer las líneas ambientales de la Policía Nacional y generar dentro de sus funcionarios uniformados y no uniformados, una cultura y conciencia ambiental, a través de la recuperación, manejo y transformación de los residuos sólidos orgánicos, como es el caso de los residuos orgánicos equinos; además, se establece también como una estrategia de implementación enfocada al arbolado urbano y periurbano, y la propagación de material vegetal, a partir de usar el proceso de compostaje y obtener como subproducto el compost o abono, el cual puede usarse para mantenimiento de zonas verdes y /o viveros institucionales (Román, Martínez, y Pantoja, 2013).

Los equinos durante muchas décadas, han sido un apoyo para la Policía Nacional y específicamente en la Dirección de Carabineros y Seguridad Rural, la cual realiza funciones que garanticen el orden público en áreas rurales y urbanas, y con ello evitar atentados, actos de grupos al margen de la ley o diferentes actores; además, ayudar a prevenir, disuadir y controlar los delitos en contra de la convivencia ciudadana. Dicho lo anterior y teniendo en cuenta la importancia de los semovientes en estas actividades, se requiere tener aseados y libres de sus propios residuos orgánicos (excremento y orina) sus lugares de permanencia dentro de las instituciones, evitando con ello, la generación de vectores como moscas, zancudos y otros que pueden enfermar tanto a los semovientes como a los humanos.

Por otro lado, si se tiene en cuenta la cantidad de equinos en las unidades de la Policía Nacional y en las instituciones en general para Colombia, se podría hablar de toneladas producidas por día de residuos orgánicos, lo cual también, es un excelente aporte de este libro; esto, teniendo en cuenta la utilidad no solo para la Institución Policial, sino también para la comunidad en general, lo cual permite la capacitación por parte del personal uniformado a los habitantes de los municipios, finqueros o ganaderos y otros gremios que cuenten con este tipo de animales, logrando con ello la proyección social, posicionamiento de la imagen Institucional y un cumplimiento de la visión y misión de la Policía Nacional.

En la Escuela de Aviación Policial, este libro contribuye a fortalecer al Área de Investigación, compuesto por su grupo ESAVI-DINAE, semilleros, y estudiantes de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico y de la Especialización Piloto Policial, que toman como opción de grado esta modalidad investigativa; además, permite socializar

y divulgar los resultados obtenidos de proyectos Institucionales, enfocados a las líneas ambientales con que cuenta la Policía Nacional y la misma ESAVI, las cuales están consignadas en la Resolución 06706 (2017) “Por la cual se expide el Manual de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Policía Nacional de Colombia”. También, en la Institución se está realizando la recolección, manejo y transformación adecuada de los residuos sólidos orgánicos de los equinos a través del compostaje aerobio por pila estática.

Por otro lado, este libro se proyecta como una herramienta fundamental en la capacitación a la comunidad en general del municipio de Mariquita y la Escuela de Aviación, especialmente a los habitantes o gremios que tengan equinos, permitiendo con ello capacitarlos a corto plazo en el proceso de compostaje; y el diseño, construcción y mantenimiento requerido para las instalaciones físicas donde se debe realizar dicho proceso, lo cual permitirá posicionamiento académico y de la imagen de la Escuela de Aviación; además, de contribuir con su proyección social e investigativa.

Quiero agradecer a la Policía Nacional y la Editorial de la Dirección Nacional de Escuelas por habernos permitido la elaboración y publicación de este libro, puesto que se dispone como una oportunidad de divulgar los resultados y productos de investigación en la ESAVI, los cuales son de bastante interés para la comunidad científica y en general, tanto a nivel internacional, nacional como departamental.

Teniente Coronel Marcos Wilson Forero Ruge
Director Escuela de Aviación Policial

Contenido

Introducción.....	14
Capítulo 1. Fundamento teórico del compostaje.....	17
1.1. Residuos sólidos	17
1.2. Compostaje	18
1.2.1. Bocashi	19
1.2.2. Vermicompost o lombricultura	20
1.2.3. Mulch vegetal	22
1.2.4. Biofertilizantes	22
1.2.5. Biofermentos	22
1.2.6. Abono verde	22
1.3. Microorganismos efectivos	22
1.4. Abonos orgánicos	24
1.5. Relación carbono/nitrógeno (c/n)	24
1.6. Fases del compostaje	26
1.7. Parámetros a tener en cuenta en las fases del compostaje	26
1.8. Comportamiento de los parámetros físicos y químicos en el compostaje	27
1.8.1. Temperatura.....	27
1.8.2. Humedad.....	27
1.8.3. Aireación.....	27
1.8.4. El potencial de hidrógeno (pH).....	28
1.9. Técnicas de compostaje	28
1.9.1. Método del agitado.....	29
1.9.2. Compostaje en hilera.....	29
1.9.3. Pila estática aireada.....	29
1.9.4. Sistemas de compostaje en reactor.....	30
1.10. Biowish odor.....	30
1.11. Componentes de la equinaza.....	31
1.12. Índices de calidad del compost.....	31
1.1.5. Marco normativo.....	33
Capítulo 2. Caracterización de los valores físicos y químicos de la equinaza.	36
2.1. Recolección de equinaza en la remonta.....	36
2.2. Composición física y química de la equinaza producida en la esavi.....	38
2.2.1. Análisis físico y químico de la equinaza.....	38
Capítulo 3. Diseño y construcción de composteras	41
3.1. Diseño de la compostera.....	41
3.2. Relación c/n de la mezcla con base en la caracterización.....	42
3.2.1. Conformación de las pilas.....	44
3.2.2. Volteo de las pilas durante el proceso de degradación del compostaje.....	45
3.3. Composición final de las mezclas.....	45
3.4. Construcción de la compostera para el proceso con base al diseño realizado.....	47
Capítulo 4. Análisis de calidad del compost obtenido para la nutrición del suelo.....	49
4.1. Toma de muestra del compost y registro sistemático de datos.....	49

4.1.1. Temperatura.....	49
4.1.2. Humedad y pH.....	49
4.2. Temperatura.....	49
4.2.1. Fase mesófila.....	50
4.2.2. Fase termófila.....	51
4.2.3. Fase enfriamiento o mesófila ii.....	51
4.2.4. Fase de maduración.....	51
4.3. pH.....	51
4.3.1. Fase mesófila.....	53
4.3.2. Fase termófila.....	53
4.3.3. Fase de enfriamiento o mesófila ii.....	53
4.3.4. Fase de maduración.....	53
4.4. Humedad.....	53
4.5. Relación c/n inicial y final.....	56
4.6. Caracterización fisicoquímica del compost (producto final).....	57
Conclusiones.....	59
Limitaciones.....	61
Recomendaciones.....	63
Referencias.....	65

Apéndices

Apéndice A. Exámenes de laboratorio de la equinaza.....	71
Apéndice B. Informe de visita a remonta Escuela de Carabineros "Alejandro Gutiérrez".....	72
Apéndice C. Exámenes de laboratorio mezcla 1 y 2.....	76

Lista de Tablas

Tabla 1. Variables proceso de compostaje.....	26
Tabla 2. Caracterización agroquímica de la equinaza.....	32
Tabla 3. Parámetros del Compostaje.....	32
Tabla 4. Normatividad manejo y recolección de residuos sólidos.....	33
Tabla 5. Residuos orgánicos equinos por día.....	37
Tabla 6. Ficha técnica de la caracterización de la equinaza producida en la ESAVI.....	39
Tabla 7. Relación Carbono – Nitrógeno de algunos materiales orgánicos.....	43
Tabla 8. Mezcla 1. Relación Carbono – Nitrógeno (C/N).....	47
Tabla 9. Mezcla 2. Relación aproximada de Carbono – Nitrógeno (C/N).....	48
Tabla 10. Mediciones de temperatura a las mezclas durante el proceso de compostaje.....	50
Tabla 11. Mediciones de pH de las mezclas 1 y 2 a través del proceso de compostaje.....	52
Tabla 12. Mediciones de Humedad de las mezclas a través del compostaje.....	54
Tabla 13. Ficha técnica caracterización fisicoquímica del compost.....	58

Lista de figuras

Figura 1. Residuos que se pueden utilizar en compostaje.	19
Figura 2. Cultivo de lombrices en el sistema de cama.	20
Figura 3. Ecuación calculo relación C/N	25
Figura 4. Recolección y separación de los residuos orgánicos en las pesebreras.	36
Figura 5. Equinaza promedio producida en la ESAVI.	37
Figura 6. Recolección y empaçado de las muestras.	38
Figura 7. Visita a la remonta de la Escuela de Carabineros “Alejandro Gutiérrez”	41
Figura 8. Diseño de la compostera. Corte transversal.	42
Figura 9. Disposición de las capas de materia orgánica en el cimientó.	45
Figura 10. Procedimiento de volteo o aireación de las pilas.	46
Figura 11. Elementos que conforman las mezcla 1 y 2.	46
Figura 12. Construcción de la compostera.	48
Figura 13. Medición de Temperatura, humedad y pH.	50
Figura 14. Temperatura en ambas mezclas por día.	52
Figura 15. Comportamiento del pH en ambas mezclas.	54
Figura 16. Comportamiento de la humedad en ambas mezclas.	55
Figura 17. Relación C/N inicial y final.	57

Lista de Siglas, Acrónimos y Abreviaturas

Sigla o abreviatura Significado

BAL	Bacterias ácido lácticas
CIC	Capacidad de Intercambio Catiónico
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de Carbono
DINAE	Dirección Nacional de Escuelas
ESAGU	Escuela de Carabineros “Alejandro Gutiérrez”
ESAVI	Escuela de Aviación Policial
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GTC	Guía Técnica Colombiana
H ₂ S	Ácido Sulfhídrico
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
m	Metro
m ³	Metros cúbicos
Min	Minuto
MO	Materia orgánica
NH ₃	Amoniaco
NTC	Norma Técnica Colombiana
OMRI	Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos
pH	Potencial de Hidrógeno
RAES	Restos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
RAS	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
SO ₄	Sulfato
TM	Tonelada métrica
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
°C	Temperatura en grados Celsius

INTRODUCCIÓN

El empleo de animales para el trabajo, compañía, consumo y producción, contribuye a la generación de residuos orgánicos, los cuales pueden ocasionar riesgos de seguridad ocupacional (Gómez, 2017), problemas en la salud del animal y contaminación al medioambiente (Poulin et al., 2018; Valencia, 2019), sino se implementan, desarrollan y aplican técnicas y métodos adecuados para el manejo y la transformación de los desechos biodegradables, que incluyen principalmente los de equinos y se conocen como equinaza (Ponce de León, 2001; Smith & Aber, 2018; López, 2016; Moncol, 1996).

Una de las principales técnicas para convertir los residuos orgánicos como la equinaza en algo útil, es el proceso de compostaje aerobio por pila estática, el cual utiliza dichos desechos y los convierte en biofertilizantes, que posteriormente “se incorporan a la estructura del suelo, de los microorganismos y de las plantas, causando beneficios ambientales, sociales, económicos y de salubridad al entorno; esta técnica es la más usadas en Colombia” (Albañil, et al., 2017; Vargas, et al., 2019). También, de acuerdo con Sánchez (2008); Romero (2018) y la Dirección General de Sanidad Militar (2010) definen el compostaje como:

La descomposición de residuos orgánicos por la acción microbiana, cambiando la estructura molecular de los mismos, de acuerdo al tiempo de degradación, se da el grado de madurez al realizar biotransformación o degradación parcial (descomposición de un compuesto orgánico en otro similar) y mineralización o degradación completa (p. 2).

El área de Carabineros en la ESAVI, se encuentran 11 semovientes que generan entre 60 a 80 kilogramos de equinaza diarios; sin embargo, a la fecha no se ha contemplado la posibilidad de implementar una estrategia de manejo y aprovechamiento, que permita hacer un uso efectivo del estiércol que es producido por los caballos que allí habitan, lo cual puede estar generando vectores (roedores, moscas y zancudos), gases como el metano y dióxido de carbono, y lixiviados.

En este contexto, el impacto en el medioambiente es más evidente a medida que se acumula y sobre producen estos desechos; a su vez que, a mayor proporción, más efectos dañinos pueden tener sobre la salud del personal que allí labora, como problemas respiratorios y riesgo de contraer una enfermedad zoonótica, comúnmente asociadas con el mal manejo de las excretas equinas e incurrir en importantes costos económicos para su traslado al realizar su disposición final.

Partiendo de lo anterior, la finalidad de esta investigación, es promover el reciclaje como una manera de optimizar los recursos, convirtiendo los desechos producidos por los equinos del área de Carabineros en abono orgánico, mediante la técnica de compostaje aerobio por pila estática, produciendo una mejor calidad de vida para los semovientes y mejorando el entorno de trabajo de quienes los cuidan; además, de contribuir con el enriquecimiento de los suelos de la ESAVI, dando un aprovechamiento práctico, el cual ahorraría un gasto económico en la manutención de jardines y árboles frutales o en la propagación de material vegetal en el vivero, asimismo, se puede utilizar en otras necesidades de la Escuela.

Dada la importancia de esta investigación, se pretende lograr la transferencia de conocimiento y tecnología en la elaboración de este proceso por parte del personal uniformado de las escuelas policiales a empresas, instituciones y comunidad en general, que tengan este tipo de semovientes, y de esta manera fortalecer y posicionar la imagen institucional de la Policía Nacional, como centro de formación para el conocimiento, no solo en temas de seguridad y aviación, sino también en otros aspectos como el cuidado del medioambiente.

Para realizar este proceso, se llevó a cabo una investigación aplicada con corte experimental, alcance descriptivo y enfoque cuantitativo, conto con la recopilación de fuentes de información secundaria como libros y journals, y fuentes primaria a la equinaza de la ESAVI, el diseño y la construcción de la compostera, la elaboración de las dos relaciones de mezcla y el proceso de volteo y seguimiento de las variables como temperatura, pH entre otras. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio especializadas para determinar las condiciones mínimas de calidad del compost partir del trabajo de campo como visitas a otras instituciones, recolección y tratamiento de obtenido como abono, el cual puede servir para el mantenimiento de zonas verdes, de propagación de material vegetal en el vivero o donde se requiera, y con ello dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo aprovechar los residuos orgánicos equinos para mejorar el proceso de su disposición final en la ESAVI?

Por último, el libro está estructurado en cuatro capítulos, el primero, consiste en la fundamentación teórica del compostaje a partir de residuos equinos y permite al lector comprender los conceptos, fórmulas y variables que se deben tener en cuenta en el pro-

ceso para obtener el abono orgánico. En el segundo capítulo, se especifica la caracterización de los parámetros físicos y químicos que tiene la equinaza; esto, teniendo en cuenta unas condiciones adecuadas para la obtención de compost de calidad nutricional para el suelo. El tercer capítulo, explica cómo se realiza el diseño y la construcción de la infraestructura donde se realiza el compostaje, teniendo claro dimensiones, condiciones ambientales y otros aspectos requeridos, los cuales no afecten el compostaje. En el cuarto y último capítulo, se describe los resultados obtenidos del compost en laboratorio especializado, con base a los parámetros de calidad que debe tener para su uso agrícola.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO DEL COMPOSTAJE

1.1. Residuos Sólidos

“Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios” (Guerra, 2012).

De acuerdo con el Decreto 2981 (2013), su clasificación de manera general, es la siguiente:

1. Residuo Aprovechable: Cualquier material, objeto, sustancia o elemento que no tiene valor para quien lo genera, pero se puede incorporar nuevamente a un proceso productivo.
2. Residuo No Aprovechable: todo material o sustancia que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación a un proceso productivo. No tienen ningún valor comercial, por lo tanto, requieren disposición final.
3. Residuo Orgánico biodegradable: son aquellos que tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Ejemplo: los restos de comida, de fruta, cáscaras, carnes, huevos, etc.
4. Residuos Peligrosos: es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo a la salud humana y el ambiente. Asimismo, se considera residuo o desecho peligroso como los envases, empaques o embalajes que hayan estado en contacto con ellos.
5. Residuos Especiales: residuos sólidos que por su calidad, cantidad, magnitud, volumen o peso puede presentar peligros y, por lo tanto, requiere un manejo especial. Incluye a los residuos con plazos de consumo expirados, desechos de establecimientos que utilizan sustancias peligrosas, lodos, residuos voluminosos o pesados que, con autorización o ilícitamente, son manejados conjuntamente con los residuos sólidos municipales.

