



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

Estudio del proceso de compostaje de estiércol con restos vegetales provenientes de la comunidad de
Pisambilla

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERA AGROPECUARIA

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Gestión sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales

SUBLINEA: Desarrollo y Sostenibilidad

AUTOR: Erika Marisol Quishpe Yautibug

ASESOR: Ph.D. Diego Manuel León Tapia

Ibarra, Diciembre del 2023

Ibarra, Diciembre del 2023

Ph.D. Diego Manuel León Tapia

ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigente en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f).....

Ph.D. Diego Manuel León Tapia

C.C.: 1711668895

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):



(f).....

Ph.D. Diego Manuel León Tapia

C.C.: 1711668895



(f).....

MSc. Maritza de los Ángeles Mier Quiroz

C.C.: 1002878286



(f).....

Ph.D. Edmundo René Recalde Posso

C.C.: 1001774494

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo ERIKA MARISOL QUISHPE YAUTIBUG, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, Diciembre del 2023



(f).....

ERIKA MARISOL QUISHPE YAUTIBUG

C.C.: 100414341-6

AUTORÍA

Yo, ERIKA MARISOL QUISHPE YAUTIBUG, portador de la cédula de ciudadanía N°, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.



(f).....

ERIKA MARISOL QUISHPE YAUTIBUG

C.C.: 100414341-6

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, ERIKA MARISOL QUISHPE YAUTIBUG, con C.C.: 100414341-6, autor del trabajo de grado intitulado: “Estudio del proceso de compostaje de estiércol con restos vegetales provenientes de la comunidad de Pisambilla”, previo a la obtención del título profesional de Ingeniería Agropecuaria, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, Diciembre del 2023



(f).....

ERIKA MARISOL QUISHPE YAUTIBUG

C.C.: 100414341-6

**DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN,
DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: “Estudio del proceso de compostaje de estiércol con restos vegetales provenientes de la comunidad de Pisambilla”, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 03 de Febrero del 2022

Para constancia firma:



(f).....

ERIKA MARISOL QUISHPE YAUTIBUG
Estudiante que ejecuta el trabajo de Titulación
C.C/ Pasaporte: 100414341-6
Carrera: Ingeniería Agropecuaria

Ibarra, Diciembre del 2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios, quien me ha ayudado para poder terminar estos estudios.

A mis padres, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional, por sus consejos y siendo ellos la base fundamental para hoy poder culminar con esta carrera.

A mi hermana y demás familiares, quienes estuvieron siempre apoyándome y motivándome en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Primeramente le agradezco a Dios, por darme la vida, por la familia que me dió y por la fuerza que me ha dado para poder superar cada momento difícil de mi vida y guiarme para poder culminar esta carrera.

Agradezco a mis padres José Quishpe y Teresa Yautibug, por siempre estar conmigo y apoyándome en todo momento, por ese amor y paciencia con la que cada día se preocupaban y que a pesar de todas las dificultades que se han presentado, nunca me han dado la espalda; así también agradecerles por todo su inmenso sacrificio y esfuerzo por darme una carrera universitaria.

A mi hermana Ruth Quishpe y a mi abuelito Franciso Quishpe, de quienes nunca me han faltado unas palabras de ánimo, apoyo y por siempre estar a mi lado.

Al mismo tiempo quiero agradecer al Ph.D. Diego León, asesor de este trabajo de investigación, por su apoyo, paciencia y orientación durante las diferentes fases dentro de la realización de esta investigación.

Gracias también a mi amiga Carlita quién siempre estuvo apoyándome y al pendiente de avance, así también a mis compañeros de clase, Lizeth, Andrea y Diego con quienes compartimos muchos momentos de alegrías y también de tristeza, pero que a pesar de todo siempre han estado presentes con su apoyo incondicional.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE.....	ix
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I.....	3
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO II.....	5
OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo general.....	5
2.2. Objetivos específicos	5
2.3. Hipótesis	5
CAPÍTULO III	6
ESTADO DEL ARTE.....	6
3.1. El suelo	6
3.1.1. La bioestructura	6
3.1.2. Conservación de la bioestructura.....	6
3.2. Abonos orgánicos.....	7
3.2.1. Materia orgánica para la elaboración de abonos.....	7
3.2.1.1. Restos de cultivos	7
3.2.1.2. Estiércoles	8
3.2.1.2.1. Estiércol de bovino	8
3.2.1.2.2. Estiércol de ovino	8
3.3. El Compostaje	9
3.3.1. El compostaje aerobio	9
3.3.2. El compostaje anaerobio.....	9
3.4. Sistemas de compostajes	10

3.4.1. Pila para compostaje	10
3.4.2. Cajas o compostero	10
3.5. Fases del compostaje	10
3.5.1. Fase de latencia	11
3.5.2. Fase mesófila I	11
3.5.3. Fase termófila o de higienización	11
3.5.4. Fase de enfriamiento o mesófila II	12
3.5.5. Fase de maduración	12
3.6. Compost.....	12
3.7. Índices físicos de control de calidad del compost.....	12
3.7.1. Temperatura (°C)	13
3.7.2. Humedad (%)	13
3.7.3. Oxígeno	14
3.7.4. Tamaño de la partícula	14
3.8. Índices químicos de control de calidad del compost	14
3.8.1. Potencial hidrógeno (pH)	14
3.8.2. Carbono orgánico total (%)	15
3.8.3. Nitrógeno total (%)	15
3.8.4. Relación carbono / nitrógeno (C/N)	16
3.8.5. Fitotoxicidad	16
3.8.5.1. Germinación (%)	16
CAPÍTULO IV	18
MATERIALES Y MÉTODOS	18
4.1. Materiales	18
4.1.1. Materiales de laboratorio	18
4.1.2. Equipos de laboratorio.....	18
4.1.3. Reactivos	19
4.1.4. Materiales para el establecimiento del compostaje	19
4.1.5. Equipo de campo.....	19
4.1.6. Materiales y equipos de oficina	19

4.1.7. Caracterización de los materiales agrícolas y ganaderos de la comunidad de Pisambilla	20
.....	20
4.2. Métodos	20
4.2.1. Ubicación del ensayo	20
4.2.2. Diseño experimental	22
4.2.3. Factores en estudio	23
4.2.4. Tratamientos	24
4.2.5. Unidad experimental	24
4.2.5.1. Caja de compostaje	24
4.2.6. Variables en estudio	25
4.2.6.1. Variables independientes	25
4.2.6.2. Variables dependientes	26
4.2.7. Fase de laboratorio	26
4.2.7.1. Preparación de las muestras para la determinación de C, N y C/N	26
4.2.7.2. Carbono orgánico total (%)	26
4.2.7.3. Nitrógeno total (%)	27
4.2.8. Fase de campo	28
4.2.8.1. Temperatura (°C)	28
4.2.8.2. Humedad (%)	28
4.2.8.3. Relación Carbono / Nitrógeno	29
4.2.8.4. Germinación (%)	29
4.2.9. Procesamiento de datos	29
CAPÍTULO V	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
5.1. Fase de laboratorio	31
5.1.1. Caracterización de los residuos vegetales y animales	31
5.1.1.1. Caracterización de Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	31
5.1.1.2. Caracterización de Retama (<i>Cytisus scoparius</i>)	32

5.1.1.3. Caracterización de estiércol bovino.....	34
5.1.1.4. Caracterización de estiércol ovino.....	35
5.1.1.5. Identificación de carbono, nitrógeno y C/N de la materia prima	36
5.2. Fase de campo	38
5.2.1. Temperatura (%)	38
5.2.2. Humedad (%)	42
5.2.3. Carbono orgánico total (%)	44
5.2.4. Nitrógeno total (%)	49
5.2.5. Relación C/N.....	53
5.2.5.1. Relación C/N de las mezclas iniciales y finales de los tratamientos	58
5.2.6. Ensayo de Fitotoxicidad	59
5.2.6.1. Germinación (%)	59
5.2.7. Resultado final del compost	61
5.2.7.1. Cantidad de compost obtenido.....	61
CAPÍTULO VI	62
CONCLUSIONES	62
CAPÍTULO VII.....	63
RECOMENDACIONES.....	63
CAPÍTULO VIII	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica del sitio experimental.....	21
Tabla 2. Características climáticas del sitio experimental.....	22
Tabla 3. Coordenadas geográficas del sitio experimental	22
Tabla 4. Esquema del análisis de varianza y fuentes de variación.....	23
Tabla 5. Descripción de los tratamientos en estudio	24
Tabla 6. Resultados de los análisis de carbono, nitrógeno y C/N del material a compostar	37
Tabla 7. Evolución de la temperatura en los tratamientos, durante el proceso de compostaje.	40
Tabla 8. Evolución de la humedad en los tratamientos, durante el proceso de compostaje	43
Tabla 9. Análisis de varianza ANOVA, para la variable carbono orgánico total, dentro del proceso de compostaje	45
Tabla 10. Análisis de varianza ANOVA, para la variable nitrógeno total, dentro del proceso de compostaje	49
Tabla 11. Análisis de varianza ANOVA, para la variable C/N, dentro del proceso de compostaje	54
Tabla 12. Relación C/N de los tratamientos	58
Tabla 13. Determinación del porcentaje de germinación	60
Tabla 14. Kilogramos de compost obtenidos	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del ensayo en la granja experimental.....	21
Figura 2. Distribución aleatorizada de las unidades experimentales.....	25
Figura 3. Puntos de toma de temperatura y humedad.....	29
Figura 4. Muestras de <i>Zea mays</i> L. triturado	32
Figura 5. Muestras de <i>Cytisus scoparius</i> triturado	33
Figura 6. Muestras de estiércol bovino triturado.....	34
Figura 7. Muestras de estiércol de ovino triturado.....	36
Figura 8. Prueba de rango múltiple Tukey para estiércol (Factor A), dentro de la variable carbono total.....	46
Figura 9. Prueba de rango múltiple Tukey para residuos (Factor B), dentro de la variable carbono total.....	47
Figura 10. Análisis de la comparación de promedios para la Interacción (A x B), dentro de la variable carbono total.....	48
Figura 11. Prueba de rango múltiple Tukey para estiércol (Factor A), dentro de la variable nitrógeno total.....	50
Figura 12. Análisis de la comparación de promedios residuos (Factor B), dentro de la variable nitrógeno total.....	51
Figura 13. Prueba de rango múltiple Tukey para la Interacción (A x B), dentro de la variable nitrógeno total.....	52
Figura 14. Análisis de la comparación de promedios estiércol (Factor A), dentro de la variable C/N	55
Figura 15. Prueba de rango múltiple Tukey para residuos (Factor B), dentro de la variable C/N	56
Figura 16. Prueba de rango múltiple Tukey para la Interacción (A x B), dentro de la variable C/N	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Asignación y limpieza del área para el establecimiento del experimento.....	75
Anexo 2. Colocación de sarán alrededor del área del experimento.....	75
Anexo 3. Elaboración de las cajas de compostaje con espuma flex.....	76
Anexo 4. Recolección de materia prima.....	76
Anexo 5. Picado de la materia vegetal.....	77
Anexo 6. Toma de muestras de los residuos.....	78
Anexo 7. Secado de las muestras en laboratorio.....	79
Anexo 8. Triturado de las muestras.....	79
Anexo 9. Análisis de nitrógeno total.....	80
Anexo 10. Análisis de carbono total.....	81
Anexo 11. Perforado de las cajas.....	82
Anexo 12. Enfundado de las cajas.....	82
Anexo 13. Colocación de los residuos en las cajas de compostaje.....	83
Anexo 14. Tapado de cajas.....	84
Anexo 15. Volteo de tratamientos.....	85
Anexo 16. Toma de temperatura y humedad.....	85
Anexo 17. Muestreo de compost para análisis.....	86
Anexo 18. Secado de muestras de compost.....	87
Anexo 19. Determinación de carbono total por calcinación.....	87
Anexo 20. Titulación de nitrógeno total.....	89
Anexo 21. Prueba de germinación.....	89

RESUMEN

En la actualidad debido al aumento acelerado de la población, se ha generado igualmente un incremento en el consumo alimenticio. Los residuos vegetales y pecuarios que no son tratados han llegado a constituirse como una fuente importante de contaminación para los demás recursos como el agua y el suelo. El objetivo de este estudio fue comparar el proceso de compostaje mediante las mezclas de estiércol de ganado bovino y estiércol ovino, junto a residuos vegetales (restos de maíz) y de poda (restos de retama), que fueron evaluados como técnicas para producir compost de calidad para su uso en la agricultura. Dentro de este estudio se realizó un análisis comparativo de los factores: temperatura, humedad, carbono total, nitrógeno total, relación C/N y una prueba de porcentaje de germinación con el fin de determinar la fitotoxicidad del compost. El compost se realizó mediante un sistema de cajas de espuma flex, cerradas con 3 perforaciones en la parte lateral alta, media y baja de la caja, en la que se realizó un volteo manual con el fin de airear los tratamientos; durante el proceso se realizó un control diario de temperatura y dos controles semanales de humedad. Una vez realizado el análisis comparativo de los 4 tratamientos T1 (Residuo de maíz + estiércol de bovino), T2 (Residuo de maíz + estiércol de ovino), T3 (Residuo de retama + estiércol de bovino) y T4 (Residuo de retama + estiércol de ovino), se determinó que la temperatura alcanzada fue la adecuada dentro de cada fase, así también la humedad se encontró entre los 40 a 60 % y el C/N obtenido fue entre 11,14/1 a 13,01/1 que son los rangos óptimos, garantizando un compost maduro. Es así que, los tratamientos T1, T2 y T4 presentaron mejores resultados frente al T3; de acuerdo a los parámetros evaluados, y teniendo un índice de germinación de semillas mayor al 90 %. Los resultados obtenidos en este estudio confirman que el compostaje es una solución para tratar los restos utilizados, ya que una vez que el material ha sido higienizado y estabilizado puede ser dispuesto sin peligro para el uso agrícola.