6. Residuos Objeto de Posconsumo: son residuos especiales que pueden generar por sus componentes cierto grado de peligrosidad si se hace una inadecuada gestión, por ejemplo: restos de aparatos eléctricos y electrónicos (por su sigla RAES), empaques y embalajes de pesticidas, envases presurizados, bombillas ahorradoras de energía, medicamentos vencidos o parcialmente consumidos, pilas y baterías, entre otros. (p. 5).

Por otro lado, una adecuada separación y tratamiento de los residuos sólidos, se requiere educación ambiental a la persona que los genera, buscando con ello lograr en él, una conciencia y cultura ambiental que perdure en el tiempo y sirvan como multiplicadores de la información y el aprendizaje en sus empresas, núcleos familiares y amigos; además, se debe tener en cuenta que al separarlos “no se contaminen con otros residuos, lo cual pasa usualmente cuando se mezcla el papel con los envases que suelen contener líquidos que terminan afectando sus propiedades y calidad” (Guía Técnica Colombiana-GTC 24, 2009).

1.2. Compostaje

Es un proceso biológico donde la materia orgánica se descompone de forma natural por acción de microorganismos descomponedores (bacterias y hongos) y como se resultado se obtiene abono orgánico también llamado compost (Mota & Urquiaga, 2004). De igual modo, el compostaje se puede presentar de manera aerobia como anaerobia, en donde se aplican diferentes procesos siempre buscando llegar a la misma finalidad, a continuación Salazar (2014) lo define como:

1. Compostaje Aerobio: descomposición natural de la materia orgánica que necesita oxígeno para desarrollarse y, por ende, este proceso requiere de volteos constantes para que la pila de compost tenga una adecuada oxigenación.
2. Compostaje Anaerobio: proceso que consiste en descomponer la materia orgánica en partículas con ausencia de oxígeno para su desarrollo (p. 187)

De igual forma, la Norma Técnica Colombiana-NTC 5167 (2011) y Bernardo-Gutiérrez (2018), definen el compostaje “como el proceso de oxidación aerobia de materiales orgánicos que conduce a una etapa de maduración mínima o estabilización, se convierten en un recurso orgánico estable y seguro para ser utilizado en la agricultura”.

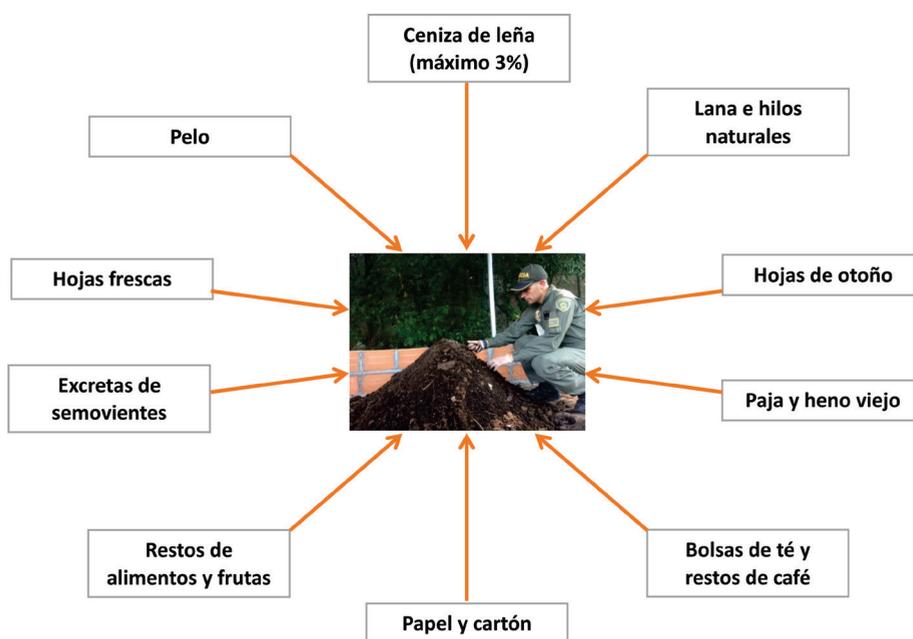
Román et al., (2013), define el compostaje como:

La mezcla de materia orgánica en descomposición por condiciones aeróbicas, la cual se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes; sin embargo, no todos

los materiales que han sido transformados, son considerados compost. De igual forma, el proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad, puesto que la utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje, puede acarrear riesgos como: toxicidad, reducción de oxígeno y nitrógeno radicular, y exceso de amonio que sería tóxico para el cultivo.

En la Figura 1 se pueden observar los residuos utilizados en el proceso de compostaje.

Figura 1
Residuos que se pueden utilizar en compostaje



1.1.1.1. Bocashi

Figuerola et al. (1996), lo definen como:

Receta japonesa de producción de abono orgánico, cuyo proceso consiste en volteos frecuentes y basada en volteos frecuentes y temperaturas por debajo de los 45-55°C, hasta que la actividad microbiana reduce al disminuir la humedad del material. Algunos autores lo han considerado un abono orgánico "fermentado", sin embargo es un proceso enteramente aeróbico.

Por otro lado, de acuerdo con Ramos et al. (2014):

El bocashi fue introducido en el país por técnicos japoneses y la mayoría de los productores practican la receta original: 1 saco de gallinaza, 1 saco de granza, 2 sacos de tierra, 1 saco de semolina de arroz o salvado, 1 saco de carbón molido y 1 litro de melaza. Sin embargo dada las limitaciones, para adquirir algunos de estos materiales, los agricultores han ido sustituyendo éstas con ingredientes locales. Por tanto, actualmente se llama “bocashi” al sistema de producción y no a la receta original.

1.1.2. Vermicompost o Lombricultura

De acuerdo con Dávila y Ramírez (1996), el vermicompost o lombricultura es:

Un proceso biológico de transformación de la materia orgánica a través de una descomposición aeróbica, la cual es una biotecnología orientada a la utilización de la lombriz como una herramienta de trabajo para el reciclaje de todo tipo de materia orgánica.

En la Figura 2, con base al mismo autor, se observa las camas donde por lo general se realiza el proceso de lombricultura. Este abono es 100% natural y tiene un pH que varía entre 6.5 y 7.5, y una consistencia bien húmeda, el proceso dura alrededor de tres (3) meses; además, se debe evitar la pérdida de humedad y que conlleva al aumento de temperatura, la cual no puede superar por lo general los 45°C, puesto que sus cualidades se verían disminuidas por la mortalidad de microorganismos.

Figura 2
Cultivo de lombrices en el sistema de cama



Por otro lado, Gabriel et al. (2011), afirman que:

La lombricultura puede desarrollarse de modo casero, industrial y comercial, puesto que puede establecerse con estructuras no muy complejas o sin ningún tipo de apoyo (paralelepípedos horizontales o verticales), las cuales pueden tener o no material de cobertura; sin embargo, son el mercado y el costo/beneficio, los factores que definen su alcance y dicha complejidad.

De igual modo, el mismo autor, especificó que:

Es realizada por diferentes especies de lombrices; sin embargo, en la actualidad, la más utilizada para esta actividad es la lombriz de nombre científico *Eisenia foetida* o la llamada lombriz roja californiana. Esta especie de lombriz es nativa de Europa y Asia, y desde hace 10.000 años ha sido manipulada por el hombre.

Asimismo, Vásquez y Ballesteros (2008) y Sánchez (2013), explican lo siguiente:

La lombriz adulta consume una cantidad de alimentos o desechos al día en igual proporción a su propio peso, aproximadamente 1 gramo. De aquel valor, el 60% lo excreta como abono y el 40% lo metaboliza para formar tejido y acumular energía. En el proceso de lombricompostaje, se prefiere utilizar la llamada lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*); esto, debido a las ventajas comparativas que posee frente a otras lombrices, como la alta resistencia a la temperatura y actividad reproductiva, es decir que se multiplica rápidamente, permitiendo con ello la descomposición de los residuos orgánicos en forma rápida y eficiente. (pp. 49-50).

1.1.2.1. Requerimientos de Crecimiento de las Lombrices.

En su tesis de grado, Sánchez (2013), afirma que:

El alimento de las lombrices debe contener nutrientes de diferentes materiales orgánicos, lo cual balancea de una manera adecuada la mezcla y facilita a la lombriz un buen desarrollo y fecundidad, logrando con ello que el producto final sea de buena calidad. Dentro de los alimentos recomendados están: la paja, malezas, tusas y tallos de maíz, frutas, pastos, rastrojos de cultivos cosechados, ceniza, cal, purines, estiércoles, sobras de cocina y desechos de curtiembres (p. 33).

Según Vásquez y Ballesteros (2008) “la temperatura de desarrollo en la lombriz es de los 10 a los 29°C; sin embargo, se recomienda como nivel óptimo mantener los 25 °C”. Este rango de temperatura óptima es diferido por Bollo (1999) y citado por Durán & Henríquez (2009), puesto que él recomienda mantener unos 20°C en el sustrato. También, Aguirre (1996), determinó que:

La humedad requerida en el sustrato por la lombriz roja es del 80% al 85%, puesto que esta especie requiere una película de agua para realizar el intercambio de gases; además, el pH ideal es de 7 (neutro); sin embargo, puede soportar un rango entre 5 y 9, y al ser lombrices fotofóbicas, se recomienda mantener su desarrollo en la oscuridad, alejadas de los rayos ultravioleta de la luz solar (p. 26).

1.1.3. Mulch Vegetal

Según Hernández del Valle et al., (2008): “Son los residuos de cosechas u otros residuos vegetales esparcidos sobre la superficie del suelo; se diferencia del nombre genérico mulch, al abarcar otros materiales diferentes a los residuos vegetales como plásticos, cartones, piedras, entre otros” (p. 47).

1.1.4. Biofertilizantes

De acuerdo con Alarcón y Ferrera-Cerrato (2000), son aquellos:

Que aumentan el contenido de nutrientes en el suelo o la disponibilidad de los mismos. Entre estos, el más conocido es el de bacterias fijadoras de nitrógeno como *Rhizobium*; sin embargo, también se pueden incluir otros productos como micorrizas y fijadoras de nitrógeno no simbióticas. (p. 1).

1.1.5. Biofermentos

Lucas (2013) afirma que “son fertilizantes en su mayoría para uso foliar, que se preparan a partir de fermentaciones de materiales orgánicos. En el país son de uso común los biofermentos a base de excretas de ganado vacuno o de frutas” (p. 60).

1.1.6. Abono Verde

Jiménez (2004), los define como:

Plantas que se incorporan al suelo en estado verde; esto, con la finalidad de incrementar los contenidos de materia orgánica y el nitrógeno disponible en el suelo; este tipo de abono es importante cuando las plantas utilizadas son leguminosas, por el aporte de nitrógeno que hacen al suelo (p. 58).

1.3. Microorganismos Efectivos

Arismendi et al., (2010, como se citó en Gonzáles et al., 2019), los definen como:

Conjunto de bacterias que producen un aprovechamiento de los componentes de la materia, optimizando así el proceso de compostaje. Los microorganismos efectivos, se desarrollaron en los años 70 por el profesor japonés Teruo Higa y se conforman esencialmente por organismos como levaduras y bacterias ácido lácticas y fotosintéticas. Inicialmente, se desarrollaron para el mejoramiento de los suelos y tratamiento de residuos agropecuarios; sin embargo, hoy en día se suelen utilizar en tratamientos de agua. (p. 8940).

De acuerdo con Arismendi et al., (2010) y Silva (2017), los microorganismos efectivos se pueden clasificar así:

1. *Azospirillum*: Bacteria Gram negativa de vida libre, la cual es capaz de fijar el nitrógeno biológico y producir fitohormonas; además, ha sido conocida por muchos años como promotor del crecimiento de las plantas, puesto que es un organismo beneficioso para los cultivos de diversos productos agrícolas u otros.
2. *Azotobacter*: Género de bacterias usualmente motiles, ovals o esféricas, las cuales forman quistes de pared gruesa y pueden producir grandes cantidades de baba capsular; además, tiene una tasa respiratoria efectiva y rápida a nivel superficial, siendo esta de vida libre.
3. Bacterias ácido lácticas - BAL: Producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos. Es un fuerte sintetizador, el cual suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de la materia orgánica.
4. Bacterias fotosintéticas: Se caracterizan por producir energía usando luz solar (proceso similar al de fotosíntesis en las plantas); además, son productoras de enzimas, las cuales son capaces de degradar compuestos tanto orgánicos como inorgánicos.
5. Coliformes Totales: Las Enterobacteriaceae lactosa-positivas constituyen un grupo de bacterias, las cuales se definen más por las pruebas usadas para su aislamiento que por criterios taxonómicos.
6. Enterobacteriaceae: Bacterias Gram negativas, las cuales tienen más de 30 géneros y 100 especies que pueden tener morfología de cocos o bacilos. Los miembros de este grupo forman parte de la microbiota del intestino (llamados coliformes), y de otros órganos del ser humano y de otras especies animales.
7. *Escherichia Coli*: Es una bacteria habitual en el intestino del ser humano y de otros animales de sangre caliente, y aunque la mayoría de las cepas son inofensivas, algunas pueden causar una grave enfermedad de transmisión alimentaria.

8. Levaduras: Producen sustancias como hormonas y enzimas, las cuales promueven la división celular activa y sus secreciones son útiles para otros microorganismos eficientes como las bacterias ácido lácticas.
9. Microorganismos Aerobios Mesófilos: Son todas aquellas bacterias aerobias mesófilas, capaces de crecer en agar nutritivo.
10. Moho: Es un hongo que se encuentra tanto al aire libre como en interiores (p. 10).

1.4. Abonos Orgánicos

Arcila. et al. (2007), los define como:

Material de origen orgánico utilizado para fertilización de cultivos o como mejorador de suelos. Se incluyen dentro de los abonos orgánicos materiales como la gallinaza, la pulpa del café, coberturas como el kudzú o Arachis, compost y ácidos húmicos; además, su utilización está regulada por las normas internacionales de certificación. No todos los abonos orgánicos pueden ser utilizados en agricultura orgánica, por ejemplo, el uso de excretas de animales totalmente estabulados está prohibido por la regulación Unión Europea. Los ácidos húmicos permitidos son solo aquellos cuyo extractante haya sido Hidróxido de potasio (KOH) o Hidróxido de Sodio (NaOH) (p. 203).

Por otro lado, según el Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos (OMRI, 2020) “las enmiendas como el carbonato de calcio o fertilizantes como la roca fosfórica que, aunque no son abonos orgánicos, se permiten en agricultura orgánica”. La legislación de la Agricultura Orgánica de los Estados Unidos (USDA, 2019), definió “las condiciones de compostaje requeridas para el manejo de excretas frescas, lo que restringe aún más el uso de abonos orgánicos permitidos para agricultura orgánica”. Lo anterior creó, por supuesto, en los productores, “la necesidad de conocer muy bien las normas y el mercado al que va a ser dirigido su producto” (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO, 2002).

1.5. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

De acuerdo con Sepúlveda y Alvarado (2013) y Zúñiga (2013):

Es un valor numérico de la proporción carbono y nitrógeno que se encuentra en el compostaje; además, es importante realizar este cálculo debido a que estos dos elementos son esenciales para la nutrición y la producción de buena calidad de compost. De igual forma, el porcentaje de la relación C/N puede estar entre 25:1 a 35:1; sin embargo, lo ideal es de 30:1, es decir, 25-35 átomos de carbono por cada átomo de nitrógeno. Del carbono necesario para que los microorganismos de una pila de compostaje crezcan, una parte se dedica a la obtención de

energía metabólica dando como resultado la emisión de CO₂, metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). La parte restante la incorporan en su propia estructura celular junto al nitrógeno (10/1). Así, es muy importante tanto la cantidad de carbono y su relación con el nitrógeno como su naturaleza química, puesto que en función de esto habrá más o menos crecimiento y actividad metabólica (calor).

De igual modo, para que sea posible la relación C/N, se deben conocer los porcentajes de Carbono, Nitrógeno y Humedad de cada material requerido para el proceso de descomposición en el compostaje, y asimismo con estos datos realizar la siguiente fórmula empírica que se puede observar en la Figura 3 (Sepúlveda Villada y Alvarado Torres, 2013):

Figura 3
Ecuación cálculo relación C/N

$$R = \frac{Q_1 * (C_1 * (100 - M_1)) + Q_2 * (C_2 * (100 - M_2)) + \dots}{Q_1 * (N_1 * (100 - M_1)) + Q_2 * (N_2 * (100 - M_2)) + \dots}$$

$$R = \frac{Q_1 * (C_1 * (100 - M_1)) + Q_2 * (C_2 * (100 - M_2)) + \dots}{Q_1 * (N_1 * (100 - M_1)) + Q_2 * (N_2 * (100 - M_2)) + \dots}$$

Nota: Sepúlveda Villada y Alvarado Torres (2013).

Dónde:

R= relación carbono y nitrógeno (C/N).

Q_n= masa de residuos para optimizar el proceso

C_n= porcentaje de carbono: debe ser el proporcionado que no altera su proceso de descomposición.

N_n= porcentaje de nitrógeno: relación de nutrientes adecuados.

M_n= porcentaje de humedad.

100= constante de porcentaje debe encontrarse equilibrado para realizar un buen procedimiento desde la formulación y el pesaje.

1.6. Fases del compostaje

Román et al., (2013) describe cada una de la siguiente manera:

1. **Fase Mesófila:** el compostaje inicia con temperatura ambiente, hasta llegar a 40- 50 °C. Puede durar aproximadamente dos semanas; sin embargo, no es algo preciso, puesto que en esto influye el tipo de residuos que se agreguen.
2. **Fase Termófila:** cuando la mezcla supera los 50°C, entra en esta fase, la cual se caracteriza por llegar a temperaturas muy altas, entre 60 a 80°C, produciendo la destrucción de organismos patógenos.
3. **Fase Enfriamiento:** la temperatura disminuye hasta llegar nuevamente a temperatura ambiente.
4. **Fase Maduración:** Las variables de temperatura y pH se estabilizan; además, se debe tener en cuenta que si el pH es ácido (menor a 7), quiere decir que el proceso de compostaje aún no está finalizado, y si es básico (mayor a 7), por el contrario, indica que ya culminó. (p. 23)

1.7. Parámetros a Tener en Cuenta en las Fases del Compostaje

Román et al. (2013), define los parámetros que se deben tener en cuenta en el proceso ideal de compostaje aerobio; sin embargo, se debe especificar que al agregar microorganismos efectivos, los tiempos en días de la duración del proceso de compostaje completo, puede disminuir de tres entre (3) y seis (6) meses a uno (1) aproximadamente, al igual que algunos otros parámetros como temperatura y pH. De igual forma, en la Tabla 1 se observa que específicamente se tiene por experiencia que el proceso termina cuando en la fase de maduración está entre 6.5 y 8.5.

Tabla 1
Variables proceso de compostaje

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 - 15:1
Humedad	50% - 60%	45% - 55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
Tamaño partícula	< 25 cm	~15 cm	~1.6 cm
pH	6.5 – 8	6.0 - 8.5	6.5 – 8.5
Temperatura	45 – 60°C	45°C - Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250 – 400 kg/m ³	< 700 kg/m ³	< 700 kg/m ³
Materia orgánica Base seca	50% - 70%	> 20%	> 20%
Nitrógeno total Base seca	2.5 – 3%	1-2 %	~1 %

Nota. Román et al. (2013, p. 31).

1.8. Comportamiento de los Parámetros Físicos y Químicos en el Compostaje

Román et al. (2013), describen los parámetros físicos y químicos que se requieren controlar durante el proceso de compostaje, los cuales se describen a continuación:

1.8.1. Temperatura

Román et al. (2013) afirma que “con el aumento de temperatura, la actividad microbiana lo hace también, acelerando el proceso de descomposición, de allí que la actividad microbiana es mayor en verano que en invierno y en los trópicos con respecto a las zonas frías”, además, muchos autores consideran como “temperatura óptima entre 35 a 55 °C., para eliminar organismos patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas” (p.28).

1.8.2. Humedad

Quinatoa (2012), afirma:

La masa de compost requiere de cantidades normales de humedad, esto quiere decir que al comprimir el material húmedo en la mano, debe escurrir ligeramente el agua, lo cual indica una cantidad adecuada, y cuando el tiempo está seco se debe regar cada ocho días, se sugiere que la humedad debe estar entre 40 y 60 % (p. 6).

1.8.3. Aireación

Según Román et al. (2013):

Los microorganismos aeróbicos necesitan oxígeno para su funcionamiento, por ende, la composta debe contener una óptima proporción de aire en sus poros para el normal funcionamiento de esta flora mineralizante; además, la aireación en el compost es fundamental para los microorganismos y la liberación de anhídrido carbónico, por eso es necesario proporcionar oxígeno.

Finalmente, Soliva et al. (1992) define lo siguiente:

En la etapa mesófila se precisa una degradación de 0.05 a 0.08 m³/min/TM de materia seca, aumentando rápidamente en pocos días, en la termófila se produce la máxima disgregación aeróbica con 0.5 m³/min/TM, y luego desciende a 0.1 m³/min/TM. Al finalizar la degradación de los compuestos fácilmente oxidables, se necesitan entre 0.05-0.08 m³/min/TM de desintegración, luego, los niveles de oxígeno deben estar entre 10 y 18%. Olores nauseabundos indican falta de aireación y se producen respiraciones anaeróbicas; además, la putrefacción genera Ácido Sulhídrico (H₂S) con olor a amoníaco, producto de la amonificación. Este fenómeno, puede originarse por cantidad elevada de agua agregada o compactación excesiva del material en cada volteo realizado, se debe de inmediato suspender los riegos, remover el material y reconformar las pilas (p. 4).

1.8.4. El Potencial de Hidrógeno (pH)

De acuerdo con Soliva et al. (1992):

Es un parámetro que condiciona la presencia de microorganismos, puesto que los valores extremos son perjudiciales para determinados grupos. Para conseguir que al inicio del compostaje, la población microbiana sea lo más variada posible, se debe trabajar valores de pH cercanos a 7 (neutro); sin embargo, aunque un pH extremo no es un impedimento para el proceso, si lo es para su cinética, dificultando la puesta en marcha, el tipo de reacciones y la velocidad, y con el tiempo genera una cierta capacidad tampón del residuo, causada por la formación de Dióxido de carbono-CO₂ y Amoníaco-NH₃

También, de acuerdo con el mismo autor:

Los hongos toleran pH entre 5 a 8, en tanto que las bacterias entre 6 a 7.5, como valores aceptables se recomiendan entre 6.5 y 7.5 (ligeramente ácido o alcalino). Señalan que los pH inferiores a 5,5 (ácidos) inhiben el crecimiento al igual que los alcalinos (8.0). Una reducción de pH en algún momento del proceso puede indicar que se han producido condiciones anaerobias. Los microorganismos en ausencia de oxígeno producen ácidos como producto del metabolismo acidificando el medio.

1.9. Técnicas de Compostaje

Jaramillo y Zapata (2008) afirman que “las técnicas más utilizadas para compostar, son los métodos del agitado, hilera, reactor y el estático”. A continuación se describe cada uno de estos métodos.

1.9.1. Método del Agitado

Jaramillo y Zapata (2008), lo define como:

Proceso donde el material de la mezcla a fermentar se mueve periódicamente; esto, con el fin de permitir entrada de oxígeno, controlar la temperatura y homogenizar el material; mientras que, en el método estático, el material permanece quieto y a través del él, se inyecta aire.

1.9.2. Compostaje en Hilera

Jaramillo y Zapata (2008) especifican que:

Antes de formar las hileras, se pre trata el material orgánico mediante trituración (tamaños entre 10 y 12 mm de largo) y cribación (limpieza a partir de mallas), hasta que se obtiene un tamaño de partícula aproximadamente de 2.5 a 7.5 cm y un contenido de humedad entre 50 a 60%. El ancho y alto de las hileras depende del tipo de equipamiento (manual, semiautomático o automático) a utilizar para voltear los residuos fermentados.

Y de acuerdo con el mismo autor:

Un sistema rápido de compostaje en hileras emplea normalmente de 2 m a 2.30 m de altura y 4.5 m a 5 m de ancho por cada una de ellas, el material se voltea hasta dos veces por semana, mientras la temperatura se mantiene aproximadamente a 55°C; la fermentación completa puede obtenerse en tres o cuatro semanas, después del periodo de volteo, se deja el compost para curarse o en su etapa de maduración durante el mismo tiempo sin volteo. En un sistema de mínimo rendimiento se utiliza una pala para voltear la hilera una vez al año, esto podría funcionar, pero tardaría de 3 a 5 años en completarse la descomposición y emitiría olores desagradables, puesto que algunas partes serían anaerobias.

1.9.3. Pila Estática Aireada

Según Jaramillo y Zapata (2008) “Este sistema fue originalmente desarrollado para el compostaje aerobio de fangos de aguas residuales; sin embargo, se puede utilizar para fermentar una amplia variedad de residuos orgánicos, incluyendo los de jardín o aquellos sólidos urbanos previamente separados”. De igual forma, Vicencio-De La Rosa et al. (2011), define este método como:

Una red de tuberías previamente perforadas para que entre el aire, sobre ellas se coloca la fracción orgánica procesada de los residuos, formando pilas de aproximadamente de 2 a 2.5 m de altura, si los montones ocupan superficies aproximadamente cuadradas, se denominan mesetas; además, los materiales a compostar, se deben apilar sin que se compriman mucho, para

permitir que el aire quede retenido, y los montones o pilas deben ser aireados por volteo o ventilarlos por aireación a través de un sistema de distribución de aire de forma periódica. (p. 264).

1.9.4. Sistemas de Compostaje en Reactor

Longoria et al. (2014), afirma que:

En este sistema se ha utilizado como reactor todo tipo de recipientes, incluyendo torres verticales, depósitos horizontales, rectangulares y circulares, los cuales se pueden dividir en dos categorías importantes de reactores: flujo pistón y dinámico (lecho agitado); además, el tiempo de retención para los 39 sistemas en reactor varía de 1 a 2 semanas, y emplean un periodo de curado de 4 a 12 semanas después del período de fermentación activa. Asimismo, durante los últimos años se ha incrementado la popularidad de dichos sistemas, esto, debido a que se diseñan muy buenos sistemas mecanizados con control del flujo de aire, temperatura y concentración de oxígeno para minimizar olores, espacio, costos de mano de obra, tiempo de elaboración y para aumentar el rendimiento del proceso. (p. 188).

1.10. Biowish Odor

BioWish Technologies (2020), lo define como:

Una poderosa mezcla de biocatalizadores, la cual rompe las moléculas orgánicas complejas para ayudar a eliminar los residuos, reduciendo olores desagradables, mejorando la fertilidad del suelo y mejorando la calidad del agua entre otros usos; además, es 100% natural y no tóxico (p. 2).

Por otro lado, la inoculación a la pila de compostaje de biocatalizadores o microorganismos, tiene el objetivo de disminuir el tiempo de elaboración del abono orgánico y obtener un material microbiológicamente mejorado, entre las ventajas de la adición de biocatalizadores o microorganismos al compostaje, y de acuerdo con BioWish Technologies (2020) y Bejarano y Delgadillo (2007), están:

1. Acelera el incremento de las temperaturas, manteniéndose en la etapa termófila el proceso, independiente de la aireación y las condiciones ambientales.
2. Promueve la transformación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando la descomposición de la materia orgánica por oxidación, en la que se liberan gases generadores de olores molestos (sulfurosos, amoniacales y mercaptanos).
3. Evita la proliferación de insectos vectores, como moscas, ya que estas no encuentran un medio adecuado para su desarrollo.

4. Incrementa la eficiencia de la materia orgánica como fertilizante, puesto que, durante el proceso de fermentación, se liberan y sintetizan sustancias y compuestos como: aminoácidos, enzimas, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles, las cuales se incorporan al suelo a través del abono orgánico, mejorando sus características físicas, químicas y microbiológicas.
5. Acelera el proceso de compostaje a una tercera parte del tiempo de un proceso convencional (5 a 8 semanas) (p. 51).

1.11. Componentes de la Equinaza

De acuerdo con Alburquerque et al. (2009), la caracterización general de los componentes de la equinaza es la que se observa en el la Tabla 2; siendo el grado óptimo de un abono entre el 45 y el 60%, la equinaza lo tiene en un 19,5%; además, durante el compostaje deberá ser regulada la humedad y que puede hacerse proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros). De igual modo, el valor del pH ideal debe estar entre 4.5 y 8.5, en este caso la equinaza mantiene sus niveles en un rango considerado excelente; también, tiene alta cantidades de calcio, hierro y manganeso, los cuales deben sufrir a través del compostaje un proceso para no afectar el desarrollo en las plantas.

Por otro lado, de cada 100 kg de residuos orgánicos que se utilizan para realizar el compostaje, se obtienen aproximadamente 35 kg de compost, “menos de la mitad del material inicial; el resto se evapora en forma de vapor de agua y CO₂” (Escolástico et al., 2015), por tal razón para que se genere un producto final de óptima calidad, se debe tener un especial cuidado con cada una de las etapas esenciales en el proceso, cuidando que no se altere en ninguna de ellas los elementos que la conforman.

Los datos expresados en la Tabla 2, se realiza sobre materia seca, el pH y la conductividad eléctrica en un extracto acuoso con una relación de 1:10 (Alburquerque, et al., 2009).

Tabla 2
Caracterización agroquímica de la equinaza

Característica	Valores	Valores	Característica
Humedad (%):	19,5	Cinc (Zn, mg kg ⁻¹):	45
pH:	7,24	Fósforo (P, g kg ⁻¹):	2,3
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹):	16,74	Potasio (K, g kg ⁻¹):	21,2
Materia orgánica (%):	57,8	Calcio (Ca, g kg ⁻¹):	58,6
Carbono orgánico total (COT, %):	31,1	Magnesio (Mg, g kg ⁻¹):	14,9
Nitrógeno total (NT, g kg ⁻¹):	15,3	Sodio (Na, g kg ⁻¹):	5,0
Relación C/N:	20,4	Cobre (Cu, mg kg ⁻¹):	42

Nota. Alburquerque et al. (2009, p. 919).

1.12. Índices de Calidad del Compost

Román et al. (2013) y Chinchilla et al. (2017), indican que el compost como producto final, debe estar basado en unos rangos permisibles de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales puedan asegurar el uso y la comercialización de éste, por ende, deben de cumplir con estándares de calidad, que permitan proteger el medio ambiente y la salud pública. Puede darse el caso, que algunos sustratos orgánicos que han sido sometidos a un proceso de compostaje, contengan metales pesados, ocasionando una variación significativa en la calidad final del producto, puesto que estos elementos pueden penetrar en la cadena alimenticia a través de las plantas, aumentando el grado de toxicidad en humanos y animales.

En la Tabla 3, se muestra los rangos permisibles de los parámetros físicos y químicos más significativos del compost maduro, Según Román et al. (2013):

Estos rangos suelen ser muy amplios, debido a las características físico-químicas de los materiales iniciales del compostaje; además, un compost maduro, no debe contener en su estructura compuestos tóxicos para las plantas o el ambiente. Por ejemplo, la presencia de amoníaco y sulfatos (NH_3 y SO_4) en lixiviados generados por procesos de compostaje con exceso de humedad (p. 22).

Tabla 3
Parámetros del Compostaje

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 - 15:1
Humedad	50% - 60%	45% - 55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño partícula	< 25 cm	~15 cm	~1.6 cm
pH	6.5 – 8.0	6.0 - 8.5	6.5 – 8.5
Temperatura	45 – 60°C	45°C - Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250 – 400 kg/m ³	< 700 kg/m ³	< 700 kg/m ³
Materia orgánica Base seca	50% - 70%	> 20%	> 20%
Nitrógeno total Base seca	2.5 – 3%	1-2 %	~1 %

Nota. Román et al. (2013).