Palabras clave: Compost, residuos, fases del compostaje, C/N, calidad de compost

ABSTRACT

Currently, due to the accelerated population growth, there has also been an increase in food consumption. Untreated vegetable and livestock wastes have become an important source of contamination for other resources such as water and soil. The objective of this study was to compare the composting process using mixtures of cattle manure and sheep manure, together with vegetable residues (corn residues) and pruning residues (broom residues), which were evaluated as techniques to produce quality compost for use in agriculture. Within this study, a comparative analysis of the following factors was carried out: temperature, humidity, total carbon, total nitrogen, C/N ratio and a germination percentage test in order to determine the phytotoxicity of the compost. The compost was made using a system of flex foam boxes, closed with 3 perforations in the upper, middle and lower side of the box, in which a manual turning was performed in order to aerate the treatments; during the process a daily temperature control and two weekly humidity controls were carried out. Once the comparative analysis of the 4 treatments T1 (corn residue + cattle manure), T2 (corn residue + sheep manure), T3 (broom residue + cattle manure) and T4 (broom residue + sheep manure) was carried out, it was determined that the temperature reached was adequate in each phase, it was determined that the temperature reached was adequate in each phase, as well as the humidity was between 40 to 60% and the C/N obtained was between 11.14/1 to 13.01/1, which are the optimum ranges, guaranteeing a mature compost. Thus, treatments T1, T2 and T4 showed better results compared to T3, according to the parameters evaluated, and had a seed germination rate greater than 90%. The results obtained in this study confirm that composting is a solution to treat the remains used, since once the material has been sanitized and stabilized it can be disposed of without danger for agricultural use.

Key words: Compost, waste, composting phases, C/N, compost quality.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, a nivel mundial se ha dado un crecimiento acelerado en la población, ocasionando un aumento significativo en el consumo de alimentos diarios y provocando una gran demanda de estos, la misma que ha generado un mayor uso de tierras, agua y recursos, que son importantes en la obtención de los diferentes productos agrícolas.

Es por ello, que al existir un crecimiento poblacional, los sectores agrícolas con el fin de satisfacer las demandas y necesidades alimentarias, se han visto en la necesidad de aumentar la producción agrícola; lo que provocó también un incremento en la cantidad de residuos, ya sean orgánicos e inorgánicos. Estos desechos al no tener un adecuado manejo han llegado a causar problemas ambientales, en el suelo, agua y aire (debido a la emisión de malos olores), gases de efecto invernadero y que en ocasiones incluso han llegado a ocasionar afectaciones en la salud humana (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013).

A nivel mundial se generan alrededor de 2 000 millones de desechos, de los cuáles el 56 % son desechos inorgánicos y el 44 % pertenecen a los residuos orgánicos, de los cuáles el 5,5 % son reutilizados y dedicados a la elaboración de compostaje (Gómez, 2018).

Es así que en el Ecuador en el año 2020, se ha evidenciado la cantidad de 750,3 t de residuos orgánicos, de los que el 8% son aprovechados. Esta cantidad de desechos, se obtienen mayormente de los restos de poda y de ciertos cultivos provenientes del sector agrícola, dónde ya sea por desconocimiento no se les ha dado ningún tipo de manejo y a su vez, existen quemas de los desechos y sólo una pequeña parte de la población se dedica a la elaboración de compostaje (Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos [PNGIDS], 2021).

Estos desechos han sido resultado de una inapropiada manipulación por parte del ser humano, no sólo en el campo sino también dentro de las diferentes ciudades comunidades, por la inexistencia del reciclaje y como residuos obtenidos de la agricultura, ganadería y poda.

En vista de esta problemática, es necesario que estos residuos orgánicos, que provienen de los restos de cultivo y de poda, puedan ser aprovechados en la elaboración de compostaje, mediante los residuos de origen animal bovino y ovino, con el fin de obtener compost. Permitiendo la conversión de los desechos orgánicos en abono orgánico apto y beneficioso para los cultivos, además de que ayudan a mejorar la estructura, la retención de nutrientes, el control de enfermedades e incrementan la productividad del suelo.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Comparar el proceso de compostaje mediante residuos de estiércol (bovino y ovino) y restos agrícolas (vegetales y poda), provenientes de la comunidad de Pisambilla, cantón Cayambe, con el fin de determinar si el compost obtenido es apto para la agricultura.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los residuos agrícolas y ganaderos existentes en la comunidad de Pisambilla, perteneciente al cantón Cayambe
- Analizar el proceso de compostaje y su evolución
- Evaluar la calidad del compost, mediante parámetros físico - químicos

2.3. Hipótesis

Ha. El compostaje a partir de la mezcla de materia vegetal y animal presenta diferencias en las características evaluadas y alcanza una buena relación C/N apta para los cultivos.

Ho. El compostaje a partir de la mezcla de materia vegetal y animal no presenta diferencias en las características evaluadas y no alcanza una buena relación C/N apta para los cultivos.

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. El suelo

La agricultura orgánica es visualizada como un organismo vivo, pues es rico en diversas formas de vida como microbiana y mesofauna. El suelo es necesario dentro del manejo de los cultivos, pues es el que produce y aporta nutrientes y otros compuestos a las plantas y éstas a su vez, se encargan de mantener la vida, la fertilidad y la estructura del suelo (Alfaro, 2016).

Por lo que a su vez, se generan las condiciones óptimas tanto biológicas, físicas y de aireación necesarias para el desarrollo radical y la adecuada nutrición de las plantas, facilitando así la germinación de las semillas (Alfaro, 2016).

3.1.1. La bioestructura

La estructura del suelo, está conformada con la participación de la vida microbiana y la mesofauna, las mismas que en unión con la materia orgánica de lenta degradación, son capaces de formar grumos que provocan un suelo suave y estable a la lluvia, los mismos que ayudan a la infiltración y evita el escurrimiento (Alfaro, 2016).

La bioestructura, está formada por la capa superficial del suelo, que tiene una apariencia grumosa o esponjosa, esta se ubica entre los 0 - 20 cm de profundidad, permitiendo la infiltración del agua. En sus capas o perfiles más inferiores, la presencia del humus y la materia orgánica se ve reducida, ocasionando una disminución de agregados (Alfaro, 2016).

3.1.2. Conservación de la bioestructura

La bioestructura, se logra preservar al suministrar abonos orgánicos, abonos verdes, materia orgánica; que tengan una lenta degradación y que sean ricos en celulosa y lignina (Alfaro, 2016).

Además se puede proteger el suelo del impacto de las lluvias, de la alta exposición al sol, y la desecación, haciendo uso de las coberturas muertas como son los residuos de las cosechas; o

residuos vivos con la siembra de cultivos asociados, como gramíneas y leguminosas, dependiendo de las condiciones climáticas (Alfaro, 2016).

3.2. Abonos orgánicos

Son los productos que disponen de una forma equilibrada, micronutrientes que son indispensables para las actividades bioquímicas en las plantas, a su vez que también cuentan con altas cantidades de microorganismos, pues son el resultado de insumos orgánicos provenientes directamente del campo (Mendoza, 2012).

Generalmente los abonos se clasifican en; abonos orgánicos: compost, humus, abonos verdes; y abonos orgánicos líquidos: té de humus, té de compost, biol (Mendoza, 2012).

3.2.1. Materia orgánica para la elaboración de abonos

Son ciertos elementos o sustratos que están compuestos por carbono, hidrógeno y nitrógeno, resultantes de la descomposición química de los residuos ya sean animales o vegetales. Algunos de estos restos de animales, pueden ser las excretas como las de bovino, porcino, ovino, equino. A su vez, los restos vegetales pueden ser desechos de alimentos, restos de cultivos, desechos de jardinería o restos de podas (Romero-Figueroa et al. 2015).

3.2.1.1. Restos de cultivos

Los restos vegetales, integrados por una gran variedad de residuos, como; restos de cosechas, cultivos, podas, cáscaras, bagazos y restos de frutas, que son procedentes de diversos tipos de especies cultivadas y ciertas que se dan de manera natural (Pravia y Sztern, 2015).

Los residuos vegetales, han sido utilizados como una práctica frecuente y tradicional, desde la antigüedad como abono para los suelos, debido a los beneficios que aportan y con el fin de mejorar la producción de los mismos, además se ha determinado que su buen manejo ayuda a la incrementación de materia orgánica, la biomasa microbiana; siendo beneficioso para la conservación de sedimentos (Carchi, 2016).

A su vez han existido algunos residuos agrícolas que se han establecido como materiales inutilizables o contaminantes, debido a la alta toxicidad que pueden llegar a causar en los cultivos (Romero-Figueroa et al. 2015).

3.2.1.2 Estiércoles

Dependiendo de su procedencia, disponen de diversos nutrientes; dónde generalmente poseen altos niveles de nitrógeno, entre ellos se encuentran ciertos de mayor interés, cómo los que son producidos por la ganadería, la avicultura, la porcicultura y la ovicultura, entre otros (Alfaro, 2016).

El contenido de nutrientes depende de varios factores como la especie del animal, el manejo, el propósito al que es dedicado el animal y del tipo de sistemas que provenga del estiércol (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2021). En los sistemas de producción que hagan usos de camas y que contengan una superficie de pasto, aserrín o algún otro material, sobre la que se desplacen los animales, es un influyente en la calidad del residuo (Alfaro, 2016).

3.2.1.2.1. Estiércol de bovino

El estiércol de ganado vacuno, es de muy buena calidad, ya que se conoce como un residuo que contiene una alta cantidad de nutrientes, debido a que estos han sido ingeridos por el animal, por lo que estos pueden ser representados como una fuente potencial de nutrientes que se encuentren disponibles para los cultivos, cuando son reciclados para ser transformados en compost o abono orgánico y necesita un periodo de maduración entre 4 a 6 meses (Olivares-Campos et al. 2012).

3.2.1.2.2. Estiércol de ovino

Es un estiércol de buena calidad, que generalmente procede de sistemas de alojamiento, en los que se ha acumulado durante un lapso de tiempo. Es un residuo compactado, debido al pisoteo de los animales y el tiempo de recolección, por lo que para su uso es importante el riego por varios días. El tiempo de maduración es de aproximadamente 4 meses (Tenecela, 2012).

3.3. El Compostaje

El proceso de compostaje es un método biológico en el que se ven involucrados diversos microorganismos, así como bacterias, hongos y ciertos organismos termófilos y mesófilos que al consumir la materia orgánica ayudan a la transformación de los desechos o residuos orgánicos (Camacho et al., 2014), obteniendo como resultado un producto estabilizado, maduro y libre de patógenos, además de ser rico en sustancias húmicas y con propiedades ideales, para ayudar a mejorar la calidad del suelo (Debernardi – Vázquez et al. 2020).

3.3.1. El compostaje aerobio

El compostaje aerobio, es un proceso de tipo exotérmico que con la presencia de oxígeno, degrada y estabiliza el material orgánico (Quinatoa, 2012), mediante una acción combinada con diversas poblaciones de microorganismos que se ven asociadas con los factores ambientales (FAO, 2013). De este proceso se obtienen el dióxido de carbono, agua y calor. Además de que durante este transcurso se provoca una variación de temperatura (Salazar, 2014).

A su vez, se pueden ver evidenciadas dos regiones o partes en este compostaje, que son:

- La zona central, que es la parte en la que son más visibles los mayores cambios.
- La zona cortical, que es la parte más superficial del compostaje y es el lugar en el que se dan una menor cantidad de cambios visibles.

(Pravia y Sztern, 2015)

3.3.2. El compostaje anaerobio

También conocido como biometanización, es la descomposición de los restos orgánicos en ausencia de oxígeno, del mismo que se obtienen como productos finales, el metano, dióxido de carbono y diversos productos orgánicos con bajo peso molecular así como los alcoholes y ácidos (Salazar, 2014).

3.4. Sistemas de compostajes

Se han logrado establecer diferentes formas de realización del compostaje, dentro de las cuales difieren significativamente unas de otras. Las diferentes maneras de realizar compostaje pretenden conseguir una buena aireación y alcanzar temperaturas termófilas. También se trata de eliminar durante el proceso a todos los microorganismos patógenos que pueden llegar a tener los residuos a compostar, por lo que se considera efectivo al sistema que logre transformar gran parte de la materia orgánica en los residuos (Carchi, 2016).

3.4.1. Pila para compostaje

Dentro del sistema de compostaje en pilas, el tamaño de la pila es uno de los factores que afecta directamente al contenido de la humedad, de oxígeno de la temperatura, ya que al existir una adecuada altura facilita el volteo ya sea manual o mecánico, para de esa manera evitar que se compacten los materiales orgánicos que son utilizados para el compostaje. A su vez, se debe realizar volteos periódicamente, debido a que exponen el material fresco a la colonización microbiana y ayudan a la conducción de la liberación de NH_3 que se retiene en las pilas permitiendo una adecuada aireación y liberación del amoníaco que es responsable de los malos olores (Carchi, 2016).

3.4.2. Cajas o compostero

Otra de las formas más comunes de compostaje son por medio de las cajas o composteros, que pueden ser utilizados de forma abierta o cerrada y facilitan la toma de temperatura y humedad de diferentes partes del compostaje (Carchi, 2016).

3.5. Fases del compostaje

El compostaje al ser un proceso biológico donde la humedad y temperatura juegan un papel muy importante ya que aseguran una transformación higiénica, es conocido también como el sumatorio de diversos procesos metabólicos, que con la presencia de oxígeno aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) que se encuentran presentes en su propia biomasa. Dentro de este proceso los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menor cantidad de carbono

y nitrógeno, pero más estable, denominado compost. Una vez que el carbono y nitrógeno y el material inicial, los microorganismos desprenden una gran variación de temperatura durante el proceso del compostaje, siendo esto uno de los factores que ayudan a determinar las etapas del compostaje (FAO, 2013). Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

3.5.1. Fase de latencia

Es la primera etapa en la que se da la conformación de la pila y se analizan los incrementos de la temperatura (Pravia y Sztern, 2015), la duración de esta fase depende de la temperatura ambiente y la carga de biomasa microbiana que se encuentre en las camas (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2020).

3.5.2. Fase mesófila I

Durante esta fase la temperatura aumenta hasta alcanzar los 45 °C, debido a que se empieza a dar fermentaciones utilizando fuentes de carbono y nitrógeno por parte de los microorganismos mesófilos. Se presentan también procesos de nitrificación y oxidación del fósforo, azufre, entre otros. El pH de esta etapa puede variar de 4 a 4,5 y esta fase puede durar de 2 a 8 (MAATE, 2020).