1.15. Marco Normativo

En Colombia existe una regularización o un marco legal que apoya la gestión de los residuos sólidos, como se puede ver en la Tabla 4.

Tabla 4
Normatividad manejo y recolección de residuos sólidos

Contexto	Norma	Objeto	Referencia
Nacional	Constitución Política de Colombia	En su artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.	(Constitución Política de Colombia, 1991)
	Ley 99 de 1993	Ley General Ambiental de Colombia.	(Ley 99, 1993)
	Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios donde se incluye el servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones.	(Ley 142, 1994)
	Decreto 605 de 1996	Por medio del cual se establecen los lineamientos para la adecuada prestación de un servicio de aseo desde su generación, almacenamiento, recolección transporte, transferencia hasta su disposición final y las prohibiciones y sanciones en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo (Capítulo I del título IV).	(Decreto 605, 1996)
	Resolución 1096 de 2000	Por el cual se adopta el Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS.	(Resolución 1096, 2000)
	Resolución 201 de 2001	Por la cual se establecen las condiciones para la elaboración, actualización y evaluación de los planes de gestión y resultados.	(Resolución 201, 2001)

Contexto	Norma	Objeto	Referencia
Nacional	Decreto 1505 del 4 de junio de 2003	Por el cual se modifica parcialmente Decreto 1713 de 2002 en relación con los planes de gestión integral de residuos	(Decreto 1505, 2003)
	Resolución 1045 del 26 de septiembre de 2003	Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones.	(Resolución 1045, 2003)
	Decreto 838 de 2005	Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos, consideraciones ambientales sobre rellenos sanitarios, fomento a la regionalización de los rellenos sanitarios y se dictan otras disposiciones.	(Decreto 838, 2005)
	Guía Técnica Colombiana-GTC 24	Gestión Ambiental. Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuente.	(GTC 24, 2009)
	Decreto 2981 de 2013	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo.	(Decreto 2981, 2013)
	Ley 1715 de 2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.	(Ley 1715, 2014)
	Resolución 1407 de 2018	Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, vidrio, metal y se toman otras determinaciones.	(Resolución 1407, 2018)
	Resolución 2184 de 2019	Por la cual se modifica la resolución 668 de 2016 sobre uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones.	(Resolución 2184, 2019)

Contexto	Norma	Objeto	Referencia
Nacional	Norma Técnica Colombiana NTC 5167	Por la cual se establecen los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Reglamenta los límites actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros físico químicos de los análisis de las muestras de materia orgánica, los límites máximos de metales y enuncia parámetros para los análisis microbiológicos.	(NTC 5167, 2011)
	Resolución 00150 de 2003	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia.	(Resolución 00150, 2003)

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS VALORES FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA EQUINAZA

2.1. Recolección de Equinaza en la Remonta

La recolección de residuos sólidos de cada una de las pesebreras fue diaria y se pesaron, obteniendo un promedio (kilogramos/pesebreras/día), lo cual generó el cálculo del producido por cada equino diariamente. En la Figura 4, se observa el procedimiento.

Figura 4

Recolección y separación de los residuos orgánicos en las pesebreras



Los residuos orgánicos de los equinos recolectados desde el 19 al 28 de junio de 2017 en nueve pesebreras fueron en total 402 kg., con un promedio de 4.41 kg. de producción diaria de equinaza; además, los valores de producción por día en la remonta de la Escuela de Aviación Policial, están representados en la Tabla 5. De igual forma, se especifica que los valores tomados recolectados se trabajaran en promedio, esto, con la finalidad de tener en cuenta las variaciones diarias que se tiene en la generación de la equinaza; además, se tomó la decisión de pesar en una semana, por si se requiere determinar su producción mensual (4 semanas), trimestral (3 meses), semestral (6 meses) o

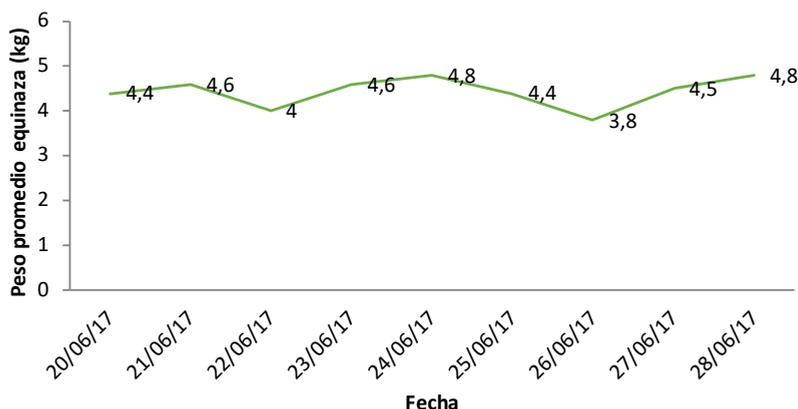
anual (12 meses), y teniendo en cuenta también que la producción diaria por las nueve (9) pesebreras, tiene un rango entre 35 y 44 kg y una variación promedio solo del 2% entre días de la misma semana.

Tabla 5
Residuos orgánicos equinos por día

Fecha	Producción Día (Kg)	No Pesebreras	Promedio Kg/Pesebrera
20/06/17	40	09	4.4
21/06/17	42	09	4.6
22/06/17	36	09	4.0
23/06/17	42	09	4.6
24/06/17	44	09	4.8
25/06/17	40	09	4.4
26/06/17	35	09	3.8
27/06/17	41	09	4.5
28/06/17	44	09	4.8
Total	402 Kg	Promedio	4.4

En la Figura 5 se puede observar el comportamiento de la equinaza producida en la ESAVI, la cual casi es constante durante los diez días, con un promedio de 4.4 kilos diarios, esto se explica porque son animales de gran tamaño y sin problemas de salud; además, los datos pueden variar, teniendo en cuenta ingestas de comida, metabolismo de los animales, entre otros aspectos.

Figura 5
Equinaza promedio producida en la ESAVI



2.2. Composición Física y Química de la Equinaza Producida en la ESAVI

2.2.1. Análisis Físico y Químico de la Equinaza

Para realizar el análisis físico-químico de la equinaza, se tomaron muestras de los excrementos sin ningún aditamento para comprobar la calidad o deficiencias de esta, y una vez terminado el proceso de maduración de las mezclas, se tomó una muestra de cada una de ellas y fueron enviadas al laboratorio especializado Agroanálisis, servicios agropecuarios, laboratorio de suelos, aguas y foliares, ubicado en la ciudad de Ibagué para ser analizadas. En el apéndice A, se muestra los resultados de los análisis.

De igual forma, la recolección de los residuos orgánicos equinos de forma diaria para el compostaje, fueron obtenidos en la realización del aseo de cada una de las pesebreras de la remonta y en cada pabellón de las mismas, se separó el exceso de excrementos cuidadosamente para obtener solo materiales orgánicos biodegradables de otros, que pueden afectar la calidad de las mezclas a compostar, finalmente, se tomó una muestra de 1 kilogramo, el cual se introdujo en una bolsa plástica marcada con la fecha y hora en la que fue tomado, posterior se envió al laboratorio para realizarles los análisis físicos y químicos pertinentes, se puede ver en la Figura 6.

*Figura 6
Recolección y empaqueo de las muestras*



En la Tabla 6, se observan los resultados de los análisis especializados de la equinaza recolectada en la ESAVI y sus respectivas conclusiones por cada propiedad obtenida, lo cual al final determina que el residuo orgánico generado por los equinos es apto para realizar un óptimo proceso de compostaje. De igual modo, este residuo orgánico tiene un porcentaje de humedad del 58.8%, el cual está muy por encima del 19.5% de humedad que considera Sánchez (2008) para equinos; sin embargo, varios autores como Chiumenti (2005) “sitúan los valores de contenido óptimo en humedad en torno al 55 al 65% y consideran valores por debajo del 40%, como condiciones que pueden causar estrés hídrico a los microorganismos frenando el proceso de compostaje”; lo cual indica que el valor obtenido en la equinaza producida, se encuentra en el rango óptimo.

Tabla 6

Ficha técnica de la caracterización de la equinaza producida en la ESAVI

Propiedades fisicoquímicas	Unidades	Valores
Porcentaje de Humedad	%	58.80
Densidad Aparente	g*cm ³	1.57
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	cmol+ * Kg ⁻¹	48.52
Carbono Orgánico	%	19.07
Materia Orgánica	%	43.57
Cenizas	%	52.20
Relación Carbono Nitrógeno	p:p	25.02
pH (reacción de acidez)	-logH+	6.3
Conductividad Eléctrica	dS/m	18.00
Nitrógeno Total (N)	%	1.568
Fósforo (P)	%	2.70
Potasio (K)	%	2.77
Calcio (Ca)	%	5.68
Magnesio (Mg)	%	1.42
Azufre (S)	%	0.85
Sodio (Na)	%	0.59

Nota. Tomado del resultado de los análisis de laboratorio.

Respecto al porcentaje de materia orgánica (MO), cabe señalar que es medio, puesto que alcanza un valor de más del 43%; con base a esto, el residuo puede ser considerado como orgánico, según Boixadera y Danés (2001), puesto que “el contenido de materia orgánica es mayor del 40% sobre materia seca”; además, se debe señalar que la presencia de materia orgánica en un sustrato es una característica muy importante, de cara a su posterior utilización en producción, la cual actúa como “un reservorio dosificador de nutrientes, que tiene una influencia favorable sobre la fertilidad del suelo o sustrato y

en consecuencia, sobre el desarrollo de los cultivos"; sin embargo, lo determinado por Sánchez (2008) para equinos, con un valor del 57.8% es más bajo. No obstante, lo determinado en esta investigación, se mantiene en el rango permitido la materia orgánica.

El pH de la equinaza producida en ESAVI es muy cercano a neutro con un valor de (6.3) y por tanto, adecuado para el compostaje; sin embargo, Sánchez (2008) obtuvo en su investigación un valor de 7.24 para su compostaje a base de equinaza, el cual también está muy cercano al obtenido en este estudio. El pH de la equinaza tiene un nivel excelente dentro del rango de sustratos para compost. "Los valores óptimos para la mezcla de partida son entre 5.5 y 8.0, teniendo en cuenta que las bacterias prefieren un pH cercano al neutro, mientras que los hongos prefieren condiciones ácidas" (Chiumenti, 2005).

La equinaza presenta una capacidad de intercambio catiónico - CIC alto, de 48,52 cmol Kg⁻¹, el cual se debe al contenido de materia orgánica comentado anteriormente, puesto que estos dos parámetros suelen tener una relación directa; además, de acuerdo con Gómez y Vásquez (s.f.), es "importante que los sustratos tengan una CIC alta, puesto que es uno de los parámetros que se utilizan para determinar la calidad de un sustrato".

"La relación C/N indica el origen, grado de madurez y estabilidad de la materia orgánica, puesto que su valor depende de la naturaleza del material y decrece a medida que se fermenta la materia orgánica" (Román, Martínez, y Pantoja, 2013), como se señaló anteriormente, y de acuerdo con Burés (1999), "la relación de carbono y nitrógeno varía en los sustratos, de forma general, entre 5 y 30, y un valor inferior a 20 se suele tomar como indicador de madurez y estabilidad"; además, Sepúlveda y Alvarado (2013) definen que la relación C/N puede estar entre 25:1 a 35:1; sin embargo, lo ideal es de 30:1. La equinaza de la Escuela tiene un valor de 26.7, el cual está dentro del rango recomendado.

El contenido medio de fósforo total de la equinaza de la Escuela es de 2.7, y según Soliva et al. (1992) sus valores oscilan entre 0.57% y 2.73%; además, los niveles de potasio, magnesio, calcio y azufre son bajos entre 0 y 5%; sin embargo, estos "contenidos son asimilables y mucho más importantes desde el punto de vista de la nutrición de las plantas" (Casas y Elena, 1999).

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE COMPOSTERAS

3.1. Diseño de la Compostera

Para el diseño de la compostera, se realizó una visita durante tres (3) días a las instalaciones de la remonta de la Escuela de Carabineros “Alejandro Gutiérrez” - ESAGU; con la finalidad de obtener información del proceso de compostaje, de las instalaciones físicas y su funcionamiento, los cuales servirían como base del diseño de la compostera y del proceso de la elaboración del compost del proyecto de investigación. La remonta cuenta con una compostera de 14 cubículos, donde se manejan los residuos orgánicos de 33 semovientes que están tiempo completo en las pesebreras y en los cuales son diariamente recolectados alrededor de 180 kilos (kg). La Figura 7, muestra apartes de la visita y, en el apéndice B se muestra el informe completo.

Figura 7

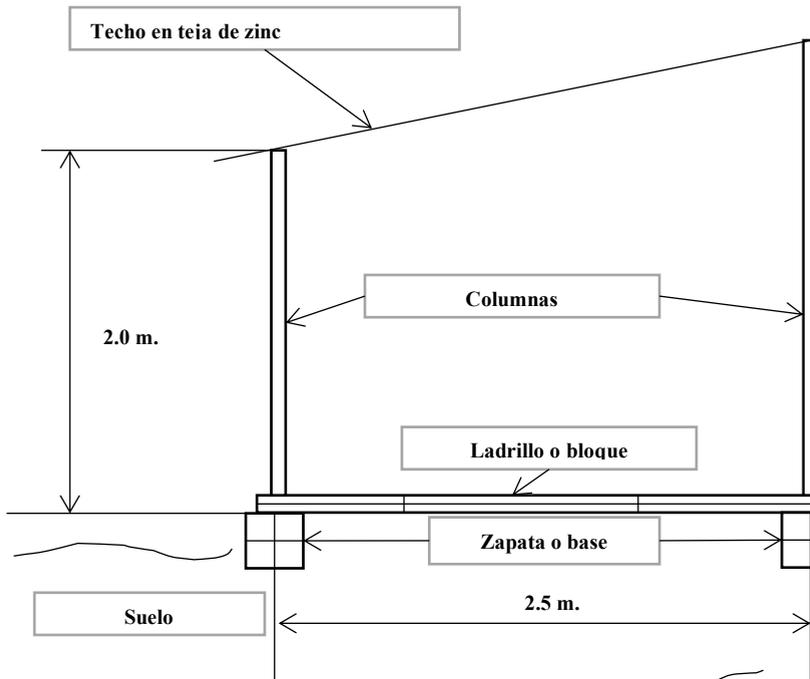
Visita a la remonta de la Escuela de Carabineros “Alejandro Gutiérrez”



De igual forma, se analizaron los criterios encontrados en la búsqueda de información y en la visita dirigida a la ESAGU, y se seleccionó el diseño propuesto por practicidad, costos y lugares adecuados para su construcción; además, se contó con el direccionamiento del asesor técnico y se tuvo en cuenta también que fuera adecuada

para el uso y el manejo práctico de los carabineros que laboran en las cementeras. En la Figura 8, se observa el corte transversal del diseño de la compostera que se implementó en la ESAVI.

Figura 8
Diseño de la compostera. Corte transversal



3.2. Relación C/N de la Mezcla con Base en la Caracterización

Se determinó como una de las tareas más importantes para desarrollar con éxito la actividad de compostaje y lograr la correcta combinación de los ingredientes iniciales; esto, teniendo en cuenta que “el contenido de humedad (H) y la relación Carbono - Nitrógeno (C/N), son dos parámetros fundamentales para esta actividad” (Sepúlveda Villada y Alvarado Torres, 2013).

Los valores de carbono y nitrógeno que se encontraron en los residuos a compostar, se ajustaron a partir de valores que se encuentran estandarizados y aproximados en la literatura, y el porcentaje de humedad se determinó a partir de la medición directa en los residuos, utilizando un equipo combitester (medidor de pH y humedad); además,

para realizar el ajuste de la relación C/N, se tomaron los datos de la Tabla 7, donde se encuentran relacionados los valores aproximados y estándares de carbono y nitrógeno (Trautmann & Krasny, 1998).