3.5.3. Fase termófila o de higienización

Al alcanzar temperaturas de 45 °C a 60 °C, los microorganismos son reemplazados por otros que puedan soportar altas temperaturas como las bacterias termófilas que facilitan el proceso de degradación de compuestos complejos como la lignina, cera y celulosa y van eliminando mesófilos, patógenos, hongos y esporas (MAATE, 2020).

También es denominado de higienización debido a que por el calor que se ha producido puede llegar a higienizar el material de microorganismos patógenos o de origen fecal, de la misma manera en la que elimina las semillas de malezas o residuos fecales como la *E.coli* o *Salmonella*. Esta fase puede llegar a durar algunos días o hasta meses (FAO, 2013).

3.5.4. Fase de enfriamiento o mesófila II

Ya con la pérdida de nutrientes nitrogenados y de las fuentes de carbono y sin termófilos la temperatura comienza a bajar hasta los 40°C aproximadamente, dando paso nuevamente a la aparición de microorganismos mesófilos que continúan con la degradación de celulosa (FAO, 2013). El pH en esta fase es ligeramente alcalino y esta etapa puede llegar a durar algunas semanas e incluso en ocasiones se le ha llegado a confundir con la fase de maduración (MAATE, 2020).

3.5.5. Fase de maduración

Una vez que llegada a la fase de maduración puede durar desde los 3 a los 6 meses, dentro de esta etapa el compost empieza a madurar y se inicia la formación de los ácidos húmicos y fúlvicos (FAO, 2013) y sin presentar fitotoxicidad siendo entonces ya un compost listo para cosechar con el fin de utilizar en suelos para la agricultura (MAATE, 2020).

3.6. Compost

Se denomina compost al producto resultante de la descomposición de los residuos orgánicos, es semejante al humus pero con partículas que son de características finas y oscuras, además de ser un gran aportador de oligoelementos al suelo (Flores y Núñez, 2005).

El compost orgánico, posee muchos beneficios, ya que debido a sus características húmicas y debido a que no contiene microorganismos patógenos, es considerado como un mejorador de suelos, por lo que puede ser almacenado y manejado sin ningún tipo de riesgos. Además de que sirve como fuente de materia orgánica para poder ayudar al crecimiento y formación de humus en el suelo dado a su gran contenido de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio (Mendoza, 2012).

3.7. Índices físicos de control de calidad del compost

El compostaje al ser un proceso biológico que es llevado a cabo por diversos microorganismos, se debe considerar ciertos parámetros que afecten en su crecimiento y reproducción. En estos

factores se incluyen la aireación, la humedad del sustrato, la temperatura y la relación C/N (FAO, 2013).

Externamente, el desarrollo del compostaje se sujetará a las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas que se empleen y diversos elementos, por lo tanto los parámetros pueden variar. No obstante, todos los parámetros deben estar en constante vigilancia, para poder mantenerlos dentro del rango óptimo (FAO, 2013).

3.7.1. Temperatura (°C)

La temperatura puede variar dependiendo de la fase en la que se encuentre que puede llegar a subir hasta los 60 °C sin ningún calentamiento externo, es necesario verificar que esta no decaiga rápidamente pues de esa manera impedirá la descomposición rápida y una buena higienización (FAO, 2013).

- Temperatura en la etapa mesófila: Debe llegar hasta los 45 °C.
- Temperatura en la etapa termófila: Debe llegar hasta los 60 °C, aunque puede alcanzar una temperatura hasta de 75 °C.
- Temperatura en la etapa mesófila II: Debe llegar hasta los 45 °C.

Cuando se tiene temperaturas menores a 35 °C puede llegar a causar problemas en la humedad y puede deberse al material insuficiente o un déficit de nitrógeno. Y si la temperatura es mayor a 60 °C puede ser por una ventilación insuficiente (MAATE, 2020).

3.7.2. Humedad (%)

El compost requiere de una humedad del 55 % aunque esta puede variar pero debe encontrarse dentro de los 45 % a 60 %, dependiendo del estado en el que se encuentre o del tamaño de las partículas a descomponer o del sistema en el que se vaya a realizar el compostaje (MAATE, 2020).

Si existe una humedad debajo de los 45 % la actividad de los microorganismos llega a disminuir causando problemas en las diferentes fases de la degradación y dando como resultado un producto biológicamente desequilibrado. Si la humedad es mayor a los 60 % causa una anaerobiosis en los poros produciendo una posterior pudrición (MAATE, 2020).

3.7.3. Oxígeno

El compostaje al ser un proceso aerobio, debe conservar una aireación adecuada, la misma que permita la respiración de los microorganismos y la liberación de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera. Las necesidades de oxígeno varían durante todo el transcurso del compostaje, llegando a alcanzar una mayor tasa de consumo durante la fase termofílica. De igual manera, la aireación evitará que el material a descomponerse se encharque o se compacte (FAO, 2013).

Así también un exceso de aireación, puede provocar un descenso en la temperatura y una mayor pérdida en la humedad debido a la evaporación, provocando que el proceso de descomposición se detenga por la falta de agua para los microorganismos, que son los encargados de producir esporas que ayudan en la degradación de los diferentes compuestos.

Por el contrario, una baja aireación impide la evaporación del agua, lo que genera un incremento de la humedad y por lo tanto un ambiente anaeróbico, dando paso a malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético (CH_3COOH) o sulfúrico (H_2SO_4) (FAO, 2013).

3.7.4. Tamaño de la partícula

El tamaño adecuado de la partícula no debe ser menor a los 5 cm o sobrepasar los 30 cm pues, al ser de un tamaño mayor puede llegar a disminuir la aireación y disponibilidad de nutrientes para los microorganismos que actúan en la degradación. Así también cuando el tamaño de la partícula es menor a 5 cm son demasiado finas que pueden crear poros que se saturen de agua (MAATE, 2020).

3.8. Índices químicos de control de calidad del compost

3.8.1 Potencial Hidrógeno (pH)

Es un indicador de la acidez que se tiene en el compost, en las primeras fases el pH es ácido, en la fase de termofilia el pH sube y se vuelve alcalino para en la etapa de maduración volverse neutro. Así también indica la supervivencia de los microorganismos y la aparición de bacterias u hongos dependiendo del pH dentro de las fases (MAATE, 2020).

El rango del pH no debe encontrarse menor a 4,5 pues indicaría un exceso de ácidos de origen orgánico y si es mayor a 8,5 un exceso de nitrógeno (FAO, 2013).

3.8.2. Carbono orgánico total (%)

La degradación de la materia orgánica es llevada a cabo, debido a que los microorganismos que se encuentran presentes en el proceso utilizan el carbono orgánico como fuente de energía. El proceso puede exigir más carbono que nitrógeno, pero hay que tener en cuenta que cuando existe un exceso de este elemento, el tiempo de degradación puede aumentar a partir del momento en que las reservas de nitrógeno son consumidas y ciertos organismos mueren (Mendoza, 2012).

El nitrógeno que estos organismos han asimilado es utilizado por otros microorganismos, y nuevas cantidades de carbono son consumidas en la constitución de la sustancia celular, por lo que la cantidad de carbono alcanza su nivel más satisfactorio y el nitrógeno es reintroducido en el ciclo. De aquí la relación que existe entre el carbono y el nitrógeno (Mendoza, 2012).

3.8.3. Nitrógeno total (%)

El contenido total de nitrógeno del compost puede variar según la materia prima, las condiciones del proceso, la maduración y el almacenaje. En el transcurso del proceso de compostaje el contenido de nitrógeno disminuye con la volatilización del amoníaco, pero éste es captado, transformado e incorporado a los microorganismos, es por eso que se presentan pérdidas importantes de este elemento, debido a la intensidad y la rapidez de los fenómenos bioquímicos en los primeros días de la fermentación. Una buena fermentación aerobia no debe perder más del 20% de la cantidad inicial del nitrógeno (Mendoza, 2012).

Los microorganismos utilizan el nitrógeno para la síntesis de proteínas junto con otros elementos, un exceso de este nutriente puede traer como consecuencia un crecimiento bacteriano y podría acelerar la descomposición de la materia orgánica, pero esto provocaría un déficit en oxígeno, por lo que el proceso se volvería anaeróbico, sin embargo, la falta de nitrógeno en el proceso generaría un deficiente crecimiento del cultivo microbiano, por lo que la velocidad de descomposición disminuiría considerablemente (Mendoza, 2012).

3.8.4. Relación carbono/nitrógeno (C/N)

El carbono y el nitrógeno, en conjunto con el hidrógeno y el oxígeno, son los elementos que componen principalmente a las plantas, a su vez, el contenido de fósforo y otros elementos son menores. El carbono generalmente se encuentra en la celulosa, lignina y los carbohidratos; éstos regularmente abundan en materiales leñosos, en pajas, aserrín, granza de arroz, entre otras. A su vez el nitrógeno se halla en plantas jóvenes o estiércoles de animales. La relación C/N, varía de acuerdo al contenido de carbono (fibras) y de nitrógeno (estiércoles) (Alfaro, 2016).

Así también, ésta relación, es uno de los indicadores más importantes en el compostaje, desde su fase inicial, hasta su fase final. En la fase inicial es necesaria, para determinar una adecuada mezcla de la materia prima, por ende alcanzando una buena una relación C/N entre ambos de entre 25 a 35, asegurando una fermentación correcta y una buena obtención de un producto de buena calidad. A su vez, en la fase final, es importante, para conocer la madurez del compost, es así que el rango adecuado de C/N en un compost maduro va de 10 a 15 (FAO, 2013). Una baja relación de C/N va alrededor de 10, siendo un indicativo de una mayor presencia de nitrógeno y por el contrario, una alta relación de C/N va de 20 a 25, demostrando una mayor presencia de carbono (Alfaro, 2016).

3.8.5. Fitotoxicidad

3.8.5.1. Germinación (%)

La determinación del porcentaje de germinación ayuda a determinar la estabilidad y madurez del abono compostado, que puede evaluarse por medio de la germinación de semillas, la elongación de las raíces o el crecimiento de las plántulas (Rojas y Zeledón, 2007).

Cuando un compost no se encuentra maduro, presenta efectos fitotóxicos; tal cómo contenido de amonio, ácidos volátiles orgánicos, de metales pesados, entre otros. Estas sustancias en altas concentraciones, pueden causar daños o efectos perjudiciales en la germinación y desarrollo de las plantas; ya que inhiben la germinación o elongación de las raíces; por lo que tienen riesgos en la utilización en cultivos (Mendoza-Hernández et al. 2017).

De acuerdo con Clavijo (2014), los materiales con valores menores al 50 % de germinación son considerados como altamente fitotóxicos (Siles-Castellano et al. 2020), a diferencia de los que se encuentran dentro del rango 50 % a 80 %, que son moderadamente fitotóxicos, mientras que los que se encuentran con un porcentaje de germinación mayor al 80 % son los considerados buenos, debido a que no son fitotóxicos (Zhang y Sun, 2016).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Materiales de Laboratorio

- Matraz Erlenmeyer
- Tubos de ensayo grandes
- Papel aluminio
- Pipetas graduadas
- Vasos de precipitación
- Desecadora
- Agua destilada
- Cápsulas de evaporación de porcelana
- Crisoles
- Platos de aluminio
- Gradilla de soporte

4.1.2. Equipos de laboratorio

- Campana de flujo laminar (N-Biotek)
- Balanza analítica (ADAM modelo: PW 254)
- Molino de cuchillas (Retsh Gm 200)
- Balanza desecadora (PCE-MB)
- Estufa 105 °C (Memmert SNB300)
- Digestor Kjeldahl (Berth Inkjel)
- Mufla 550 °C (Thermo scientific F47925)
- Destilador de nitrógeno (Tecnal TE-0364)

4.1.3. Reactivos

- Pastillas catalizadoras
- Ácido sulfúrico 98%
- Peróxido de hidrógeno
- Hidróxido de sodio 35%
- Ácido bórico al 4%
- Rojo tashiro
- Ácido clorhídrico 0,2 Normal

4.1.4. Materiales para el establecimiento del compostaje

- Planchas de espuma flex de 0,50 m. x 0,50 m.
- Pegamento industrial
- Brochas
- Plástico stretch film
- Sarán
- Fundas plásticas

4.1.5. Equipo de Campo

- Picadora de material vegetal
- Termómetro digital Halthen TTH 002

4.1.6. Materiales y equipos de oficina

- Libro de campo
- Marcadores
- Computador

4.1.7. Caracterización de los materiales agrícolas y ganaderos de la comunidad de Pisambilla

En el presente estudio se han tomado en cuenta los desechos agrícolas y ganaderos, generados en la comunidad de Pisambilla, perteneciente a la parroquia de Cangahua; para la elaboración de compostaje como son; los residuos de maíz y de retama; así también los estiércoles de ovino y de bovino.

Estos materiales agrícolas y pecuarios, fueron trasladados desde la comunidad de Pisambilla a la granja experimental ECAA, en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede - Ibarra, con el fin de facilitar la toma de datos y los posteriores análisis en laboratorio.

Es así que, para lograr caracterizar cada uno de los residuos o materia prima, los desechos fueron muestreados (3 muestras por material a compostar), fueron analizados físicamente y en laboratorio y comparados con la literatura para poder determinar las características más importantes de cada uno de los restos.

4.2. Métodos

4.2.1. Ubicación del Ensayo

La elaboración de esta investigación se realizó en las instalaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en la Granja Experimental ECAA, ubicada en la ciudad de Ibarra, se llevó a cabo en dos fases, la experimental o de campo y la fase de laboratorio.

Figura 1

Ubicación del ensayo en la granja experimental



Nota. Adaptado de Google Earth Pro

Tabla 1

Ubicación geográfica del sitio experimental

Ubicación Geográfica	
Provincia	Imbabura
Cantón	Ibarra
Parroquia	San Francisco
Sector	La Victoria
Altitud	2214 m.s.n.m

Nota. Adaptado de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra (2022)

Tabla 2

Características climáticas del sitio experimental

Características Climáticas	
Temperatura media anual	15,9 °C
Precipitación media anual	1000 a 1400 mm
Humedad Relativa	68 %

Nota. Adaptado de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra (2022)

Tabla 3.

Coordenadas geográficas del sitio experimental

Coordenadas Geográficas	
Latitud Norte	0° 20' 50.721''
Longitud Oeste	78° 6' 24.856''

Nota. Adaptado de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra (2022)

4.2.2. Diseño Experimental

El diseño experimental que se utilizó, es el Diseño experimental completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial A x B, en el que el factor A representa al estiércol tanto bovino y ovino y el factor B los residuos tanto vegetales como de poda. En el mismo se evaluaron 4 tratamientos, con 3 repeticiones cada una.

Tabla 4*Esquema del análisis de varianza y fuentes de variación*

FV	GL
Total	11
Tratamientos	3
Estiércol (A)	1
Residuos (B)	1
Interacción A x B	1
Error experimental	8

Nota. FV (Fuente de variación), GL (Grados de Libertad)

4.2.3. Factores en estudio

Factor A: Estiércol

A1. Bovino

A2. Ovino

Factor B: Residuos

B1. Vegetal (Maíz)

B2. Poda (Retama)

4.2.4. Tratamientos

Los tratamientos que se emplearon, se muestran en la Tabla 5; los mismos que han sido resultado de la interacción de los dos factores en estudio: Estiércol (A) y Residuos (B). A su vez, dentro de cada factor se encuentran 2 tipos de restos, cómo se menciona en el punto 4.2.3.

Tabla 5

Descripción de los tratamientos en estudio

Tratamiento	Interacción	Descripción
T1	Factor A1 x Factor B1	Estiércol de bovino + Residuo vegetal (maíz)
T2	Factor A2 x Factor B1	Estiércol de ovino + Residuo vegetal (maíz)
T3	Factor A1 x Factor B2	Estiércol de bovino + Residuo de poda (retama)
T4	Factor A2 x Factor B2	Estiércol de ovino + Residuo de poda (retama)

4.2.5. Unidad Experimental

4.2.5.1. Caja de compostaje

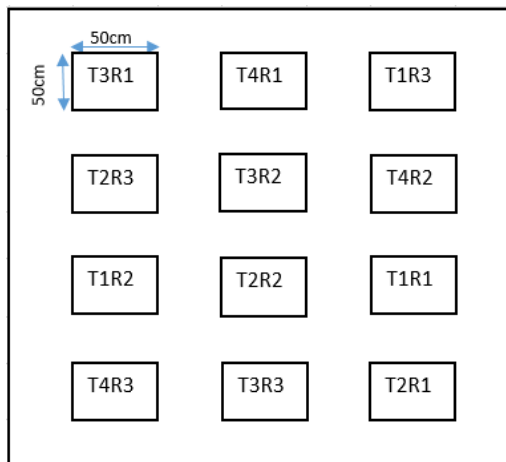
El área del invernadero que se ocupó para la implementación del experimento fue de 15 m², es así que cada unidad experimental, es representada por una caja elaborada a partir de espuma flex de 0,50 m x 0,50 m, el mismo que consta con una tapa que facilita el movimiento de los residuos y que contiene plástico film.

Así también cada caja contenía agujeros en la parte lateral para poder tomar la humedad y temperatura de cada una de las unidades experimentales y en la parte inferior de la caja para

poder facilitar la evacuación de los lixiviados luego de ser regada. Cada una de estas cajas contenía, 45 kg de residuos vegetal y 15 kg de estiércol, con una relación de C/N 3/1. Estas unidades experimentales fueron organizadas de forma aleatoria dentro del área de implementación, cómo se muestran en la Figura 2.

Figura 2

Distribución aleatorizada de las unidades experimentales



Nota. T= tratamiento; R= repetición

T1= Residuo vegetal (maíz) + estiércol bovino

T2= Residuo vegetal (maíz) + estiércol ovino

T3= Residuo poda (retama) + estiércol bovino

T4= Residuo poda (retama) + estiércol ovino

4.2.6. Variables en estudio

4.2.6.1. Variables independientes

En la presente investigación se determinó la calidad del compost, en la misma que se estableció como variables independientes, a los residuos de estiércol y residuos.

4.2.6.2. Variables dependientes

Se consideró evaluar las siguientes variables dependientes: humedad, temperatura, carbono orgánico total, nitrógeno total y la relación C/N, las mismas que según Pravia y Sztern (2015), influyen directamente en la obtención de compost de buena calidad. Además dentro del apartado 4.2.7., se explica la metodología utilizada para la determinación de cada una de las variables.

4.2.7. Fase de laboratorio

4.2.7.1. Preparación de las muestras para la determinación de C, N y C/N

Para esto se tomó muestras de cada uno de los materiales a compostar, que son de residuo vegetal y poda, estiércol de ovino y bovino. Los residuos ya muestreados, se picaron en pequeños trozos y se los colocó en la estufa con una temperatura de 105 °C por 2 horas y se dejó enfriar por 15 minutos en la desecadora (Montaña y Morales, 2018).

4.2.7.2. Carbono orgánico total (%)

Para la determinación de carbono se realizó en diferentes etapas del ensayo, la primera se realizó de la materia prima a compostar y la segunda al finalizar el proceso de compostaje y se lo realizó por el método de calcinación; para lo cual se colocó los crisoles dentro de la estufa a una temperatura de 105 °C, por 2 horas y seguidamente se dejó enfriar en la desecadora por 15 minutos, para posteriormente ser pesadas en la balanza analítica. Se volvió a realizar este procedimiento denominado tarado de crisoles hasta que el valor obtenido sea constante de $\pm 0,0005$ g (Vallejo, 2017).

Con los crisoles en un valor constante se pesaron 2 gramos de muestra seca y fueron colocadas en la estufa a 105 °C, por 2 horas, enfriadas en la desecadora por 15 minutos y pesadas. Este proceso de tarado se realizó nuevamente con la muestra, hasta obtener un valor constante. Ya obtenidos los valores constantes de $\pm 0,0005$ g. Se trasladaron los crisoles con la muestra a la mufla donde se calcinó a 550 °C, por 3 horas para posteriormente ser colocadas en la desecadora por 30 minutos, para luego ser pesadas (Vallejo, 2017).

Con estos valores, se utilizó la fórmula, según Vallejo (2017):

$$\% LOI = \frac{A - B}{A - C} \times 100$$

Dónde:

A= peso del crisol + peso de la muestra antes de la ignición en gramos

B= Peso del crisol + peso de la muestra después de la ignición en gramos

C= peso del crisol en gramos

Para la determinación del porcentaje de carbono se utiliza la fórmula $\% C = LOI * 0,58$

(Vallejo, 2017)

4.2.7.3. Nitrógeno total (%)

Para la determinación de la cantidad de Nitrógeno total, se lo realizó por medio del método Kjendahl (TKN), en la que se suma el nitrógeno orgánico, amoniaco y amonio (Vallejo, 2017). Para esto se realizó el procedimiento pesando 2 g de la muestra seca, la misma que se colocó en un tubo de ensayo para ser llevadas al digestor dentro de la sorbona, una vez ahí, se colocó una pastilla catalizadora, 12 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 98 % y 3,3 ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 35 %, todos estos reactivos deben ser colocados lentamente y por los bordes en cada uno de los tubos de ensayo (ITW Reagents, 2018).

Ya colocados los reactivos, se enciende la sorbona y se baja la tapa de esta para que empiecen a extraerse los gases, estos deben ser digeridos hasta que la muestra cambie de color negro a color amarillo pálido. Una vez que haya tomado ese color, se retiran los tubos del digestor y se neutralizan las muestras con 50 ml de agua destilada y 50 ml de NaOH al 35 %, las mismas que deben ser agregadas lentamente y por los bordes (ITW Reagents, 2018).

Posteriormente se pasan los tubos al destilador, ya anteriormente calentado, y en la base del equipo, se coloca un matraz erlenmeyer de 250 ml que contenga 50 ml de ácido bórico y 4 gotas de rojo tashiro, el mismo que debe ser de color rosa pálido (ITW Reagents, 2018).

Una vez que empiece a destilar, se debe comprobar que la solución del matraz cambie de color a verde, para posteriormente titular con HCl al 0,2 N. hasta que la solución verde se torne rosa pálido y anotar la cantidad en ml de HCl (ITW Reagents, 2018).

4.2.8. Fase de Campo

4.2.8.1. Temperatura (°C)

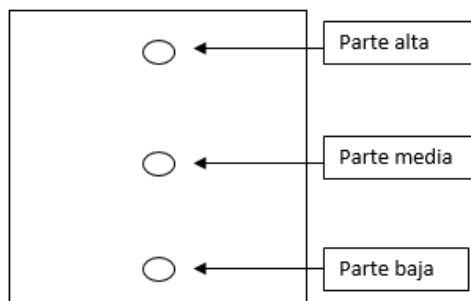
Para el control de la temperatura se realizó mediante el uso de un termómetro digital de marca Halthen TTH 002, mismo que tiene la capacidad de medir hasta 110°C. Esto se lo realizó diariamente en la mañana y en la tarde para lo que se muestrearon en 3 puntos en la parte alta, media y baja (Figura 3), de los diferentes tratamientos y se promediaron, obteniendo un valor diario para tratamiento (Vallejo, 2017). El monitoreo diario de la temperatura es muy importante para poder manejar el proceso del compostaje, ya que al controlar diariamente la temperatura, se puede conocer que tan rápido se está compostando el material y si hay puntos frío o calientes en el tratamiento (Nestlé, 2022).

4.2.8.2. Humedad (%)

Para la determinación de humedad, se realizó por medio del termómetro digital de marca Halthen TTH 002; que aparte de brindar la temperatura indicaba el porcentaje de humedad con una capacidad de medir entre 10 % a 98 % de humedad, con un rango de error de $\pm 0,5$; misma que fue realizada dos veces por semana en 3 puntos diferentes de la caja de compostaje (Figura 3). De estos datos obtenidos se promediaron y se obtuvo un valor para cada uno de los tratamientos.

Figura 3

Puntos de toma de temperatura y humedad



4.2.8.3. Relación Carbono / Nitrógeno

Para la determinación de la relación de C/N, se utilizó el % de carbono total y el % de nitrógeno total, en la siguiente fórmula; según Vallejo (2017):

$$C/N = \frac{\%C}{\%TKN}$$

4.2.8.4. Germinación (%)

La determinación del porcentaje de germinación ayuda a determinar la estabilidad y madurez del abono compostado, que puede evaluarse por medio de la germinación de semillas, la elongación de las raíces o el crecimiento de las plántulas (Huerta et al. 2015).

Para determinar el porcentaje de germinación se evaluó el compost de las tres repeticiones de los 4 tratamientos, la misma que consistió en muestrear el compost, tamizarlo y colocarlo en bolsas plásticas, para posteriormente colocar 6 semillas de avena en cada funda. Subsiguiente se verificó la germinación de las semillas.

4.2.9. Procesamiento de datos

Todos los resultados que se obtuvieron ya sea en campo o en laboratorio dentro de la investigación fueron procesados en el programa estadístico R-studio versión R 4.2.0., en el que

se realizó el análisis estadístico de cada variable, iniciando con la determinación de la normalidad con Shapiro Wilks, la homogeneidad con la prueba de Bartlett, y si las variables cumplían con ambas condiciones se realizó el análisis de varianza ANOVA. Al determinar si existía una significancia estadística entre los tratamientos se realizó la prueba de Tukey al 5%.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Fase de laboratorio

En los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, se realizaron los análisis de contenido de carbono y nitrógeno de los materiales a compostar, para poder determinar la relación de C/N y la caracterización de los mismos, con el fin de dar inicio a la implementación de las diferentes mezclas de compostaje.

5.1.1. Caracterización de los residuos vegetales y animales

5.1.1.1. Caracterización de maíz (*Zea mays* L.)

El maíz utilizado para la elaboración del compost, fue el conocido como maíz blanco harinoso, debido a que sus granos son muy blandos (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2020), es considerada como la variedad INIAP-101, misma que tiene como progenitor a la variedad Cacahuazintle de México y que por medio de selección de semillas se ha llegado a obtener la variedad blanco harinoso. Los residuos de esta planta fueron obtenidos con una edad de 130 días y según la INIAP (2020), el maíz puede alcanzar su fase de floración a los 92 días, y su fase de cosecha de choclo puede ser a los 125 días, por lo que la planta ya se encontraba sin fruto y en una fase madura.

Con respecto a la arquitectura, la planta de maíz poseía un sistema radicular muy ramificado. Y según Martínez de la Cruz (2011), el *Zea mays*, durante la germinación contiene una estructura radicular compleja, ya que contiene una raíz primaria y escutelares seminales que son necesarias para poder captar el agua y nutrientes; para luego dar paso a las raíces post-embrionarias conformadas por raíces de corona o nodales que van creciendo continuamente, hasta alcanzar un sistema radicular muy ramificado, como lo evidenciado en los restos del cultivo.

La estructura del maíz obtenida para el compostaje, compuesta por varias hojas y una inflorescencia que termina en varias ramificaciones. Información que de acuerdo a León et al.

(2018) el maíz, tiene abundantes hojas y un sistema radical fibroso (FAO, 2015), y a su vez, la parte superior de la planta termina en inflorescencia la misma que contiene una espiga central prominente y varias ramificaciones laterales (Guacho, 2014).

Figura 4

Muestras de Zea mays L. triturado



Así también, dentro de las características químicas más importantes en la elaboración del compostaje, son el carbono total y nitrógeno total; por lo que ya obtenidas las muestras de maíz (Figura 4), se realizaron análisis, los mismos que se muestran en la Tabla 6; donde promediando los valores se obtuvo 54,34 % de Carbono total y 1,20 % de Nitrógeno total. Ya con los valores de carbono y nitrógeno se logró una relación de 45/1 y un porcentaje de humedad de 10,97 %.

5.1.1.2. Caracterización de Retama (*Cytisus scoparius*)

Los restos de retama utilizadas dentro de esta investigación fueron obtenidas de una poda del arbusto, de aproximadamente 3 años de edad. Este arbusto según Taboada (2022), florece en los meses de Abril a Junio o Julio y a partir de Agosto hasta Marzo se da la fase de fructificación, por lo que los residuos recolectados se encontraban dentro de la etapa de fructificación.