Tabla 7
Relación Carbono – Nitrógeno de algunos materiales orgánicos

Material orgánico	Composición	Base Seca	C/N	% Humedad
Porcinaza	40	3.1	13	80
Residuos de comida	34.95	1.875	19	69
Pulpa de café	40	2	20	60
Restos de fruta	56	1.4	40	80
Cáscara de arroz	36	0.3	120	14
Césped cortado	58	3.4	17	82
Hojas verdes	49.8	3.1	16	70
Hojas secas (Hojarasca)	48.6	0.9	54	38
Bovinaza	47.5	2.5	19	81
Equinaza	48	1.6	30	72
Estiércol de ovejo	43	2.6	17	67.5
Gallinaza	45.5	7	7	68.5
Aserrín	40	0,1	400	10
Viruta de madera	40	0.1	400	5
Pollinaza	26	2.3	11	50
Material de rechazo	37.68	2.13	18	35

Nota. Trautmann & Krasny (1998).

Para realizar la formulación de la mezcla, se siguió el método de Rodríguez y Córdova y Vázquez (2006), el cual se describe a continuación:

1. Se anotó en la columna “peso” el correspondiente a los residuos.
2. Para cada residuo, se multiplicó el “peso” por el “%N”, se dividió entre 100 y se anotó en la columna “N”.
3. Para cada residuo, se multiplicó el “peso” por el “%C”, se dividió entre 100 y se anotó en la columna “C”.
4. Para cada residuo, se multiplicó el “peso” por el “% Humedad”, se dividió entre 100 y se anotó en la columna “Humedad”.

5. Se sumaron los valores de la columna “peso” y se anotó el total en la fila “Suma”.
6. Se sumaron los valores de la columna “N” y se anotó el total en la fila “Suma”.
7. Se sumaron los valores de la columna “C” y anotó el total en la fila “Suma”.
8. Se sumaron los valores de la columna “humedad” y se anotó el total en la fila “Suma”.
9. Se dividió la suma de la columna “C” entre la suma de la columna “N” y se anotó el resultado en la casilla “C/N”.
10. Se dividió la suma de la columna humedad entre la suma de la columna peso y se anotó el resultado en la casilla humedad total.

3.2.1 Conformación de las Pilas

“Las dimensiones de la pila de compostaje, afecta directamente a variables como aireación, temperatura y humedad, y por lo tanto en la transformación adecuada del material orgánico” (Román, Martínez, & Pantoja, 2013). Teniendo como referencia a Mendoza (2012) que indica lo siguiente:

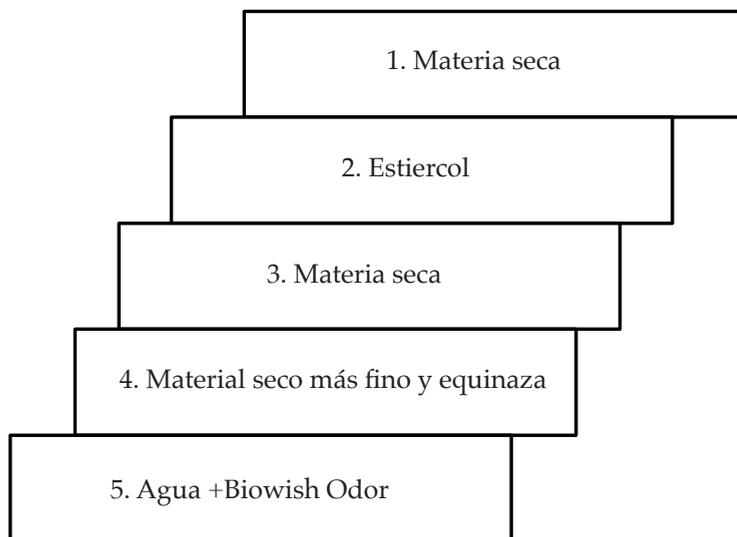
No existen unas medidas estandarizadas para la formación de las pilas de compostaje; sin embargo, se recomienda un ancho entre 1.2 y 1.8 m, y una altura de 1 a 1.5 m; y con largo de acuerdo a la disponibilidad del terreno con que se cuenta. La altura es un parámetro muy importante, puesto que depende del clima de la zona, es decir, en climas cálidos se recomienda trabajar con una altura mínima para que la pila no se caliente en exceso y en climas fríos debe ser máxima para mantener la temperatura ideal.

En el caso de la ESAVI, se elaboraron dos pilas de 1.50 m de base por 1 m de altura, longitud variable y con forma trapezoidal o pirámide truncada. Se conformaron las pilas en capas o filas, y con una mezcla de tres partes de materiales secos y leñosos y una parte de material fresco (estiércol de caballo reciente). Antes de colocar la primera fila, se agregó agua en la base de la pila. La base fue de aproximadamente 20 cm de grosor y de material seco, y se continuo así sucesivamente hasta alcanzar la altura adecuada de material más fino y equinaza, también se regó a medida que se depositaron las capas sucesivas y se homogenizó cada una de ellas mediante el mezclado.

Asimismo, se trató de que los trozos de los residuos orgánicos cortados fueran lo más pequeño posible (10 a 12 mm); esto, con la finalidad de favorecer la aireación, según lo sugiere Palmero (2010); finalmente como activador, por encima de cada capa, se añadió agua con Biowish Odor. En la figura 9, se observa cómo se realizó la disposición de la pila.

Figura 9

Disposición de las capas de materia orgánica en el cimientó



3.2.2 Volteo de las Pilas Durante el Proceso de Degradación del Compostaje

Con el fin de llevar el proceso de compostaje en condiciones favorables, fue necesario realizar el control periódico de volteos para regular la humedad y medir la temperatura, ya que son parámetros de gran influencia en el proceso. En el proyecto de investigación, se llevó a cabo el seguimiento de estos parámetros cada dos días, verificando y controlando que en cada una de las pilas se suministrará la cantidad adecuada de oxígeno durante los volteos, en la Figura 10 se puede observar el proceso de volteo o aireación de las pilas.

3.3 Composición Final de las Mezclas

Una vez realizada la caracterización de la equinaza, se efectuaron dos (2) mezclas: La pila 1: se preparó con 160 kg. de equinaza, 24 kg. de aserrín y 16 kg. de cascarilla de arroz para un total de 200 kg.; la pila 2: se preparó con 160 kg. de equinaza, 30 kg. de aserrín y 10 kg. de hojas secas para un total de 200 kg.. Asimismo, las dos pilas se elaboraron con una altura de 1 m en la compostera y les fue inoculado el Biowish-Odor.

En la Figura 11, se observan los materiales utilizados para conformar las pilas 1 y 2.

Figura 10
Procedimiento de volteo o aireación de las pilas



Figura 11
Elementos que conforman las mezclas 1 y 2



Los datos obtenidos de las dos mezclas y su análisis, se pueden observar en las Tablas 8 y 9, en donde se establece que son óptimas para comenzar el proceso de compostaje, y se observa que están en los rangos que establece el Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS (2000), el cual indica que la relación de carbono y nitrógeno debe estar entre 25 y 30, y son las apropiadas para utilizar en el

proceso de compostaje. De igual forma, en la Tabla 8, se observa que el valor estimado de la relación C/N para la primera muestra fue de 7.88, el cual está dentro de la relación ideal y que oscila entre 25 y 30 aproximadamente.

De acuerdo a Sepúlveda y Alvarado (2013):

Una relación más baja, significa que el nitrógeno estará en exceso y se pierde como amoníaco (NH₃). El alto consumo de oxígeno que esto ocasionaría, crea unas condiciones anaeróbicas y empieza la pila a oler mal. Relaciones más altas significan que no hay suficiente nitrógeno para el crecimiento óptimo de las poblaciones microbianas, así que el compost es relativamente frío y la degradación procederá a una tasa lenta (p. 34).

Tabla 8

Mezcla 1. Relación Carbono – Nitrógeno (C/N)

Composición aproximada

Material	%N	%C	C/N	%Hu	PESO (Kg)	%N	%C	%Hu
Equinaza	2.3	57.5	25	90	160	3.68	92	144
Aserrín	0.080	28.0	200	20	24	0.0192	6.72	4.8
Cascarilla	0.3	36	120	14	16	0.048	5.76	6.44
Agua	0	0	0	100	0	0	0	0
Suma					200	3,747	104.48	155,24
%C					104,48			
%N					3,7472			
C/N					27,88			
Humedad					1,288			

Asimismo, el valor de la composición aproximada de la relación C/N para la mezcla 2 fue de 27.74, ligeramente un poco más baja; sin embargo, se encuentra dentro del rango óptimo que oscila entre 25 y 30 aproximadamente (ver tabla 9).

3.4 Construcción de la Compostera para el Proceso con Base al Diseño Realizado

La compostera fue construida en cemento, con dimensiones de 6 m de largo x 25 m de ancho y 2 m de alto, el porcentaje de inclinación fue de un 15% y se realizó para la facilidad de la caída de agua y de elementos que puedan contaminar las mezclas como: materiales con tamaños no particulados, fibras sintéticas, entre otros; permitiendo de esta forma, proteger el proceso de compostaje de la lluvia, rayos solares, vientos y pérdida de la humedad. En la Figura 12, se observa la colocación de las bases y la compostera finalizada.

Tabla 9

Mezcla 2. Relación aproximada de Carbono – Nitrógeno (C/N)

Composición aproximada

Material	%N	%C	C/N	Hu	PESO (Kg)	%N	%C	Hu
Equinaza	2.3	57.5	5	0	160	0.68	92	144
Aserrín	0.080	28.0	200	20	30	0.024	8.4	4.8
Cascarilla	0.9	48.6	4	8	10	0.090	4.86	3.8
Agua	0	0	0	100	0	0	0	0
Suma					200	3,747	104.48	155,24
%C					105,26			
%N					3,794			
C/N					27,74			
Humedad					1,310			

Figura 12

Construcción de la compostera



4. ANÁLISIS DE CALIDAD DEL COMPOST OBTENIDO PARA LA NUTRICIÓN DEL SUELO

4.1. Toma de Muestra del Compost y Registro Sistemático de Datos

Consistió en el registro sistemático de cada una de las variables estudiadas (pH, temperatura y humedad), la cuales son necesarias para establecer su comportamiento durante la transformación de la equinaza a compost.

4.1.1. Temperatura

La temperatura fue tomada día por medio a través de un termómetro de bulbo metálico, la cual se realizó introduciendo el termómetro directamente a la pila de compost. En la Figura 13, se registra fotográficamente el procedimiento.

4.1.2. Humedad y pH

Las mediciones de humedad y de pH, se realizaron directamente al compost mediante un equipo combitester día por medio, además, la medición fue realizada durante el periodo de tiempo comprendido entre las 12:00 y las 15:00 horas. En la figura 13, se registra fotográficamente el equipo y el procedimiento.

4.2. Temperatura

En la Tabla 10, se puede observar los datos medidos de temperatura en las dos mezclas para compostaje.

El proceso de compostar las mezclas en las dos pilas, se realizó durante 60 días, lo cual permitió una descomposición homogénea de ambas mezclas durante el transcurso de este tiempo. Fueron analizados algunos parámetros durante los 2 meses que duró el proceso de compostaje de la equinaza, los cuales se describen a continuación.

Figura 13
Medición de Temperatura, humedad y pH



Tabla 10
Mediciones de temperatura a las mezclas durante el proceso de compostaje

Tiempo	Mezcla 1	Mezcla 2	Tiempo	Mezcla 1	Mezcla 2
Día 1	28	27	Día 31	45	45
Día 3	30	31	Día 33	43	46
Día 5	32	35	Día 35	40	37
Día 7	36	40	Día 37	39	37
Día 9	48	50	Día 39	37	35
Día 11	59	55	Día 41	33	30
Día 13	58	64	Día 43	30	32
Día 15	69	71	Día 45	28	32
Día 17	66	71	Día 47	27	27
Día 19	70	61	Día 49	26	26
Día 21	64	54	Día 51	27	27
Día 23	63	55	Día 53	28	26
Día 25	59	56	Día 55	27	28
Día 27	59	57	Día 57	27	28
Día 29	50	52	Día 60	26	27

4.2.1 Fase Mesófila

Se observa un aumento de la temperatura durante los primeros siete (7) días, proceso normal durante el inicio de la fase mesófila; los residuos preparados están a temperatura ambiente (menor de 40°C) como se observó, por lo cual, “los microorganismos

llamados mesófilos se multiplican rápidamente, hay gran actividad metabólica (transformación de algunos compuestos como azúcares y aminoácidos)” como lo afirma Gómez y Vásquez (s.f.) y Sepúlveda y Alvarado (2013). La diferencia de temperatura en las dos mezclas fue baja y en promedio no mayor al 0.1%; sin embargo, Gómez y Vásquez (s.f.), asevera que “pequeñas variaciones de temperatura, afecta más a la actividad microbiana que pequeños cambios de la humedad, pH o C/N”, afirma también que “existe una relación directa entre la temperatura y degradación de la materia orgánica”.

4.2.2 Fase Termófila

Durante los días 9 y 19, la temperatura fue elevándose considerablemente, hasta alcanzar valores pico de 70°C (mezcla 1) y 71 °C (mezcla 2). El proceso se encontraba en fase termófila de acuerdo a Sepúlveda y Alvarado (2013), en esta fase:

La temperatura es superior a 40° y sube hasta 60°-65°C, logrando con ello que los patógenos termófilos como los hongos desaparecen y dan paso a las bacterias, las cuales tienen la capacidad de descomponer sustancias orgánicas como las ceras, las proteínas y hemicelulosas (p. 31).

4.2.2 Fase Enfriamiento o Mesófila II

Comenzó desde el día 21 y finalizó el día 45. La temperatura comenzó a descender casi que constantemente durante los siguientes días y por debajo de los 60°C, tiempo en que según Gómez y Vásquez (s.f.), “reaparecen los hongos termófilos o patógenos que reinvasen la parte superior del residuo (mantillo) y logran descomponer compuestos como la celulosa”. De acuerdo a Gómez y Vásquez y Sepúlveda y Alvarado (2013), se conoce esta fase como mesófila de enfriamiento.

4.2.3 Fase de Maduración

A los 45 días de desarrollarse el proceso de compostaje, la equinaza logró la fase de maduración con temperaturas estables entre los rangos de los 27 a los 30°C. Según Gómez y Vásquez (s.f.) y Sepúlveda y Alvarado (2013), “se requiere de 1 a 2 meses en promedio para llegar a alcanzar esta fase, se expone el compost a temperatura ambiente y protegido de la lluvia. Durante este período, se producen reacciones secundarias de condensación del humus”. En la Figura 14 se evidencian los resultados de la temperatura para ambas muestras los cuales son muy similares.

4.3 pH

Durante 60 días, se realizaron las mediciones a las mezclas 1 y 2 del pH, las cuales se mantuvieron en rangos entre 5,5 y 8.0 se pueden observar en la Tabla 11.

Figura 14
Temperatura en ambas mezclas por día

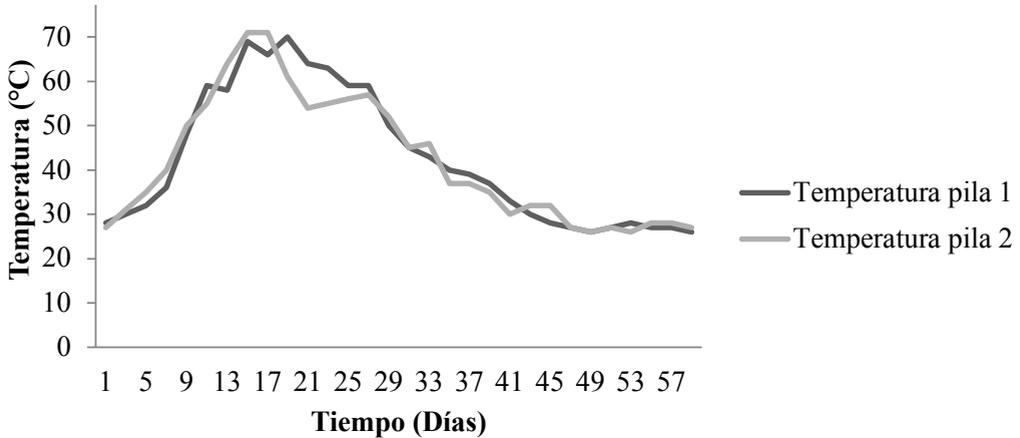


Tabla 11
Mediciones de pH de las mezclas 1 y 2 a través del proceso de compostaje

Tiempo	Mezcla 1	Mezcla 2	Tiempo	Mezcla 1	Mezcla 2
Día 1	6.3	6.3	Día 32	7.6	7.7
Día 2	5.5	5.8	Día 34	7.5	7.3
Día 4	6.3	6.7	Día 36	7.3	7.4
Día 6	7.2	7.0	Día 38	7.4	7.4
Día 8	7.6	7.9	Día 40	7.5	7.6
Día 10	7.6	7.5	Día 42	7.7	7.8
Día 12	7.7	7.5	Día 44	7.5	7.3
Día 14	8.0	7.7	Día 46	7.5	7.4
Día 16	7.8	8.0	Día 48	7.5	7.5
Día 18	7.9	7.8	Día 50	7.5	7.2
Día 20	7.6	7.6	Día 52	7.4	7.4
Día 22	7.5	7.8	Día 54	7.3	7.5
Día 24	7.8	7.8	Día 56	7.4	7.3
Día 26	7.5	7.7	Día 58	7.5	7.2
Día 28	7.8	7.5	Día 60	7.2	7.1
Día 30	7.5	7.6			

La evolución del pH también sufre cambios durante las diferentes fases del compostaje como lo reporta Román et al. (2013). Los resultados obtenidos durante estas fases se describen a continuación para las mezclas 1 y 2.