Es un arbusto con hojas de una coloración verde y con flores amarillas y estructuralmente contiene unas ramas que son muy ramificadas y largas, con hojas pequeñas y de forma lanceolada, con frutos en forma de vaina y pequeñas semillas negras. Características que al ser

comparadas con el (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2012), dónde se afirma que las hojas son lanceoladas, pequeñas y peludas, que se ubican de forma alternada, con unas flores grandes y contienen un fruto en forma de vaina, que pueden encontrarse solas o en parejas, contienen 5 sépalos glabros que se unen en un tubo, el pétalo superior es más grande y amplio que los laterales, mientras que las dos inferiores se fusionan en una quilla curvada. El fruto es una legumbre de 45 mm de longitud, de coloración verde a negra casi marrón, comprimida, con pelos en los márgenes y que contienen alrededor de 5 a 22 semillas redondeadas y aplanadas, con un color marrón amarillento o verdoso (Taboada, 2022). Además es un arbusto que cuenta con una raíz muy larga y según Zuliani y Farji – Brener (2020), posee una raíz larga del tipo pivotante que es capaz de profundizar en el suelo.

Figura 5

Muestras de Cytisus scoparius triturado



Una vez realizadas las pruebas de determinación (Figura 5), se obtuvo como resultado para carbono total un 54,48 %, (Tabla 6) y para nitrógeno total se obtuvo un 1,11 %. Ya con los valores de carbono total y de nitrógeno total, se consiguió una relación C/N de 49/1. Así también y se obtuvo también una humedad de 11,4 %, cómo se muestra en la Tabla 6.

5.1.1.3. Caracterización de estiércol bovino

Según lo mencionado en metodología, se logró caracterizar al estiércol de bovino (Figura 6) como uno de los mejores restos pecuarios, debido a su alta diversidad de grupos microbianos intestinales, tales como; bacterias, hongos, arqueas y protozoos, además de que juegan un papel muy importante en la fermentación y descomposición de la materia vegetal.

Ya que según O'Donnell et al. (2017), el estiércol de ganado transporta ciertas especies bacterianas de forma asintomática, como; *Escherichia coli*, *Campylobacter spp.*, *Salmonella spp.* y *Listeria spp.* Así también, ciertos géneros como; *Faecalibacterium*, *Ruminococcus*, *Roseburia* y *Clostridium*, constituyen del 50 al 70 % del total de microorganismos en el sistema digestivo de los bovinos, debido a que éstos taxones microbianos ayudan a extraer energía y nutrientes de los alimentos (Pacheco-Torres et al. 2022). Las poblaciones de hongos son los encargados de degradar el material vegetal entre los que destacan Ascomycota, Basidiomycota y Chitrydiomycota. En el grupo de los protozoos se encuentran las clases Acantharea, Coccidiomorphea y Lobosa, mismas que son capaces de absorber bacterias y digerir material vegetal (Pacheco-Torres et al. 2022).

Figura 6

Muestras de estiércol bovino triturado



Así también dentro de sus características de Carbono total y Nitrógeno total ya analizadas en el laboratorio (Figura 6), en los mismos que se obtuvo valores de 42,75 % para Carbono total y 1,97 % para Nitrógeno Total (Tabla 6). Con los datos de carbono y nitrógeno obtenidos, se aplicó la fórmula para la determinación de carbono / nitrógeno en el que se obtuvo una relación de 22/1 y una humedad de 48 %.

5.1.1.4. Caracterización de estiércol ovino

Se caracterizó al estiércol de oveja (Figura 7), de acuerdo con la literatura como uno de los más equilibrados debido a que contiene nutrientes que son esenciales en el crecimiento de las plantas entre los que se encuentra el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Además el ambiente anaeróbico reducido del rumen, permite la existencia de poblaciones microbianas como; bacterias, protozoarios, arqueas y hongos (Castillo-Lopez y Domínguez-Ordóñez, 2019).

Y de acuerdo con Higuera (2012) los filos bacterianos más abundantes en la materia fecal, son; *Bacteroidetes*, que componen alrededor del 75 % de la población microbiana total; a su vez, *Prevotella* que forma el 20 %. Dentro de las especies más predominantes de protozoarios se encuentran *Entodinium*, *Metadinium*, *Diploplastron*, *Polyplastron* y *Diplodinium*, y más del 90 % de la población de protozoarios pertenece a la clase Litostomatea, que incluyen dos grupos *Haptorina* y *Trichostomatia*. Así también, los géneros de hongos más abundantes son Ascomycota con un 27 %, Basidiomycota 3 % y Neocallimastigomycota 1 % de la población fúngica en la materia fecal (Castillo-Lopez y Domínguez-Ordóñez, 2019). Finalmente, dentro del filo de arqueas en mayor cantidad es Euryarchaeota, que logra el 99 % de la población de arqueas y dentro del género más numeroso está *Methanobrevibacter* que representa aproximadamente el 91 % (Higuera 2012).

Figura 7

Muestras de estiércol de ovino triturado



Así también, cómo se muestran en la Tabla 6; dentro de las características de Carbono total se alcanzó un valor de 29,32 % y de Nitrógeno total un valor de 1,49 %. Es así que evaluados los valores de carbono y nitrógeno se realizó la relación C/N, logrando un resultado de 20/1. Además alcanzó una humedad de 11,40 %.

5.1.1.5. Identificación de carbono, nitrógeno y C/N de la materia prima

Previa a la implementación del ensayo se realizaron análisis de la materia prima de los diferentes residuos tanto vegetales como animales que se iban a utilizar, en la que se determinó en laboratorio el contenido de carbono orgánico total, nitrógeno total, la relación C/N y la humedad de cada uno de los residuos a utilizar.

Es así que, en la Tabla 6, se muestran los resultados de los análisis que se llevaron a cabo de cada materia prima, dónde se evidencia que el estiércol de bovino, residuos de maíz y de retama son los que mayor contenido de carbono poseen con valores de 42,75 %, 54,34 % y 54,48 % respectivamente, a diferencia del estiércol de ovino con un 29,32 %. A su vez los valores

encontrados para el porcentaje de nitrógeno total los valores se encuentran entre 1,11 % en los residuos de retama y 1,97 % en el estiércol de bovino.

Cómo se muestra en la Tabla 6, la relación C/N de los residuos del material inicial a compostar, en el estiércoles de bovino con 22/1 y ovino 20/1, a diferencia de los residuos de maíz y retama que son relaciones altas de 45 y 49, respectivamente.

Tabla 6

Resultados de los análisis de carbono, nitrógeno y C/N del material a compostar

Materia Prima	Carbono total (%)	Nitrógeno total (%)	C/N
Estiércol de bovino	42,75	1,97	22
Estiércol de ovino	29,32	1,49	20
Residuos de maíz	54,34	1,20	45
Residuos de retama	54,48	1,11	49

Según los resultados obtenidos con respecto al estiércol de bovino y al ser comparados con los datos obtenidos por Del Pino et al. (2008), en el que presentó valores de carbono total de 381,4 g/kg, que en porcentaje equivaldrían a 38,14 % y un valor para nitrógeno total de 2,18 %, por lo que concuerda con los datos que se obtuvieron en este estudio, de la misma manera los valores de C/N son similares a los obtenidos por Cegarra (2010), en el que se obtuvo 20/1

En los datos de estiércol de ovino obtenidos y a comparación de con Tortosa et al. (2012), quién consiguió valores parecidos de Carbono total con 25,2 % de y Amante-Orozco et al. (2019) que en su estudio obtuvo un valor de 1,70 % de nitrógeno total y según Belleza (2015) una relación de 21/1 y mencionando que la relación adecuada del estiércol de ovino varía entre 20/1 a 30/1; por lo que los datos concuerdan con lo mencionado.

De acuerdo a los datos de maíz, los resultados presentados de carbono total, son similares a los de Álvarez-Solís et al. (2010), quién obtuvo un contenido de carbono de 504,0 g/kg, que convertidos serían 50,40 %. A su vez, los datos de nitrógeno total, son similares a los mencionados por Martínez et al. (2014), el mismo que obtuvo 1,31 %. Y la relación C/N se encuentra dentro de la relación óptima mencionada por Gonzáles-Cifuentes (2022), que es de 42/1 a 48/1.

Finalmente los resultados obtenidos para retama, que pueden ser comparados con los obtenidos por Montero et al. (2013), dónde se alcanzó resultados de 50,04 % de carbono total y según por Oliver et al. (2002), dónde se logró un 1.22 %. Y la relación C/N de retama puede ser comparado en el estudio realizado por Oliver et al. (2002), en el que se obtuvo una relación de 42/1, el mismo que puede deberse a que el material a compostar aún se encontraba fresco por lo que contenía mayor cantidad de carbono.

5.2. Fase de campo

5.2.1. Temperatura (%)

En el presente estudio, las tomas de temperatura para todos los tratamientos y sus respectivas repeticiones fueron realizadas en tres lugares diferentes (parte media, baja y alta); por lo que en la Tabla 7 se presentan los diferentes valores de temperatura obtenidas para todos los tratamientos.

Para el tratamiento 1 compuesta por una mezcla de residuos de maíz (45 kg) + estiércol de bovino (15 kg). En los datos que se obtuvieron en este tratamiento, llegó a alcanzar la etapa mesófila I en el día 6 con temperaturas de 46,0 °C en la parte baja, 47,5 °C en la parte media y 45,1 °C, en la parte alta, iniciando con la fase termófila o de higienización, dentro de esta fase se evidencia un incremento de temperatura alcanzando un valor máximo de 63,3 °C en la parte baja, 65,0 °C en la parte media y 61,7 °C en la parte alta a los 43 días. A partir del 64 y con una temperatura de 41,4 °C en la parte baja, 43,1 °C en la parte media y 40 °C en la parte alta, empieza la fase mesófila II, hasta llegar al día 75 y con temperaturas de 32,8 °C en la parte baja,

35,0 °C en la parte media y 31,1 °C en la parte alta, inicia la fase de maduración hasta el día 156, dónde la temperatura alcanzada son menores a 35°C y temperatura ambiente.

Con respecto al tratamiento 2 (T2), el mismo que está compuesto por residuos de maíz (15 kg) + estiércol de ovino (45 kg). En este tratamiento, la fase mesófila I fue alcanzada a los 5 días con una temperatura de 45,7 °C en la parte baja, 47,9 °C en la parte media y los 43,9 °C en la parte alta. A partir del día 6 el compostaje pasó a la fase termófila o de higienización ya que empezó a ascender y alcanzar temperaturas máximas de 63,8 °C en la parte baja, 65,8 °C en la parte media y 62,9 °C en la parte alta, a los 46 días. Desde el día 64 empieza la fase mesófila II, pues su temperatura fue menor a los 45 °C, con valores de 42,0 °C en la parte baja, 43,9 °C en la parte media y 40,5 °C en la parte alta. Finalmente desde el día 80, llega a la fase de maduración con temperaturas menores a 35°C, con una temperatura de 32,6 °C en la parte baja, 33,6 °C en la parte media y con 31,8 °C en la parte alta.

De la misma manera los resultados para el tratamiento 3, mismo que estuvo compuesto por la mezcla de estiércol de bovino (45 kg) + residuos de retama (15 kg). Este tratamiento alcanzó la etapa mesófila I a los 7 días, con una temperatura de 46,3 °C en la parte baja, 48,5 °C en la parte media y los 44,4 °C en la parte alta, sobrepasando los 45 °C. Dando paso a la fase termófila y con la temperatura en constante aumento a los 46 días, el compostaje alcanzó los valores máximos de 60,9 °C en la parte baja, 63,1 °C en la parte media y 59,9 en la parte alta. A partir del día 62, se evidencia la fase mesófila II, debido a que la temperatura que se presentó, fue menor a 45 °C, obteniendo valores de 43,9 °C en la parte baja, 45,8 °C en la parte media y 42,8 °C en la parte alta. Y así a partir del día 77 se inicia la fase de maduración con valores menores a los 35 °C llegó a mantenerse en una temperatura de 33,4 °C en la parte baja, 35,4 °C en la parte media y 31,3 °C en la parte alta.

Finalmente los resultados del tratamiento 4 (T4) compuesto por estiércol de ovino (45 kg) + residuos de retama (15 kg), alcanzó la fase mesófila ya que la temperatura llegó a superar los 45 °C de la fase mesófila a los 6 días, con datos de 46,6 °C en la parte baja, 48,8 °C en la parte media y 45,0 °C en la parte alta. Ya superada la primera etapa y a partir del día 7, la temperatura siguió en aumento y se da paso a la fase termófila o también conocida como la fase de

higienización, en la misma que se llega a alcanzar temperaturas máximas de 62,9 °C en la parte baja, 65,1 °C en la parte media y 62,0 °C en la parte alta en el día 35, durando alrededor de 29 días en la segunda etapa. A partir del día 65 días se evidencia la fase mesófila II, pues la temperatura es menor a los 45 °C con datos de 43,1 °C en la parte baja, 43,9 °C en la parte media y 40,6 °C en la parte alta, estos valores se mantienen hasta el día 82, dónde debido a una baja en la temperatura con datos menores a los 35 °C se evidencia la fase de maduración.

Tabla 7

Evolución de la temperatura en los tratamientos, durante el proceso de compostaje

Etapas	Parte muestreada	Días	T1 °C	Días	T2 °C	Días	T3 °C	Días	T4 °C
Temperatura inicial	Baja		28,8		26,7		27,4		28,5
	Media	1	30,4	1	28,0	1	28,9	1	30,0
	Alta		26,5		24,7		25,8		27,4
Fase mesófila	Baja		46,0		45,7		46,3		46,6
	Media	6	47,5	5	47,9	7	48,5	6	48,8
	Alta		45,1		43,9		44,4		45,0
Fase termófila	Baja		63,6		63,8		60,9		62,9
	Media	43	65,0	46	65,8	46	63,1	35	65,1
	Alta		61,7		62,9		59,9		62,0
Fase mesófila II	Baja		41,4		42,0		43,9		43,1
	Media	64	43,1	64	43,9	62	45,8	65	43,9
	Alta		40,0		40,5		42,8		40,6
	Baja		32,8		32,6		33,4		31,8
	Media	75	35,0	80	33,6	77	35,4	82	34,0

Fase de maduración	Alta		31,1		31,8		31,3		30,8
	Baja		19,0		18,7		19,0		19,6
Temperatura final	Media	156	20,6	156	20,4	156	20,5	156	21,3
	Alta		17,4		17,9		17,9		18,0

Como se muestran en la Tabla 7, los 4 tratamientos, mostraron bajos niveles de temperatura al inicio del proceso de compostaje, los mismos que oscilaron entre 24,7 °C (T2, en la parte alta) y 30,4 °C (T1, en la parte media). Los resultados muestran que el T2 llegó a superar los 45 °C durante los primeros 5 días, seguido por el T1 en el día 6 y el T3 y T4 llegaron a exceder en el día 7, los mismos que a comparación con Mendoza (2012), quién menciona que la temperatura logra alcanzar la fase mesófila en 4 días aproximadamente, esto puede relacionarse con la insuficiente cantidad de materia orgánica; ya que según la FAO (2013), los microorganismos necesitan suficiente nitrógeno para poder generar enzimas y proteínas y así aumentar la actividad microbiana e igual el nivel de temperatura.

A partir de la segunda semana y ya en la fase termófila, todos los tratamientos aumentaron gradualmente la temperatura, superando los 60 °C, entre los 35 a 46 días, llegando a alcanzar un máximo de temperatura de T1:65 °C (parte media), T2: 65,8 °C (parte media), T3:63,1 °C (parte media) y T4:65,1 °C (parte media). Los resultados obtenidos concuerdan con lo mencionado por Mendoza (2012), quién afirma que en la semana 10 el compostaje se encuentra en la etapa termófila y debe tener temperaturas entre 45 °C y 66 °C. Pero en el estudio realizado la temperatura tendió a alcanzar esos valores dentro de la semana 5 y 6, esto puede relacionarse con el riego y volteo realizado en el día 13, lo que ayudaría a la reactivación de la actividad microbiana, evidenciándose en el nuevo aumento de la temperatura. Además según menciona Hidalgo (2019) la temperatura es uno de los parámetros más importantes en el proceso de biodegradación de la materia orgánica, debido a su relación con la actividad biológica, ya que el incremento en la temperatura de la abonera es el resultado de la reacción anabólica y

catabólica celular en el proceso de compostaje; el mismo que tiene dos efectos importantes: acelerar la descomposición y eliminar o disminuir las poblaciones de los microorganismos patogénicos existentes, además de eliminar a través de altas temperaturas (pasteurización) las larvas de moscas presentes en los materiales utilizados en el proceso (Rojas y Zeledón, 2007).

Con el descenso de la temperatura a partir de los 62 a 65 días, se considera el inicio de la fase mesófila II, dónde, el valor al que desciende la temperatura es menor a 45 °C, manteniendo en el T1:43,1 °C (parte media) , T2:43,9 °C (parte media) , T3:45,8 °C (parte media) y T4:43,9 °C (parte media), resultados que a comparación con Parra (2008), también se encuentran bajo ese valor de temperatura, esto debido a que los microorganismos termófilos comenzaron con la metabolización de los sustratos simples, quedando en una degradación lenta el material orgánico más resistente.

Entre los 75 a 82 días, los 4 tratamientos disminuyeron gradualmente su temperatura hasta valores menores a 35 °C y alcanzando datos finales de; T1:35 °C (parte media), T2:33,6 °C (parte media), T3:35,4 °C (parte media) y T4:34,0 °C (parte media), logrando una estabilización de los materiales. A comparación de Hidalgo (2019) ésta decreciente y constante de temperatura, se considera un buen indicador de la fase final y de que el compost ha alcanzado su grado de madurez.

5.2.2. Humedad (%)

El control de humedad se realizó desde la primera semana de la implementación y dos veces por semana, los días domingos y miércoles, los datos fueron tomados en los 4 tratamientos, juntamente con cada una de sus repeticiones, los que fueron promediados por tratamiento.

En la Tabla 8, se muestra los promedios de humedad, con respecto a los 4 tratamientos, en el mismo que se observaron valores iniciales de: T1:48 %, T2:47 %, T3:49 % y T4: 48,5 %; y llegando a la fase mesófila en la semana 1 con una humedad de T1:47,5 %, T2:46 %, T3:47 % y T4:47 %, por lo que se realizó un primer riego en la segunda semana, lo que provocó un ascenso de humedad que se mantuvo en aumento hasta alcanzar la semana 6 en la que comenzó una disminución en la humedad por lo que se volvió a realizar el riego en la semana 7 ya en la

fase termófila con valores de T1:49,5 %, T2:49 %, T3:50 % y el T4:51,5 %. En la fase mesófila II (semana 10), la humedad llega a alcanzar un pico con valores de T1:51,5 %, T2:52,5 %, T3:51,5 % y T4:52 %. A partir de la semana 11 (fase de maduración), se inicia un descenso por lo que en la semana 13 se realizó el último riego y a partir de entonces la humedad se mantuvo constante finalizando el proceso de compostaje en la semana 23, con un porcentaje de humedad de T1:47,5 %, T2:47 %, T3:48 % y T4:48,5 %.

Tabla 8

Evolución de la humedad en los tratamientos, durante el proceso de compostaje

Etapas	Semanas	T1	Semanas	T2	Semanas	T3	Semanas	T4
		%		%		%		%
Humedad inicial	1	48	1	47	1	49	1	48,5
Fase mesófila I	1	47,5	1	46,5	1	47	1	47
Fase termófila	7	49,5	7	49	7	50	5	51,5
Fase mesófila II	10	51,5	10	52,5	9	51,5	10	52
Fase de maduración	11	49,5	12	48,5	11	50	12	50,5
Humedad final	23	47,5	23	47	23	48	23	48,5

Nota. T1= Residuo vegetal (maíz) + estiércol bovino

T2= Residuo vegetal (maíz) + estiércol ovino

T3= Residuo poda (retama) + estiércol bovino

T4= Residuo poda (retama) + estiércol ovino

Los resultados obtenidos concuerdan con lo mencionado por Vega (2016), quién menciona que durante la primera semana (fase mesofílica), puede existir un descenso de la humedad, y de acuerdo a lo que menciona Guasco y Jaramillo (2015) la baja de humedad puede deberse a la falta de riego o a la escasa presencia de material a compostar.

Así también, la evolución de la humedad, experimenta una baja durante la fase mesófila y termófila (durante las primeras 6 semanas), resultados semejantes se reportaron en la investigación realizada por Deltoro (2020-2021), quién estudió el proceso de compostaje y evaluó la humedad, misma que descendió en la primeras dos fases del compostaje, debido al calor que se generó por la actividad microbiana provocando una evaporación del agua de las mezclas a compostar. En otros estudios de Rojas y Zeledón (2007), sobre compostaje de restos de maíz, el rango de resultados fue similar, la humedad de las mezclas a compostar estaba en 60 %.

Todos estos valores obtenidos en la investigación se encuentran dentro de los rangos mencionado por García (2020), quién afirma que el contenido de humedad óptimo para el proceso de compostaje está comprendido entre el 40 - 60 %, garantizando una eficiente actividad microbiana, ya que según Vega (2016), la humedad es un factor necesario dentro del proceso de compostaje, debido a que ayuda a que los microorganismos logren transportar nutrientes a través del agua.

5.2.3. Carbono orgánico total (%)

Al realizar la prueba de normalidad Shapiro – Wilks para la variable carbono orgánico total se obtuvo un p-valor de 0,5203 mostrando la existencia de una distribución normal, debido a que el p-valor es superior a 0,05. De la misma manera mediante la prueba de Bartlett, se determinó la homogeneidad de las varianzas, la misma que muestra que los datos presentan homocedasticidad, debido a que el p-valor es 0,9844 siendo mayor a 0,05.

Debido a que los datos de la variable carbono orgánico total, presentaron normalidad y homogeneidad, se realizó el análisis de varianza ANOVA, como se muestra en la Tabla 9, en el mismo que se hallaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al estiércol y los

residuos, a diferencia de la interacción (A x B) donde no hubo significancia estadística. Además contienen un coeficiente de variación de 3,07 % bajo, mismo que indica que no existe una gran variación, determinando que el manejo del proceso de compostaje fue adecuado.

Tabla 9

Análisis de varianza ANOVA, para la variable carbono orgánico total, dentro del proceso de compostaje

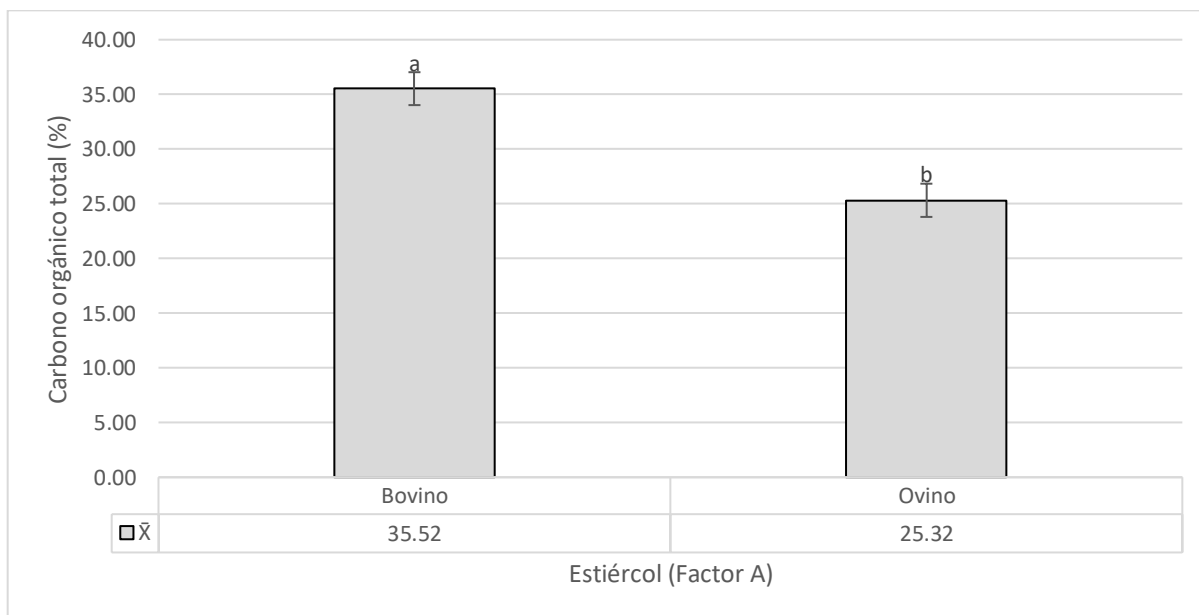
F.V.	GL	SC	CM	F	P-valor	Significancia
Estiércol (Factor A)	1	312,53	312,53	358,939	$6,23 \times 10^{-8}$	***
Residuos (Factor B)	1	15,82	15,82	18,174	0,00275	**
Interacción (A x B)	1	0,06	0,06	0,064	0,80614	Ns
Error	8	6,97	0,87			
Promedio (%)	30,42					
CV (%)	3,07					

Al existir una diferencia estadística significativa entre los distintos tratamientos para la variable carbono total, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

Debido a la significancia obtenida en el F.V. estiércol (Factor A), se realizó la prueba de Tukey, en el que se obtuvo los resultados que se muestran en la Figura 8, donde se indica la existencia de 2 rangos de significancia, el rango a donde se encuentra el estiércol de bovino con 35,52 % de carbono orgánico total y en el rango b se encuentra el estiércol de ovino con 25,32 %.

Figura 8

Prueba de rango múltiple Tukey para estiércol (Factor A), dentro de la variable carbono total

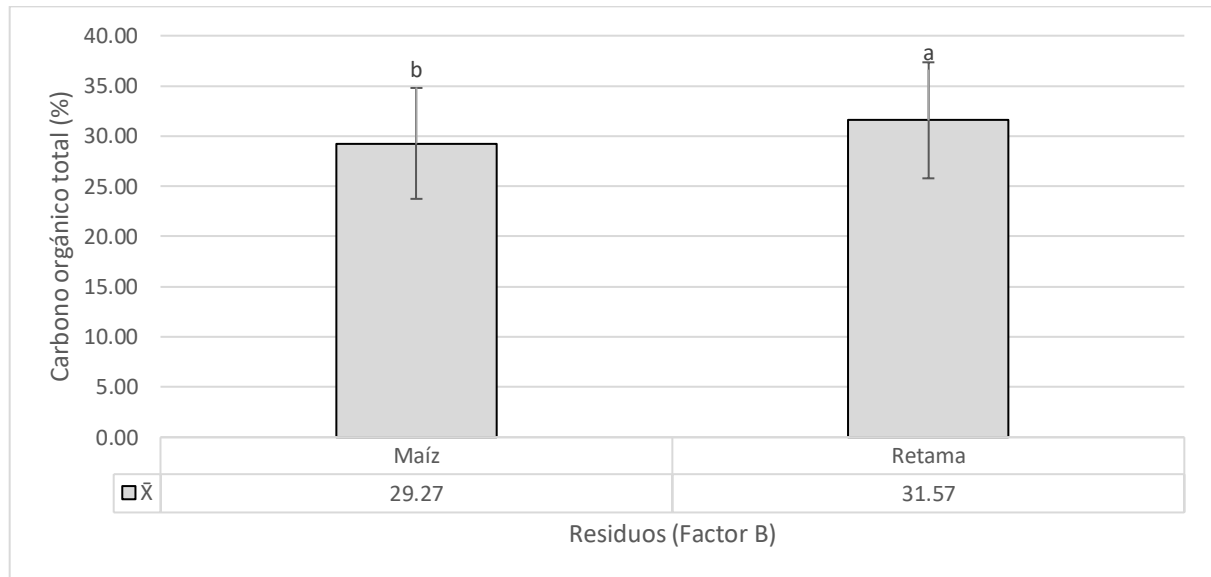


Según Mendoza (2012), menciona que el porcentaje de carbono que se obtuvo en su investigación, con respecto al estiércol de bovino es de 32,06 % y según Ramírez (2017), al finalizar el proceso del compostaje obtuvo un valor de 37,58 %, valores que son similares a los obtenidos dentro de este estudio. De la misma manera, Tortosa et al. (2012), obtuvo un valor de 25,2 % siendo un valor igual al obtenido.