4.3.1 Fase Mesófila

Durante los días 1 y 2, hubo una disminución leve del pH, de 6.3 bajó a 5.5 para la mezcla 1 y de 5.8 para la mezcla 2, lo cual se explica como “la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica, que libera ácidos orgánicos”, según describe Sánchez de Pinto et al. (2013) y Román et al. (2013).

4.3.2 Fase Termófila

En esta fase, se produce una alcalinización del medio, valores entre 7 y 8 se dieron en el transcurso del día 3 hasta el 18, lo cual se explica debido a la “pérdida de los ácidos orgánicos y al desprendimiento de amoníaco por la descomposición de las proteínas”, tal y como lo afirman Sánchez de Pinto et al. (2013) y Román et al. (2013).

4.3.3 Fase de Enfriamiento o Mesófila II

El pH del compost desciende levemente y en general se mantiene ligeramente alcalino. El descenso del pH y su estabilización a uno más alcalino comenzó del día 19 hasta el 31.

4.3.4 Fase de Maduración

El pH tiende a neutralizarse con valores que van decreciendo hacia 6, puesto que se forman compuestos húmicos. Entre los días 32 y 60, los valores de pH de las mezclas, mantuvieron la tendencia a 7.0, es decir disposición hacia un pH más bien neutro como indican los autores Gómez y Vásquez (s.f.), Sepúlveda y Alvarado (2013) y Sánchez de Pinto et al. (2013).

Los valores del pH de ambas muestras son muy similares. En la figura 15, se observa el comportamiento de los datos obtenidos.

4.4 Humedad

La tabla 12 muestra los resultados del monitoreo de la humedad, en la cual se puede observar que el material tiene unos rangos de humedad entre el 50 y el 70% y que se considera humedad óptima para el crecimiento microbiano; esto, de acuerdo a lo estipulado en el Manual de Compostaje de Sepúlveda y Alvarado (2013). De igual modo, la humedad de las dos muestras se mantuvo en el rango de 50 a 70% durante casi todo el proceso, disminuyéndose paulatinamente a partir del día 49 hasta llegar a valores entre los 39% y 35%; que se consideran óptimos para la fase final por ser un compost maduro, según autores como Román et al. (2013). Este comportamiento se genera debido a que la actividad microbiana es más lenta hacia el final del compostaje (Domínguez, C., Sampedro, & García, 1996).

Figura 15
Comportamiento del pH en ambas mezclas

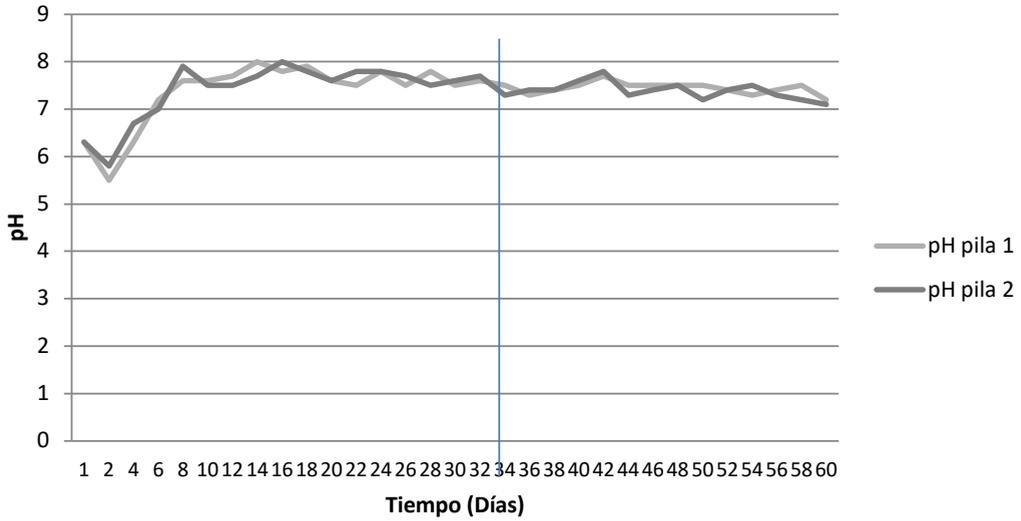


Tabla 12
Mediciones de humedad de las mezclas a través del compostaje

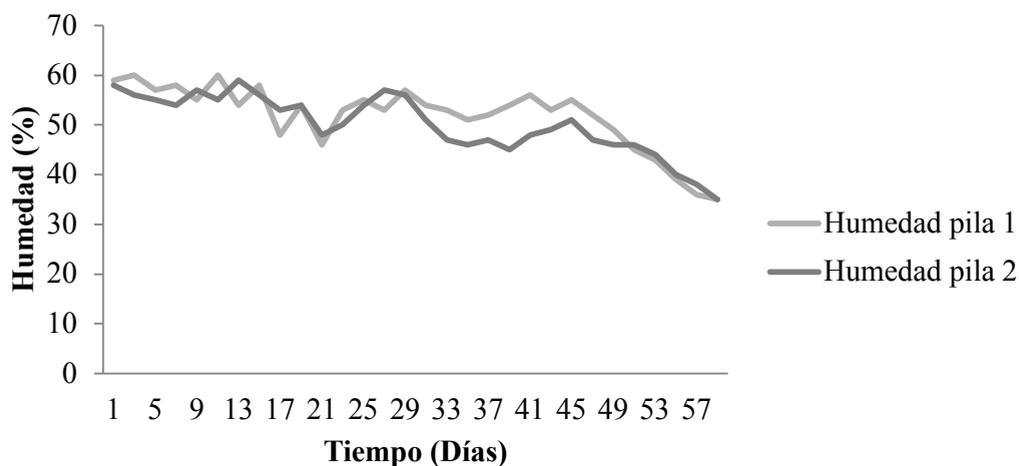
Tiempo	Mezcla 1	Mezcla 2	Tiempo	Mezcla 1	Mezcla 2
Día 1	59	58	Día 31	54	51
Día 3	60	56	Día 33	53	47
Día 5	57	55	Día 35	51	46
Día 7	58	54	Día 37	52	47
Día 9	55	57	Día 39	54	45
Día 11	60	55	Día 41	56	48
Día 13	54	59	Día 43	53	49
Día 15	58	56	Día 45	55	51
Día 17	48	53	Día 47	52	47
Día 19	54	54	Día 49	49	46
Día 21	46	48	Día 51	45	46
Día 23	53	50	Día 53	43	44
Día 25	55	54	Día 55	39	40
Día 27	53	57	Día 57	36	38
Día 29	57	56	Día 60	35	35

Los valores de los datos de ambas mezclas, igual que la temperatura y el pH, tuvieron un comportamiento similar; sin embargo, la mezcla 1, alcanza el valor máximo de 60%; esto, debido quizás a la combinación de aserrín con cascarilla de arroz, la cual logró retener ligeramente mayor humedad que la hojarasca. No obstante, el comportamiento de los datos es similar durante todo el proceso de compostaje. En la Figura 16, se observa claramente la similitud. También, de acuerdo con Álvarez-Palomino et al. (2018), la cascarilla de arroz:

Mejora las características físicas del suelo y de los abonos orgánicos, facilitando la aireación, absorción de humedad y el filtraje de nutrientes. Beneficia el incremento de la actividad macro y microbiológica de la tierra al mismo tiempo que estimula el desarrollo uniforme y abundante del sistema radical de las plantas. Es una fuente rica en sílice, lo que favorece a los vegetales para darle una mayor resistencia contra insectos y microorganismos. A largo plazo, se convierte en una constante fuente de humus. En la forma de cascarilla carbonizada, aporta principalmente fósforo y potasio, al mismo tiempo que ayuda a corregir la acidez de los suelos (p. 5).

La cascarilla de arroz puede ocupar, en muchos casos, hasta un tercio del volumen total de los ingredientes de los abonos orgánicos. Es recomendable para controlar los excesos de humedad cuando se están preparando los abonos fermentados.

Figura 16
Comportamiento de la humedad en ambas mezclas



4.5 Relación C/N Inicial y Final

Se debe tener en cuenta que la relación C/N es uno de los parámetros más importantes para que una pila de compostaje funcione correctamente, puesto que de forma experimental se conoce “que para que haya crecimiento microbiano, se necesita que esta relación esté entre 25 y 35, es decir, 25-35 átomos de carbono por cada átomo de nitrógeno” (Jhorar & Phogat V., 1991); además, de acuerdo con Zúñiga (2013):

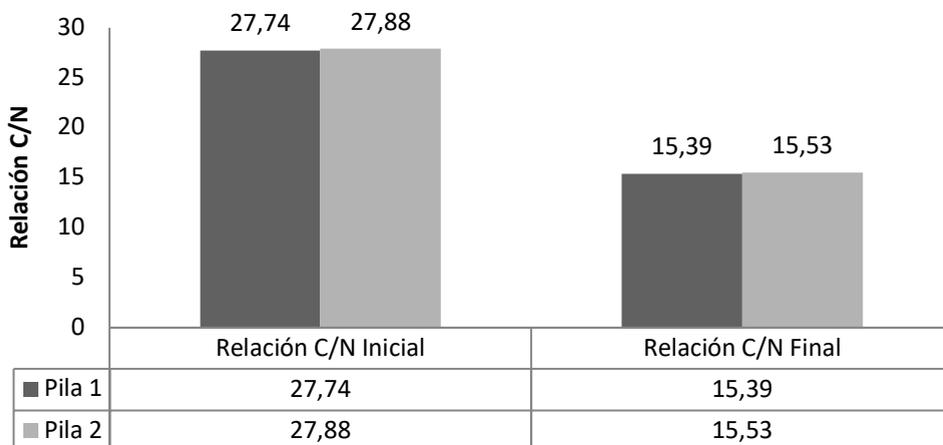
Del carbono necesario para que los microorganismos de una pila de compostaje crezcan, una parte se dedica a la obtención de energía metabólica dando como resultado la emisión de CO₂. La parte restante la incorporan en su propia estructura celular junto al nitrógeno (10/1). Así, es muy importante tanto la cantidad de carbono y su relación con el nitrógeno como su naturaleza química, ya que en función de esto habrá más o menos crecimiento y actividad metabólica (calor) (p. 20).

Por otro lado, Moreno y Moreal (2008) y Hedegaard & Krüger (1996), explican la importancia de una baja o alta relación de carbono y nitrógeno para el proceso de compostaje con base al rango ideal de la relación de C/N que es de 25-35:1, lo cual se define a continuación:

Si el residuo tiene una alta relación C/N, pero la materia orgánica es poco biodegradable, la relación C/N disponible realmente para los microorganismos es menor y el proceso evolucionará rápidamente, pero afectará solo a una proporción de la masa total. Si la relación C/N es muy baja el compostaje es más rápido pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, produciéndose una autorregulación de la relación C/N del proceso, estas pérdidas, si bien no afectan negativamente al compostaje, suponen un derroche, porque el nitrógeno es el nutriente fundamental para los cultivos, así como un problema medioambiental ya que el amoníaco es un gas con un considerable efecto invernadero (p. 141).

Teniendo en cuenta lo anterior, en el proyecto de investigación se obtuvo que la proporción inicial de la mezcla 1 fue de 27.74 y 27.88 para la mezcla 2, al final, se calculó la relación C/N de los compost producidos, los cuales fueron de 15.39 para la mezcla 1 y 15.53 para la mezcla 2. En la Figura 17, se observa el resultado de la relación C/N inicial y final, y de acuerdo con Jhorar & Phogat (1991) y Román et al. (2013), los datos de la relación C/N al iniciar el proceso de compostaje deben estar entre 25:1-35:1 y en un compost maduro entre 10:1 – 15:1, lo cual indica que el producto obtenido cumple con el rango ideal sugerido.

Figura 17
Relación C/N inicial y final



4.6 Caracterización Físicoquímica del Compost (Producto Final)

Cuando finalizó el proceso de compostaje, se tomaron sub-muestras por cada metro lineal de la pila de compost y desde la superficie hasta una profundidad de 10 cm, las cuales se mezclaron y homogenizaron; además, se recolectó una muestra de 1 kilogramo para su análisis y fue introducida en una bolsa plástica, marcándola con el nombre de la pila a la que pertenecía, posteriormente fueron enviadas antes de cumplirse las 12 horas al laboratorio. Los análisis del laboratorio se observan en el apéndice C. A la muestra de compost, se le determinó el pH, humedad, densidad, materia orgánica, carbono orgánico, % de cenizas, relación C/N, nitrógeno total, potasio, fósforo y calcio; además, se determinaron cantidades permitidas de bacterias.

Los resultados finales de los análisis para ambas mezclas son similares, en la Tabla 13 se observa, que el compost de la mezcla 1 tiene un porcentaje de humedad del 34.80% y la mezcla 2 tiene un porcentaje de humedad del 34.70, los cuales están dentro del rango óptimo que es del 30% al 40% (Román, Martínez, y Pantoja, 2013).

Respecto al porcentaje de materia orgánica (MO), está en el rango normal del 20% para ambos compost, cuyos resultados fueron para la mezcla 1 de 23.29 y para la mezcla 2 de 23.35. El pH está dentro de los rangos óptimos para compost entre 6.5 y 8.5 de acuerdo a Román et al., (2013), los compost producidos arrojaron valores finales para la mezcla 1 de 7.2 y para la mezcla 2 de 7.1, adecuados para la siembra y propagación de material vegetal.

Tabla 13
Ficha técnica caracterización fisicoquímica del compost

Análisis	Porcentaje	Mezcla 1	Mezcla 2
Porcentaje de Humedad	%	34.80	34.70
Densidad Aparente	g*cm ³	0.59	0.56
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC	cmol ⁺ * Kg ⁻¹	36.05	35.10
Carbono Orgánico	%	16.05	16.10
Materia Orgánica	%	23.29	23.35
Cenizas	%	56.3	56.28
Relación Carbono Nitrógeno	p:p	15.39	15.43
pH (reacción de acidez)	-logH ⁺	7.2	7.1
Conductividad Eléctrica	dS/m	15.00	14.60
Nitrógeno Total (N)	%	1.07	1.09
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	%	0.009	0.010
Nitrógeno Nítrico (NO ₃)	%	0.095	0.097
Fósforo (P)	%	1.07	1.06
Potasio (K)	%	1.12	1.11
Calcio (Ca)	%	1.84	1.83
Magnesio (Mg)	%	0.31	0.33
Azufre (S)	%	0.16	0.18
Sodio (Na)	%	0.030	0.029

Burés (1999) determinó que “la relación C/N varía en los sustratos, de forma general, entre 5 y 30, y un valor inferior a 20 se suele tomar como indicador de madurez y estabilidad”. En este caso, la relación se encuentra alrededor de 15.39 para el compost de la mezcla 1 y de 15.43 para el compost de la mezcla 2. De igual forma, los porcentajes de nitrógeno definidos por Soliva et al. (1992) para “distintos tipos de compost utilizados como sustratos, se encuentran comprendidos entre 1.25% y 2.23%”, los compost producidos están dentro del rango óptimo; la mezcla 1 obtuvo el 1.07 % y la mezcla 2 obtuvo 1.09%. El contenido medio de fósforo total es de 1.07 para la mezcla 1 y 1.06 para la mezcla 2, estos valores son óptimos según Soliva et al. (1992) y pueden oscilar entre 0.57 % y 2.73%.