Así también la prueba Tukey realizada, con respecto a los residuos (Factor B), dejó en evidencia una diferencia significativa, con la existencia de dos rangos, dentro del rango a se encuentra la retama con 31,57 % y dentro del rango b se ubica el maíz con 29,27 % de carbono orgánico total, demostrando que estadísticamente son diferentes, cómo se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Prueba de rango múltiple Tukey para residuos (Factor B), dentro de la variable carbono total

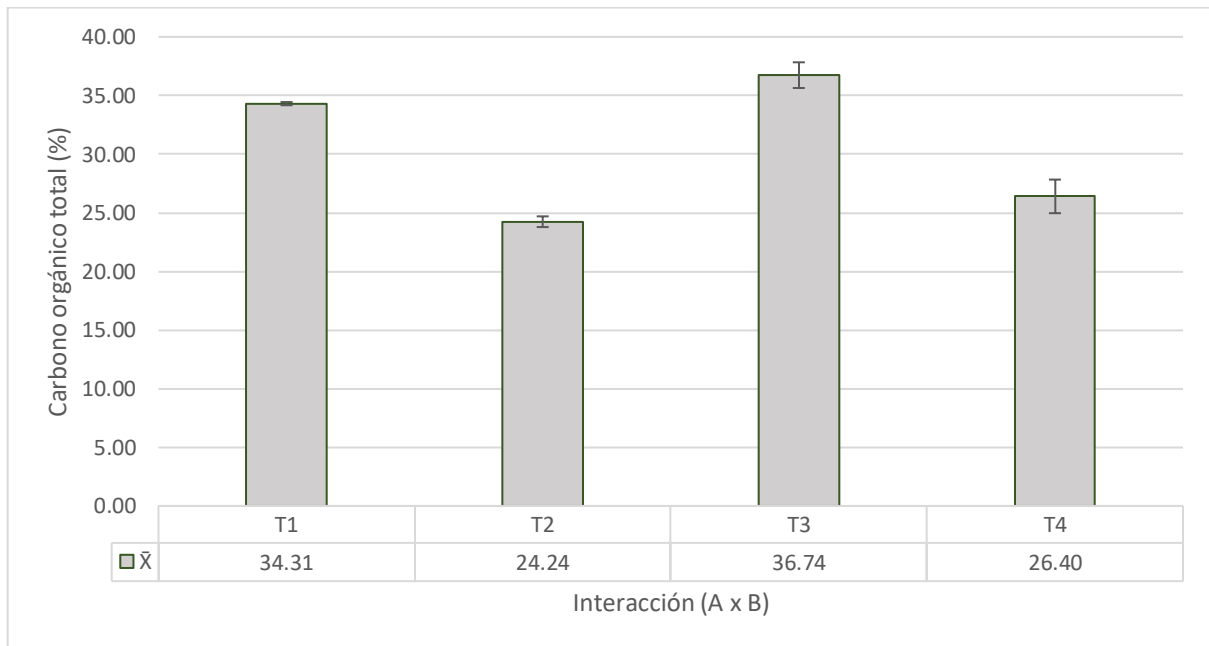


De acuerdo a los valores que se obtuvieron y a comparación con una investigación realizada por Álvarez-Solís et al. (2010), quién consiguió un valor de 30,12 % con respecto al maíz, confirmando que los valores son adecuados. De la misma forma y según Oliver et al. (2002), en un estudio con retama llegó a alcanzar un rango desde 22,33 % a 33,6 %; con respecto al carbono orgánico total; dónde los valores obtenidos se encuentran dentro de esos valores.

Al no existir diferencias estadísticas significativas dentro de la Interacción de estiércol y residuos (A x B), se pudo evidenciar un solo rango como se indica en la Figura 10. Es así que se obtuvo de promedio para el T1:34,30 % y T3:36,74 %, que fueron mezclas de estiércol de bovino + residuos de maíz y estiércol de bovino + residuos de retama, respectivamente obtuvieron el mayor porcentaje de carbono en el compost maduro; a diferencia de los tratamientos T2:24,24 % y T4:26,40 %, los cuales estaban compuestos por estiércol de ovino + residuos de maíz y estiércol de ovino + residuos de retama, demostrando que estadísticamente son iguales.

Figura 10

Análisis de la comparación de promedios para Interacción (A x B), dentro de la variable carbono total



De acuerdo a la Figura 10, los resultados que se obtuvieron en este experimento para la interacción dentro de la variable carbono total, a comparación con lo mencionado por López (2010), quién determinó el contenido de carbono orgánico total en compost en base a estiércol y restos de maíz, se obtuvo un valor de 42,25 % y en otro estudio realizado por (Romero-Figueroa et al. 2015), se obtuvo valores de 35 % y en tratamientos realizados con restos de retama se obtuvo un valor de 47,44 % (Martínez-Cordeiro, 2014), de la misma manera en experimentos realizados con otros tipos de estiércol, el porcentaje del carbono es de 41,9 % (Orrala, 2021) y de 38,4 % (Colín-Navarro, 2018).

Lo encontrado en este estudio, permite determinar que los materiales orgánicos que se utilizaron en este experimento, poseían una mayor cantidad de componentes orgánicos como lo son los restos de retama y maíz que contenían una mayor cantidad de carbono (Rojas y Zeledón, 2007).

5.2.4. Nitrógeno total (%)

Dentro de la variable nitrógeno total, se evidenció la existencia de una distribución normal por medio de la prueba de normalidad Shapiro-Wilks, obteniendo un p-valor de 0,7823, siendo mayor a 0,05 y por medio de la prueba de Bartlett, se determinó la homogeneidad de varianzas; en la que se aprecia una homocedasticidad, ya que el p-valor es 0,5425 siendo mayor a 0,05.

Al obtener valores positivos en cuanto a normalidad y homogeneidad dentro de la variable nitrógeno total, se realizó el análisis de varianza ANOVA como se muestra en la Tabla 10, para así poder determinar las diferencias significativas entre los factores; en el mismo que se encontró significancia en el estiércol (Factor A) y en la Interacción (A x B) a diferencia de los residuos (Factor B), en la que no se encontró una significancia estadística. De la misma manera el coeficiente de variación obtenido para esta variable es de 1,32 % demostrando que no existe una gran variación entre los datos.

Tabla 10

Análisis de varianza ANOVA, para la variable nitrógeno total, dentro del proceso de compostaje

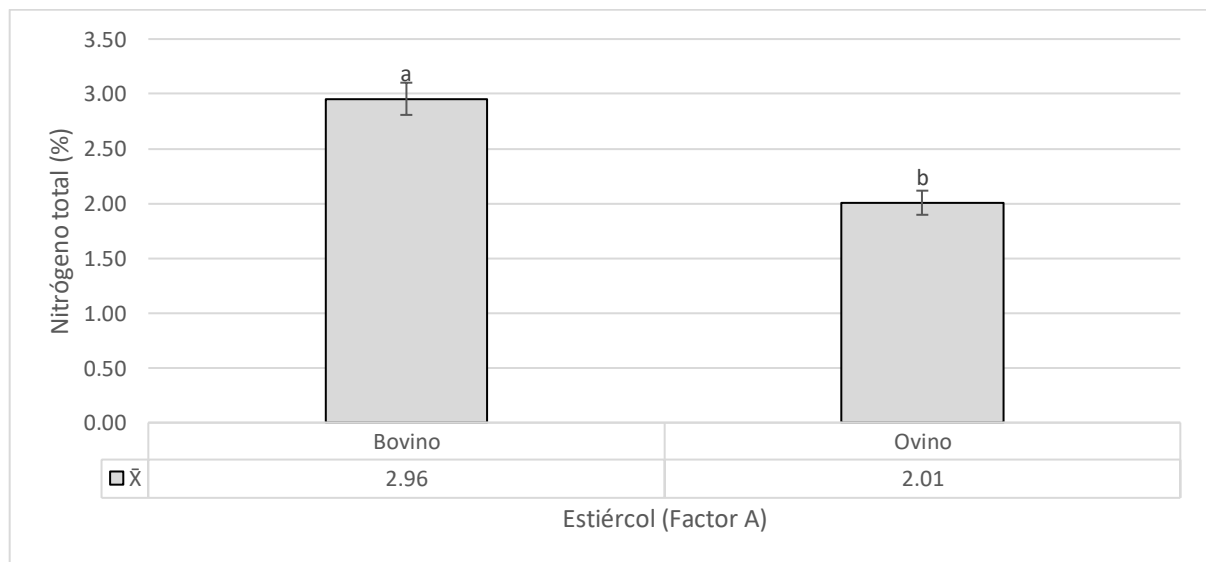
F.V.	GL	SC	CM	F	P-valor	Significancia
Estiércol (Factor A)	1	2,6980	2,6980	2509,77 5	$2,97 \times 10^{-11}$	***
Residuos (Factor B)	1	0,0037	0,0037	3,419	0,102	Ns
Interacción (A x B)	1	0,1564	0,1564	145,496	$2,06 \times 10^{-6}$	***
Error	8	0,0086	0,0011			
Promedio (%)	2,48					
CV (%)	1,32					

Al realizar el análisis de varianza para la variable nitrógeno total, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos por lo que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la nula.

Al existir una diferencia significativa dentro del estiércol (Factor A), se realizó la prueba de Tukey, en la que se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 11, mostrando la existencia de 2 rangos de significancia; dentro del rango a se encuentra el estiércol de bovino con un promedio de 2,96 % y en el rango b se encuentra el estiércol de ovino con 2,01 % de nitrógeno total.

Figura 11

Prueba de rango múltiple Tukey para estiércol (Factor A), dentro de la variable nitrógeno total



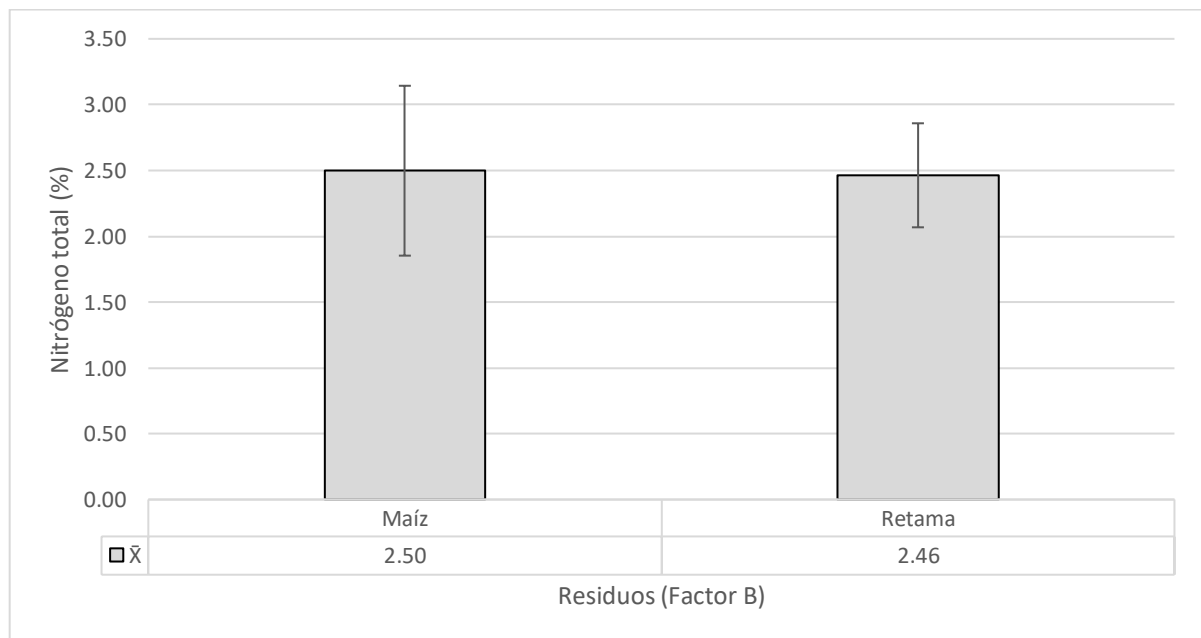
Los datos obtenidos y comparados con Hernández-Rodríguez et al. (2013), quién realizó una investigación sobre la composición de residuos obtuvo un 2,30 % de nitrógeno total y según Tortosa et al. (2012), el porcentaje de nitrógeno de estiércol de bovino puede variar entre 1,2 % a 3,5 %, demostrando entonces que el valor obtenido en el experimento se encuentra dentro del rango mencionado. Con respecto al porcentaje de ovino Tortosa et al. (2012), menciona que el nitrógeno total es de 1,77 % y según Miranda et al. (2014), el contenido de nitrógeno total

obtenido en su estudio, va de 2,11 % a 2,21 % y en el estudio realizado por Ramírez (2017) el nitrógeno total es de 1,99 %. Siendo valores muy similares a los que se obtuvieron en este experimento.

Dentro del factor B, perteneciente a residuos se determinó que no existieron diferencias significativas entre los dos residuos que se llegaron a utilizar, existiendo un solo rango al que pertenecen tanto los residuos de maíz con 2,50 % de nitrógeno total y los residuos de retama con 2,46 % de nitrógeno total, como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Análisis de la comparación de promedios residuos (Factor B), dentro de la variable nitrógeno total

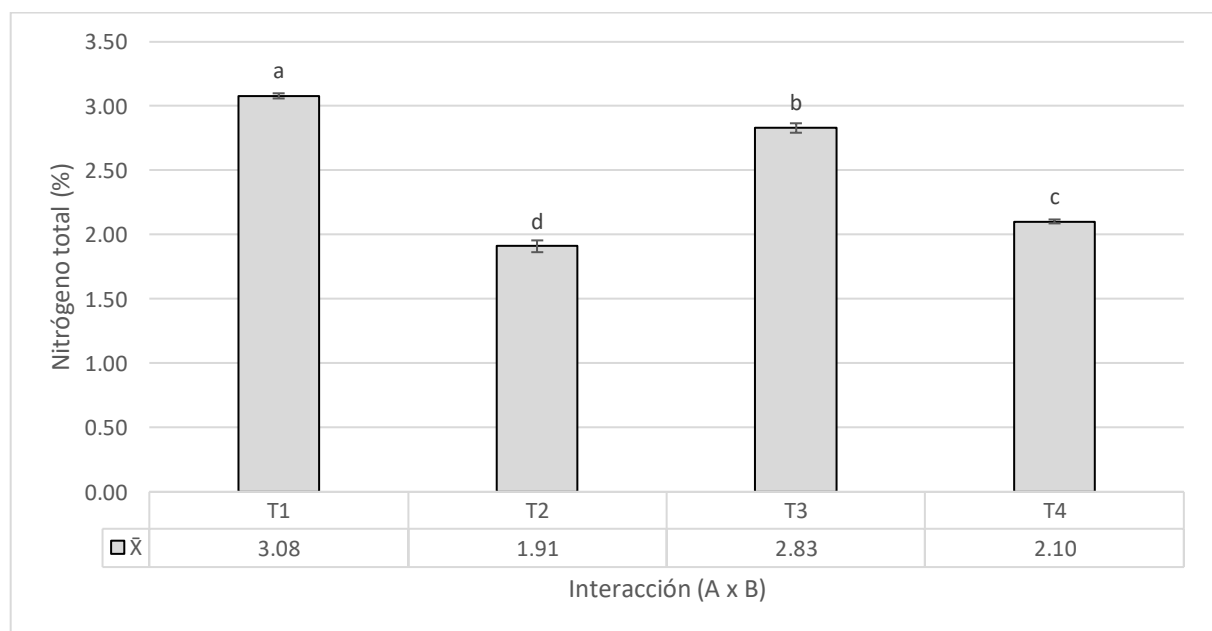


De acuerdo a los valores obtenidos y comparados con Delgado et al. (2019), quién realizó compost en base a residuos de maíz y estiércol avícola, menciona que los valores de nitrógeno total en el maíz al final del proceso del compost van de 2,31 % a 3,05 % y según Orrala (2021), obtuvo un valor de 2,06 % de nitrógeno total de maíz. Los resultados de retama a su vez, son similares a los obtenidos por Oliver et al. (2002), el mismo que obtuvo valores de entre 1,22 % a 3,5 % de nitrógeno total.