5. CONCLUSIONES

Según el análisis físico-químico realizado, la equinaza producida por los semovientes de la Escuela de Aviación Policial, tiene las siguientes características: porcentaje de materia orgánica considerado como óptimo de 43.57%, un porcentaje de humedad de 58.80%, un pH neutro de 6.3 y un contenido en nitrógeno cercano al ideal de 1.568%, lo cual permite considerarla como un sustrato con alto potencial y calidad para su transformación en compost.

La equinaza no presenta inconvenientes para someterse a procesos de compostaje, puesto que tiene una relación C/N en el material fresco, considerada dentro del rango óptimo y supone un equilibrio en nitrógeno, que al inicio del compostaje es adecuado para el proceso. También, influye positivamente el pH neutro de 6.3; teniendo en cuenta que “la degradación orgánica se inhibe a pH bajos” (Bueno y Cabrera, 2008). Otro aspecto importante, es que en el proceso de compostaje se alcanzan temperaturas entre 60 y 70 °C, y la mayor parte de los microorganismos necesarios para llevar a cabo el proceso de compostaje se mantienen. El parámetro final a tener en cuenta es el rango de humedad alcanzado, el cual tiene valores entre el 50 y 70%, considerándose una “humedad óptima para el crecimiento microbiano”, de acuerdo a lo estipulado por Sepúlveda y Alvarado (2013).

El compost obtenido a través de las dos mezclas propuestas no presentaron grandes diferencias, los resultados de los parámetros monitoreados como pH, humedad, temperatura, C/N, y nutrientes (fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y sodio) fueron muy leves entre sí.

Se considera que “un compost es suficientemente estable o maduro, cuando la relación C/N se encuentra entre 12 y 20” (García Izquierdo, 1990). En este proyecto de investigación la relación final C/N, se encuentra alrededor de 15.39 para el compost de la mezcla 1 y de 15.43 para el compost de la mezcla 2; esto ratifica la excelente calidad del compost obtenido; además, los parámetros físicos y químicos se encuentran dentro del rango óptimos de pH, C/N, humedad, nutrientes y puede catalogarse como

compost maduro con potencial de uso agrícola, mantenimiento de zonas verdes y propagación de material vegetal en los viveros. También, se da respuesta a la hipótesis de investigación, puesto que contribuye con la calidad de su abono o compost, al reducir costos económicos e impactos ambientales para la Escuela de Aviación Policial.

Finalmente, los resultados obtenidos en el proyecto de investigación dan respuesta a la pregunta de investigación, puesto que el abono orgánico obtenido es de calidad nutricional para el suelo, y su uso en los viveros o zonas verdes de la Escuela, permite mitigar el impacto ambiental de un compostaje sin control de los residuos orgánicos equinos o el uso de fertilizantes químicos, además, se contribuye con su adecuada recolección y manejo dentro de la ESAVI, evitando con ello que su disposición final sean las instalaciones físicas. También, se mejoran los factores económico y social, al generar una economía en la compra de fertilizantes para la Institución y lograr capacitar - por parte del personal uniformado - a la comunidad en general, instituciones o gremios que cuenten con equinos.

6. LIMITACIONES

En esta investigación, se tuvieron las siguientes limitaciones:

1. La temperatura baja por falta de horas de brillo solar, limita el proceso de compostaje, puesto que de ella depende la velocidad del proceso y la presencia o no de los microorganismos biodegradadores como bacterias y hongos.
2. La disminución o aumento de horas de brillo solar, puede generar exceso de humedad, lo cual limita el proceso de compostaje, puesto que su deficiencia con valores entre el 45 y 50%, influye en la disminución de la temperatura y viceversa. Son dos variables directamente proporcionales, lo cual afectaría el crecimiento de hongos y bacterias, sino se llegasen a dar los parámetros óptimos.

7. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta el resultado de la investigación, se recomienda la elaboración de compost a base de la equinaza producida en la ESAVI para uso agrícola o en diferentes aplicaciones como mantenimiento de zonas verdes o viveros; sirve también para capacitar a la comunidad en general debido a su excelente calidad, sin embargo, se hace necesario evaluar las dosis correctas de fertilización orgánica para diferentes especies, su comportamiento y rendimiento con otros sustratos o mezclas.

Los resultados de esta investigación, pueden convertirse en un referente para un futuro estudio de factibilidad, a fin de evaluar si las condiciones para un proyecto de producción artesanal de compost son realmente óptimas y de bajo costo. También, los resultados obtenidos permiten dar una solución amigable con el medioambiente, que mitigue de forma efectiva la exposición directa en el suelo de los residuos orgánicos de los equinos, producidos en las instituciones, fincas, gremios y comunidad en general que cuenten con este tipo de animales; además, de generar un compost con unas condiciones particulares, lo hacen un producto que se puede explotar en diferentes ámbitos.

Para el manejo del producto durante el proceso, es importante vigilar las condiciones de la mezcla, tales como: humedad, temperatura y aireación, puesto que al estar aplicando Biowish Odor, estas condiciones tienden a sufrir cambios, los cuales deben permanecer dentro de los parámetros óptimos, garantizando con ello que todas las fases se den satisfactoriamente y lograr obtener un compost de calidad.

El disponer de un lugar apropiado para el manejo de estos residuos orgánicos y la facilidad de la consecución de los mismos, permite a la comunidad en general seguir produciendo el compost y dar continuidad a lo planteado en esta investigación, propendiendo por mitigar el impacto de dichos residuos en los suelos y al contrario tener la opción de enriquecerlos.

Para realizar las composteras y el proceso de obtención del compost, debe tenerse en cuenta si viven personas en las instalaciones físicas y si es así, el proceso de compos-

taje debe realizarse lo más lejano posible de las viviendas, oficinas, hangares u otros lugares de trabajo, dado que se puede salir de control, generar malos olores y, con altas velocidades de tiempo propagarse en todas ellas. De igual forma, se debe usar en lo posible residuos orgánicos como hojas secas y césped o pasto cortado, los cuales sirven como barreras naturales para los gases de efecto invernadero como el metano que genera malos olores, además evita que ingresen vectores (ranas, sapos, serpiente y moscas) a la mezcla de compostaje que lo pueden alterar, sobre todo en el caso de aquellos que generan larvas.

Se recomienda realizar un plan de necesidades por parte de la Remonta de la ESA-VI, donde se contemplen los diferentes materiales para la continuidad de la elaboración del compostaje en las instalaciones construidas en este lugar, igualmente se exhorta al personal de investigación de la ESAVI para facilitar la realización de proyectos orientados a la capacitación de la comunidad en general, fincas, gremios e instituciones que cuenten con equinos.

Posterior a que se logre implementar el proceso de compostaje, a partir de residuos equinos en la Escuela de forma permanente (fase II), se recomienda realizar las mediciones de producción de equinaza en las 9 pesebreras durante todo el año y ser comparado con la producción de compost, con el fin de obtener el rendimiento global del proceso que se propone en este proyecto de investigación, además, de obtener otros parámetros como actividad respiratoria, capacidad de retención de agua, densidad relativa, entre otros, los cuales permitirán complementar el primer proceso de compostaje propuesto en este proyecto. De igual modo, se debe explorar en alternativas energéticas, que puedan derivarse del uso de subproductos del proceso de compostaje como los gases (metano y dióxido de carbono) y los lixiviados, puesto que la ley 1715 de 2014, contempla la biomasa como energía renovable y tiene en cuenta incentivos tributarios por su uso.

Finalmente, se propone dentro de los proyectos a futuro en esta línea de proyectos de manejo y transformación de los residuos orgánicos de equino, lograr determinar la variación que tiene el compost, cuando se utilizan medicamentos de cuarta generación de las caballerizas, la cual es una oportunidad relevante de comprender como ajustar el proceso y obtener un abono orgánico de calidad.

REFERENCIAS

- Agricultura Orgánica de los Estados Unidos. (2019, Octubre). U.S. Department of Agriculture. <https://www.usda.gov/media/blog/2016/03/17/iniciativa-organica-sound-and-sensible-recursos-en-espanol>
- Aguirre, Z. (1996). *Manual de prácticas agroecológicas de los andes ecuatorianos*. Abya Yala.
- Alarcón, A., y Ferrera-Cerrato, R. (2000). Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*, 26(2), 191-203.
- Albañil, S. C., Rodríguez, O., Jaimes, J. P., y Rodríguez, J. P. (2017). Comparación de la calidad del humus de material vegetal con el de residuos orgánicos domésticos, resultado del compostaje mediante el sistema de pilas. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 8(2), 191-200. <https://doi.org/10.22335/rlct.v8i2.389>
- Albuquerque, J., Bautista-Carrascosa, I., Lidón, A., García-de-la-Fuente, R., Girbent, J., Abad, M., & Cegarra, J. (2009). Co-composting an animal fatty-proteinaceous waste with a solid lignocellulosic by-product from the olive oil industry ('alperujo'). *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 84, 918-926. <https://doi.org/10.1002/jctb.2152>
- Álvarez-Palomino, L., Vargas-Bayona, J. E., y García-Díaz, L. K. (2018). Abono orgánico: aprovechamiento de los residuos orgánicos agroindustriales. *Spei Domus*, 14(28-29), 1-10.
- Arcila P, J., Farfan V, F., Moreno B, A., Salazar G, L., y Hincapie G, E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Manizales: Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafe. <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/720>
- Arismendi, E., Pacheco, F., y Carcamo, M. I. (2010). *Microorganismos eficientes, ¿fórmula mágica?* http://www.rapaluruaguay.org/organicos/articulos/microorganismos_eficientes.html
- Asamblea Nacional Constituyente (1991). *Constitución Política de Colombia*.
- Bejarano, E. P., y Delgado, S. M. (2007). "Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá La Modelo por medio de la utilización de microorganismos eficientes (EM)". [Tesis de Pregrado, Universidad de de La Salle].
- Bernardo-Gutiérrez, A. (2018). "Diseño de un proceso de compostaje para el tratamiento de lodos de una depuradora de aguas residuales en Oviedo, Asturias con una capacidad de producción de 25000 t/año". [Tesis de Pregrado, Universidad de Jaén]. <http://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/8383>

- BioWish Technologies. (2020). Meet *BiOWiSH Technologies*. <http://b14279a71a966e52ae36-fad5b9385501cb7f7cac4f09f1c56222.r14.cf5.rackcdn.com/Datasheets/odor-product-overview.pdf>
- Boixadera, J., y Danés, R. (2001). Aspectos generales a considerar en la planificación y gestión de la aplicación de residuos orgánicos al suelo. *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*, 79-104.
- Bollo, E. (1999). *Lombricultura, una alternativa de reciclaje*. Soboc Grafic.
- Bueno, P. M., y Cabrera, F. (2008). Factores que afectan al proceso de compostaje. Aedos, sa.
- Burés, S. (1999). Introducción a los sustratos: aspectos generales. In *Tecnología de sustratos: aplicaciones a la producción viverística, ornamental, hortícola y forestal*, 19-36.
- Casas, A., y Elena, C. B. (1999). *Análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de los cultivos hortícolas en la zona del sureste peninsular*. Caja Rural de Almería.
- Chinchilla, J., Iglesia, R., y Urueña, L. (2017). "Desarrollo de compostaje a base de residuos orgánicos como implementación de políticas ambientales en la escuela de aviación policial". [Tesis de Especialización, Escuela de Aviación Policial].
- Chiumenti, A. (2005). *Modern Composting Technologies*. The JG Press.
- Dávila A., M., y Ramírez G., C. (1996). *Lombricultura en pulpa de café*. Avances Técnicos Cenicafe.
- Decreto 605 de 1996 [Ministerio de Desarrollo Económico]. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994 en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo. 27 de marzo de 1996.
- Decreto 1505 de 2003 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión Integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. 4 de junio de 2003.
- Decreto 838 de 2005 [con fuerza de ley]. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. 23 de marzo de 2005. D.O. No. 45.862.
- Decreto 2981 de 2013. Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. 20 de diciembre de 2013. D.O. No. 49.010.
- Dirección General de Sanidad Militar (2010). *Manual de manejo sanitario de animales al interior de las Fuerzas Militares*. Subsistema de Salud de las Fuerzas Militares.
- Domínguez, J., C., E., Sampedro, M., & García, S. M. (1996). Effects of Bulking Agents in Composting of Pig Slurries. *The Science of Composting*, 1146-1149. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1569-5_128.
- Durán, L., y Henríquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 275-281.
- Escolástico, C., Lerma, A. J., López, J., y Alía, M. L. (2015). *Medio ambientes y espacios verde* Universidad Nacional de Educación a Distancia. [https://books.google.com.co/books?id=LVzzCAAAQBAJ&pg=PT350&lpg=PT350&nqmenos+de+la+mitad+del+materia+inicial;+el+resto+se+evapora+en+forma+de+vapor+de+agua+y+CO2&source=bl&ots=XI92_mT8uk&sig=ACfU3U3PCMh-T_83M\]xnGs68tXTMuNnKhgg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiZj4u](https://books.google.com.co/books?id=LVzzCAAAQBAJ&pg=PT350&lpg=PT350&nqmenos+de+la+mitad+del+materia+inicial;+el+resto+se+evapora+en+forma+de+vapor+de+agua+y+CO2&source=bl&ots=XI92_mT8uk&sig=ACfU3U3PCMh-T_83M]xnGs68tXTMuNnKhgg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiZj4u)

- Figuerola, R., Homberg, F., y Ross, R. (1996). *Guía para la caficultura ecológica: Café orgánico*. Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura.
- Gabriel, P., Loza-Murguía, M., Mamani, F., y Sainz, H. (2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(2), 24-39.
- García, C. J. (1990). "Estudio del compostaje de residuos orgánicos : valoración agrícola". [Tesis de Pregrado, Universidad de Murcia]
- Gómez, L. (2017). *Condiciones de trabajo, riesgo y salud ambiental*. Fundación Universitaria del Área Andina.
- Gómez, D., y Vásquez, M. (s.f.). *Abonos orgánicos*. Cooperación Suiza en América Latina.
- González, R. L., Ramos, J. P., Hernández, y P., Espinosa, I. P., y Rodríguez Jiménez, S. L. (2019). Mejoramiento de la productividad agrícola de la lechuga y el rábano con el uso de microorganismos eficientes. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3), 8937-8943. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.76967> .
- Guerra, S. (2012). *Residuos Sólidos*. Rio de Janeiro: Forense. <http://www.cornare.gov.co/Memorias/PresentacionesSectorHotelero/PRESENTACION-RESIDUOS-SECTOR-HOTELERO.pdf>
- Guía Técnica Colombiana - GTC 24. (2009). *Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuente*. Norma NTC. <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC%2024%20DE%202009.pdf>
- Hedegaard, M., & Krüger, I. (1996). Composting of agricultural wastes in Denmark in respect of potential, industrial process technology and environmental considerations. En: De Bertoldi, M.; Sequi, P.; Lemmes, B., Papi, T. (Eds.). *The Science of Composting, I*, 691-697. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1569-5_66 .
- Hernández del Valle, G., León Noguera, P., Cruz la Paz, O., & Indrani Ramnarain, Y. (2008). Influencia del mulch en los índices de crecimiento del frijol variedad «Bat-304». *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(4), 46-49.
- Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos. (10 de Julio de 2020). OMRI. <https://www.omri.org/es/buscadoromri?page=1&query=las%20enmiendas%20como%20el%20carbonato%20de%20calcio%20o%20fertilizantes%20como%20la%20roca%20fosf%C3%B3rica%20que%20aunque%20no%20son%20abonos%20org%C3%A1nicos,%20se%20permiten%20en%20agricultura%20org>
- Jaramillo, G., y Zapata, L. M. (2008). "Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia". [Tesis de Pregrado, Universidad de Antioquia].
- Jhorar, B., & Phogat, M. E. (1991). Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. *Arid Soil Rest. Rehabil*, 5, 297-306. <https://doi.org/10.1080/15324989109381289> .
- Jiménez S., A. (2004). "Evaluación agronómica de las especies leguminosas *Cajanus cajan* (Guandul), *Crotalaria juncea* (Crotalaria) y *Tephrosia candida* (Tephrosia) y su efecto como abonos verdes en el cultivo del café". [Tesis de Pregrado, Universidad de Caldas].
- Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se

- dictan otras disposiciones. 22 de diciembre de 1993. D.O. No. 41.146.
- Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. 11 de julio de 1994. D.O. No. 41.433.
- Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. 13 de mayo de 2014. D.O. No. 49.150.
- Longoria, R., Oliver, M. A., Torres, J., González, J. L., y Méndez, G. M. (2014). Diseño, construcción y prueba de un prototipo automático para compostaje. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de la Universidad de Antioquia* (70), 185-196.
- López, S. (2016). “Comparación de las características físicas y químicas de compostas elaboradas con heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos durante las estaciones del año” [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México].
- Lucas, R. (2013). “Plan de negocio para una planta artesanal de biofermentos en la comuna Cerezal Bellavista de la provincia de Santa Elena”. [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].
- Mendoza, M. A. (2012). “Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura”. [Tesis de Pregrado, Universidad de Piura].
- Moncol, D. (1996). Composting equine stall waste using shredded newsprint for bedding. *Equine Practice*, 18(8), 18-22.
- Moreno, J., y Moreal, R. (2008). *Compostaje*. Mundi Prensa.
- Mota, R., y Urquiaga, R. (2004). *Manual básico para hacer compost*. <http://www.factoria3.com/documentos/Manual%20basico%20para%20hacer%20Compost.pdf>.
- Norma Técnica Colombiana-NTC 5167. Productos para la industria agrícola. productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. 23 de marzo de 2011.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). *La fertilización y su uso cuarta edición*. FAO.
- Palmero, R. (2010). *Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema*. Litografía Santa Elena.
- Ponce de León, J. M. (2001). *Medio ambiente y desarrollo sostenido*. Universidad Pontificia Comillas.
- Poulin, A., Hutchinson, M., Dube, M., Stokes, M., Mitchell, S., Edwards, A., Causey, R. (2018). Abatement of *Streptococcus equi* in Soiled Equine Bedding and Compost. *Journal of Equine Veterinary Science*, 70, 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.08.014>.
- Quinatoa, M. J. (2012). “Estandarización del proceso de producción de compost con fines comerciales utilizando tres fuentes de inóculo con la Asociación Santa Catalina del Cantón Pillaro”. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato] Cevallos: Universidad Técnica de Ambato.
- Ramos, D., Terry, E., Soto, F., y Cabrera, J. A. (2014). Bocashi: Abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos Tropicales*, 35(2), 90-97.
- Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS (2000) [Ministerio de Desarrollo Económico]. Noviembre de 2000.
- Resolución 1096 de 2000 [Ministerio de Desarrollo Económico]. Por la cual se adopta el

- Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. 17 de noviembre de 2000.
- Resolución 201 de 2001 [La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico]. Por la cual se establecen las condiciones para la elaboración, actualización y evaluación de los Planes de Gestión y Resultados. 21 de diciembre de 2001.
- Resolución 001502 de 2003 [Instituto Colombiano Agropecuario-ICA]. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia. 21 de enero de 2003.
- Resolución 1045 de 2003 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones. 26 de septiembre de 2003.
- Resolución 06706 del 2017 [Ministerio de Defensa Nacional-Policía Nacional]. Por la cual se expide el Manual de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Policía Nacional de Colombia. 29 de diciembre de 2017.
- Resolución 1407 de 2018 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, vidrio, metal y se toman otras determinaciones. 26 de julio de 2018.
- Resolución 2184 de 2019 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se modifica la resolución 668 de 2016 sobre uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. 26 de diciembre de 2019.
- Rodríguez, M. A., y Córdova y Vásquez, A. (2006). *Manual de Compostaje Municipal*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- Román, P., Martínez, M. M., y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Romero, L. E. (2018). "Evaluación de temperatura, pH, humedad, residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y digesta de animales de canal en el proceso de compostaje" [Tesis de Doctorado. Universidad Nacional del Altiplano].
- Salazar, T. (2014). Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos. *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), 74-84.
- Sánchez de Pinto, M. I., Rodríguez, G. V., Ferreyra, M. F., Umbides, R., y Polo, A. (2013). Cambios físico-químicos y biológicos durante el compostaje de residuos biodegradables de un feedlot vacuno. *Microbiología Agrícola. Un aporte de la Investigación en Argentina. Segunda Edición*, 475-489.
- Sánchez, Á. (2008). "Elaboración, caracterización, y comparación de abonos orgánicos a base de equinaza y bovinaza". [Tesis de Pregrado. Universidad Industrial de Santander].
- Sánchez, D. (2013). "Estudio de factibilidad para la creación de la planta de abonos orgánicos Orgánicos de Colombia". [Tesis de Pregrado. Universidad Autónoma de Occidente].
- Sepúlveda, L. A., y Alvarado, J. A. (2013). *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá*. <http://www.earthgreen.com.co/aprenda-mas-pyr/74-principios-basicos-del-compostaje>
- Silva, V. E. (2017). "Aislamiento e identificación de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, y evaluación de la capacidad de crecimiento en medios de cultivo a gran escala como alternativa de biofertilizante en cultivos de rosa sp". [Tesis de Pregrado, Universidad de las Américas].

- Smith, M. M., & Aber, J. D. (2018). Energy recovery from commercial-scale composting as a novel waste management strategy. *Applied Energy*, 211, 194-199.
- Soliva, M., Giró, F., Valero, J., Cucurull, D., Lumbreras, F., y Barbera, R. (1992). Siete años de estudio de la calidad del compost en Cataluña: criterios para su valoración. Conferencias. *Congreso y Exposición Internacional de Residuos Sólidos "Iswa 92"*; 6 (14 - 19 junio 1992. Madrid). (pág. 35). Asociación Técnica para la Gestión de residuos sólidos.
- Trautmann, N. M., & Krasny, M. E. (1998). *Composting in the Classroom: Scientific Inquiry for High School Students*. Ithaca: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Valencia, D. F. (2019). "Tratamiento de heces y camas de equinos, por medio del proceso de compostaje como medida de aprovechamiento de residuos orgánicos. Caso de estudio Grupo de Carabineros Cali". [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD].
- Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., y Torres-Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento. *ORINOQUIA*, 23(2), 123-129. <https://doi.org/10.22579/20112629.575>
- Vásquez, R., y Ballesteros, H. (2008). *Manual de Lombricultura*. 1 ed. Produmedios.
- Vicencio-De La Rosa, M. G., Pérez-López, M. E., Medina-Herrera, E., y Martínez-Prado, M. (2011). Producción de composta y vericomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(3), 263-270.
- Zúñiga, D. G. (2013). "Estimación de la huella de carbono del proceso de compostaje y lombricultura de la Dirección de Gestión Ambiental de la Ilustre Municipalidad de La Pintana". [Tesis de Pregrado. Universidad de Chile].

APÉNDICES

Apéndice A

Exámenes de Laboratorio de la Equinaza



AGROANÁLISIS
SERVICIOS AGROPECUARIOS
LABORATORIO DE SUELOS,
AGUAS Y FOLIARES
NIT. 19.370.708 -1

Asesorios técnicos
Análisis Físicoquímicos y microbiológicos
Estamos en proceso de Acreditación, para
certificación en ISO 9001 e ISO 14026

Ibagué, 03 de julio de 2017

Señores,
Teniente Julián David Acevedo Giraldo
Escuela de Aviación Policial

Ref. Resultado del análisis a la muestra de abono

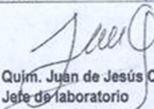
Me permito presentar los resultados del análisis Físico químico y bacteriológico a la muestra de abono del proceso de compostaje orgánico, muestra primer día de inicio de la compostera

1. Análisis físicoquímicos

Variable	Unidades	Base Húmeda	Base Seca	Óptimos Base Seca	Kg/Ton Base Húmeda
Porcentaje de Humedad	%	59.80			
Densidad Aparente	g/cm ³	1.57			
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC	cmol.* Kg ⁻¹	31.05	48.52		
Carbono Orgánico	%	11.01	19.07		
Materia Orgánica	%	32.29	43.57		
Cenizas	%		52.20		
Relación Carbono Nitrógeno	p/p	26.74	25.02		
pH (reacción de acidez)	-logH+	6.3			
Conductividad Eléctrica	dS/m	18.00			
Nitrógeno Total (N)	%	1.51	1.68		9
Fosforo (P)	%	1.95	2.7		3
Potasio (K)	%	2.12	2.77		6
Calcio (Ca)	%	3.84	5.68		20
Magnesio (Mg)	%	0.71	1.42		3
Azufre (S)	%	0.6	0.85		2
Sodio (Na)	%	0.030	0.59		0.7

2. Análisis microbiológico

Parámetros	Unidades	Valor muestra
Enterobacterias	U.F.C/100 ml	4.90 x10 ⁶
Población total de bacterias	U.F.C/100 ml	1.20 x10 ⁶



Juán de Jesús Cardozo Vera
Jefe de laboratorio

Km 10 vía Espinal – Ibagué – Sector Marafoenes
Tel: 2075239- 2075237

Apéndice B.

Informe de Visita a Remonta Escuela de Carabineros "Alejandro Gutiérrez".

Fecha: 26/07/17 al 28/07/17

Sitio: Remonta Escuela de Carabineros "Alejandro Gutiérrez"

Objetivo: Obtener información del proceso de Compostaje que manejan en la Remonta

Fotos: paso a paso

Resultado: Durante 3 días se estuvo en la remonta, se obtuvo información del proceso que realizan en las diferentes etapas del compost, ya que esta Remonta cuenta con una compostera de 14 cubículos donde manejan los residuos orgánicos de 33 semovientes que están de tiempo completo en pesebreras y que diariamente son recolectados alrededor de 180 kilos; además, el estiércol y la orina de los equinos se recolecta de las pesebreras diariamente.

La equinaza producto del aseo de las pesebreras se recolecta en lonas y se lleva al centro de acopio para su tratamiento.



Para el tratamiento de la equinaza, se aplica biowish-odor; esto, con la finalidad de ayudar a la descomposición y control de pH de dicho material.



Cada segundo día, se voltea las pilas para conservar temperatura y pH, preparando material orgánico para abono.



Después de 28 días, se recolecta el material orgánico nuevamente para su aprovechamiento.



Se aprovecha este abono orgánico para el cuidado y mantenimiento de los jardines de la Escuela, y en los potreros y cortes de pasto, los cuales serán de consumo de los equinos de la remonta.





Apéndice C.

Exámenes de Laboratorio Mezcla 1 y 2



AGROANÁLISIS
SERVICIOS AGROPECUARIOS
LABORATORIO DE SUELOS,
AGUAS Y FOLIARES
NIT. 19.370.708 -1

Asesorías técnicas
Análisis Físicoquímicos y microbiológicos

Estamos en proceso de Acreditación, para
certificación en ISO 9001 e ISO 14026

Ibagué, 08 de septiembre de 2017

Señores,
Teniente Julián David Acevedo Giraldo
Escuela de Aviación Policial

Ref. Resultado del análisis a la muestra de abono con inoculación Blowish.

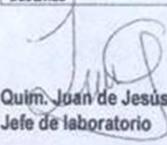
Me permito presentar los resultados del análisis Físico químico y bacteriológico a la muestra de abono con inoculación de Biowish del proceso de compostaje orgánico muestra producto final.

1. Análisis físicoquímicos

Variable	Unidades	Base Húmeda	Base Seca	Óptimos Base Seca	Kg/Ton Base Húmeda
Porcentaje de Humedad	%	34.80			
Densidad Aparente	g*cm ³	0.59			
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC	cmol- * Kg ⁻¹	36.05	71.58		
Carbono Orgánico	%	16.05	25.15		
Materia Orgánica	%	23.29	43.57		
Cenizas	%		56.30		
Relación Carbono Nitrógeno	p.p	15.39	14.39		
pH (reacción de acidez)	logH+	7.2			
Conductividad Eléctrica	dS/m	15.00			
Nitrógeno Total (N)	%	1.07	1.76		7
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	%	0.009	0.014		0.09
Nitrógeno Nitrico (NO ₃)	%	0.095	0.193		0.98
Fosforo (P)	%	1.07	1.73		2
Potasio (K)	%	1.12	1.77		8
Calcio (Ca)	%	1.84	3.68		18
Magnesio (Mg)	%	0.31	0.61		3
Azufre (S)	%	0.16	0.31		2
Sodio (Na)	%	0.030	0.59		0.4

2. Análisis microbiológico

Parámetros	Unidades	Valor muestra
Enterobacterias	U.F.C/100 ml	4,10 x10 ⁷
Población total de bacterias	U.F.C/100 ml	1,30 x10 ⁶


Quim. Juan de Jesús Cardozo Vera
Jefe de laboratorio

Km 10 vía Espinal – Ibagué – Sector Marañones
 Tel: 2075239- 2075237



AGROANÁLISIS
SERVICIOS AGROPECUARIOS
LABORATORIO DE SUELOS,
AGUAS Y FOLIARES
NIT. 19.370.708 - J

Asesorías técnicas
Análisis Fisicoquímicos y microbiológicos

Estamos en proceso de Acreditación, para
certificación en ISO 9001 e ISO 14026

Ibagué, 08 de septiembre de 2017

Señores,
Teniente Julián David Acevedo Giraldo
Escuela de Aviación Policial

Ref. Resultado del análisis a la muestra de abono con inoculación Biowish.

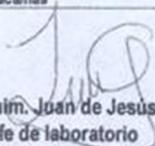
Me permito presentar los resultados del análisis Físico químico y bacteriológico a la muestra de abono con inoculación de Biowish del proceso de compostaje orgánico muestra producto final.

1. Análisis fisicoquímicos

Variable	Unidades	Base Húmeda	Base Seca	Óptimos Base Seca	Kg/Ton Base Húmeda
Porcentaje de Humedad	%	34.80			
Densidad Aparente	g*cm ⁻³	0.59			
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC	cmol.* Kg ⁻¹	36.05	71.58		
Carbono Orgánico	%	16.05	25.15		
Materia Orgánica	%	23.29	43.57		
Cenizas	%		56.30		
Relación Carbono Nitrógeno	p.p	15.39	14.39		
pH (reacción de acidez)	-logH+	7.2			
Conductividad Eléctrica	dS/m	15.00			
Nitrógeno Total (N)	%	1.07	1.76		7
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	%	0.009	0.014		0.09
Nitrógeno Nitrico (NO ₃)	%	0.095	0.193		0.98
Fosforo (P)	%	1.07	1.73		2
Potasio (K)	%	1.12	1.77		8
Calcio (Ca)	%	1.84	3.68		18
Magnesio (Mg)	%	0.31	0.61		3
Azufre (S)	%	0.16	0.31		2
Sodio (Na)	%	0.030	0.59		0.4

2. Análisis microbiológico

Parámetros	Unidades	Valor muestra
Enterobacterias	U.F.C/100 ml	4.10 x10 ⁷
Población total de bacterias	U.F.C/100 ml	1,30 x10 ⁹


Quim. Juan de Jesús Cardozo Vera
Jefe de laboratorio

Km 10 vía Espinal – Ibagué – Sector Marañones
Tel. 2075239- 2075237

ÍNDICE ALFABÉTICO

C

- Compost, 9, 11, 12, 13, 16, 18, 19, 20, 24, 26, 27, 29, 31, 32, 40, 41, 47, 46, 47, 49, 51, 53, 57, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 68
- Compostaje, 1, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 59, 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72

E

- Equinaza, 4, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 31, 32, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 51, 59, 63, 64, 69, 71, 72, 73
- Equinos, 1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 12, 14, 15, 36, 37, 38, 39, 40, 60, 63, 64, 68, 70, 72, 74