Al existir una diferencia significancia estadísticamente dentro de la interacción de estiércol y residuos y al realizarse la prueba Tukey, cómo se evidencia en la Figura 13, se comprobó la existencia de 4 rangos, dentro del rango a, se encuentra el T1 (estiércol de bovino + maíz) con 3,08 %, en el rango b, el T3 (estiércol de bovino + retama) con 2,83 %, en el rango c, se encuentra el T4 (estiércol de ovino + retama) con 2,10 % y dentro del rango d, el T2 (estiércol de ovino + maíz) con 1,91 % de nitrógeno total. Estos valores pertenecientes a nitrógeno total indican que estadísticamente todos los valores entre los cuatro tratamientos son diferentes.

Figura 13

Prueba de rango múltiple Tukey para la Interacción (A x B), dentro de la variable nitrógeno total



Estos resultados fueron semejantes a los que se reportaron en la investigación realizada por (Hernández-Rodríguez et al. 2013), quienes evaluaron la calidad nutricional de cuatro compostas elaboradas a partir de estiércol bovino y restos de maíz, en la que se registraron valores de entre 1,4 % a 2,3 %, así también en retama valores de 3,84 % a 3,64 % (Martínez-Cordeiro et al. 2014) y de 2,6 % en el estudio de Orrala, (2021), en la que afirma que estas características ayudan al mejor acondicionamiento al suelo y facilita el aprovechamiento de nutrientes por parte de la planta. Es así que, los resultados obtenidos para la variable nitrógeno

total, se encuentran dentro de los rangos permisibles de los parámetros químicos más significativos del compost de calidad, según (Mendoza, 2012), en el que menciona que se pueden encontrar entre rangos de 0,4 - 3,5 %.

Aunque, la diferencia de resultados entre los tratamientos, puede atribuirse a lo expuesto por (Ramírez, 2017), debido al control de la aireación en el proceso de compostaje, ya que una excesiva aireación puede dar lugar al consumo de compuestos húmicos formados y a una rápida mineralización de los mismos. Así también el alto o bajo contenido de nitrógeno es un factor responsable que determina la mayor o menor concentración de la población microbiana (Clavijo, 2014)

5.2.5. Relación C/N

Los datos obtenidos correspondientes a la variable C/N, presentan una distribución normal, al realizarse la prueba de Shapiro- Wilks y obtener un p-valor de 0,5433 y siendo mayor a 0,05. Así también a través de la prueba de Bartlett, se logró determinar la homogeneidad existente debido a que el p-valor fue de 0,1303 siendo superior a 0,05.

Debido a que los datos de la variable C/N, lograron cumplir con la normalidad y homogeneidad, se efectuó el análisis de varianza ANOVA, en donde se encontraron diferencias estadísticas significativas con respecto a residuos (Factor B) y a la interacción (A x B), a diferencia del estiércol (Factor A) que no obtuvo diferencia significativa. El coeficiente de varianza obtenido en esta variable fue de 3,58 % (Tabla 11), indicando que el porcentaje obtenido fue bajo y no existe una alta variación entre los datos y el manejo fue adecuado durante el proceso de compostaje.

Tabla 11

Análisis de varianza ANOVA, para la variable C/N, dentro del proceso de compostaje

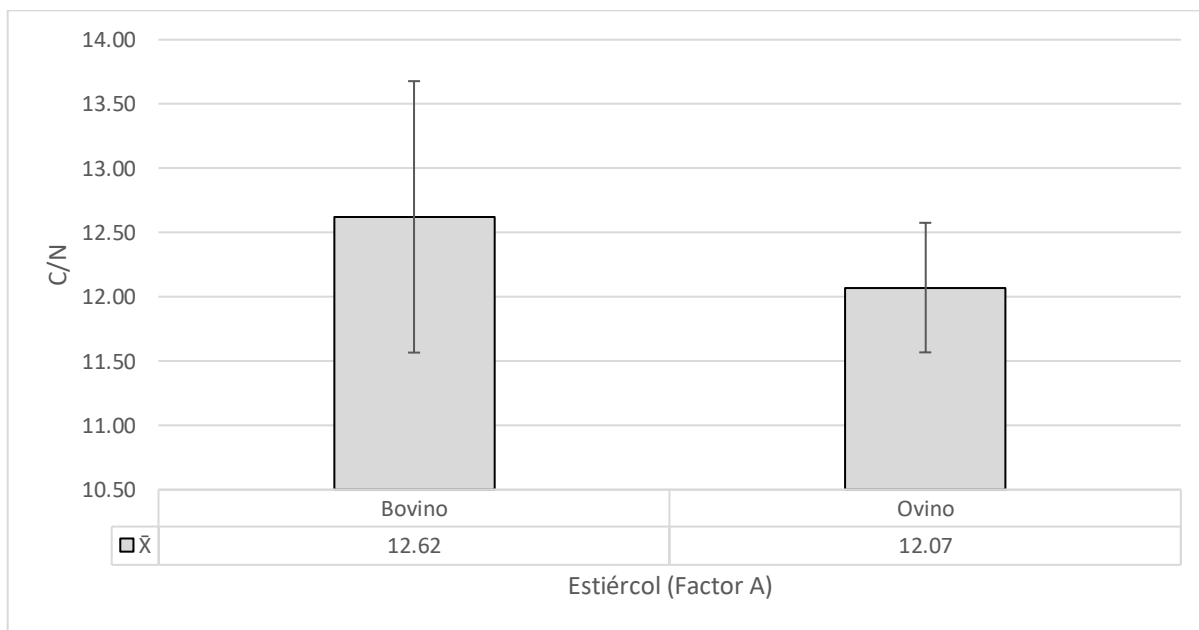
F.V.	GL	SC	CM	F	P-valor	Significancia
Estiércol (Factor A)	1	0,9075	0,9075	4,648	0,06320	Ns
Residuos (Factor B)	1	2,2188	2,2188	11,363	0,00977	**
Interacción (A x B)	1	3,0603	3,0603	15,673	0,00418	**
Error	8	1,5621	0,1953			
Promedio (%)	8,12					
CV (%)	3,58					

Al realizar el análisis de varianza para la variable de C/N, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

Al no existir una diferencia significativa entre los datos del estiércol (Factor A), queda en evidencia que hay un solo rango dónde se encuentran los dos tipos de estiércol demostrando que estadísticamente son iguales. Es así que se obtuvo una relación C/N de 12,62 para estiércol de bovino y 12,07 para estiércol de ovino. Cómo se evidencia en la Figura 14

Figura 14

Análisis de la comparación de promedios estiércol (Factor A), dentro de la variable C/N

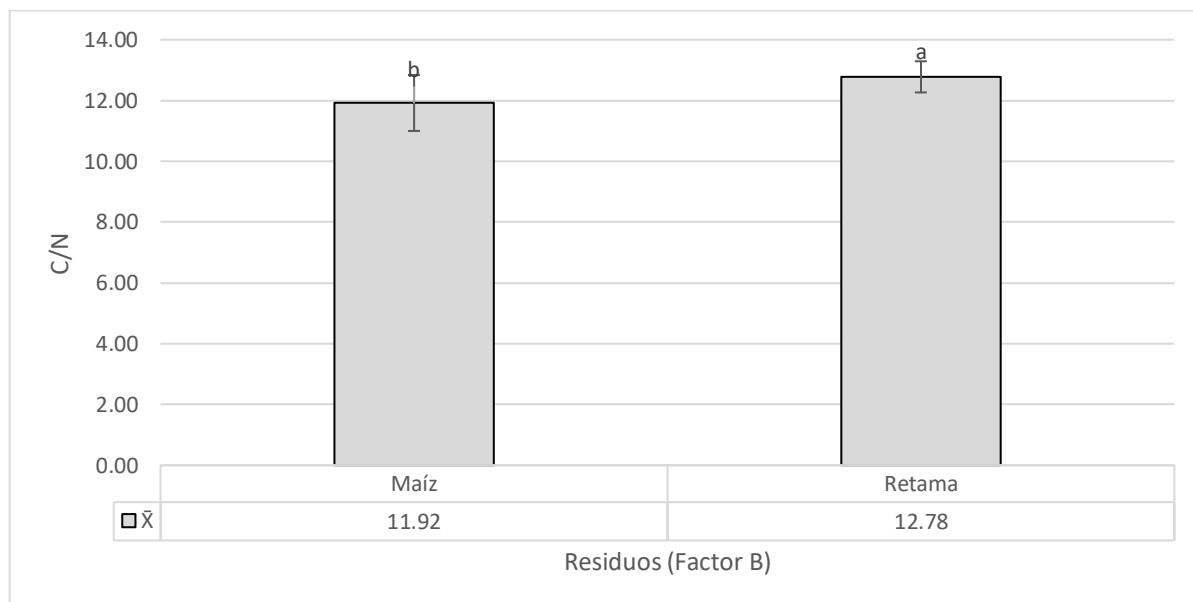


Los datos obtenidos y a comparación de los resultados obtenidos por Tortosa et al. (2012), quién menciona que los valores correspondientes a la relación C/N en el estiércol de bovino, van desde 9,3 a 16,1 a diferencia de Olivares-Campos et al. (2012) y así también según Leiva y Tapia (2020), obtuvo una relación C/N de 11,50. De la misma forma para el estiércol de ovino según Pírela-Almarza et al. (2018), menciona que la relación C/N es de 14,3 siendo valores similares a los obtenidos en el presente estudio.

Para los residuos (Factor B), en función de la relación C/N, se obtuvo una diferencia significativa estadísticamente, y ya realizada la prueba de Tukey, se obtuvo la existencia de dos rangos, en el rango a, se encuentra los residuos de retama con una relación de C/N de 12,78 y en el rango b, se encuentra los restos de maíz con una relación de 11,92, demostrando que son diferentes estadísticamente, como se muestran en la Figura 15.

Figura 15

Prueba de rango múltiple Tukey para residuos (Factor B), dentro de la variable C/N

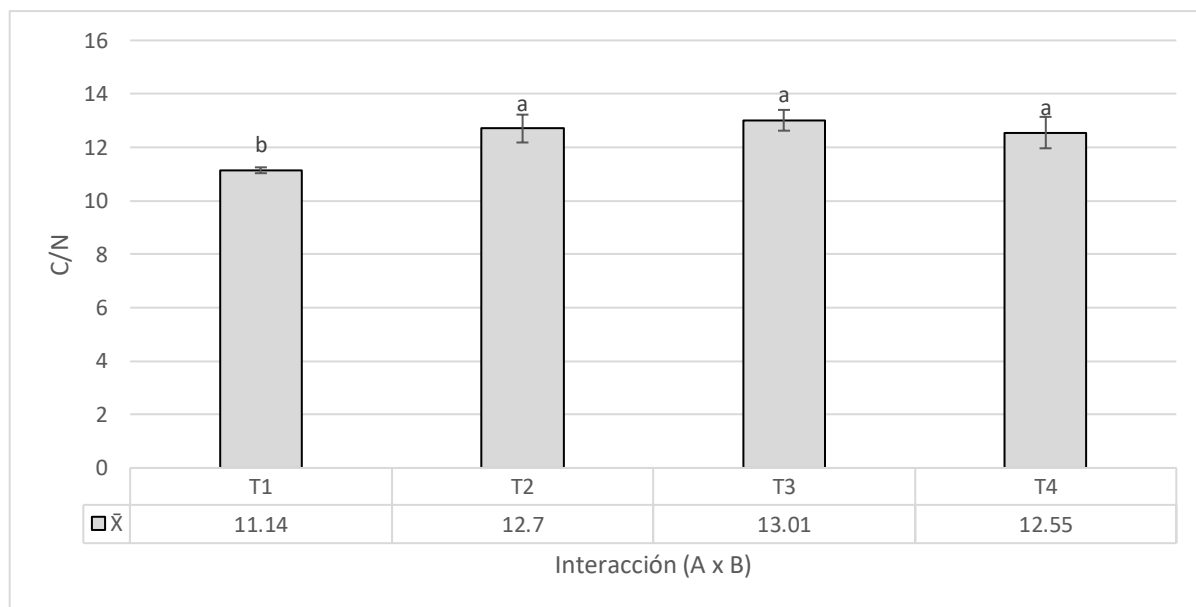


De acuerdo a Orrala (2021), menciona que la relación de C/N encontrada con respecto al compost de maíz es de 13,9/1 y según Oliver et al. (2002) quién en un estudio de compost de retama, el rango de C/N obtenido va desde 10,73/1 a 15/1, dejando en evidencia que el valor obtenido se encuentra dentro de ese rango establecido.

En la interacción de estiércol y residuos (A x B), al encontrarse una diferencia significativa, hallándose dos rangos de significancia, en la que dentro del rango a, se ubican los T2 (estiércol de ovino + restos de maíz) con 12,7, el T3 (estiércol de bovino + residuos de retama) con 13.01 y el T4 (estiércol de ovino + residuos de retama) con una relación de 12,55, y fueron los que consiguieron una mayor retención de C/N, a diferencia del T1 (estiércol de bovino + residuos de maíz), que obtuvo una relación de 11,14; dónde estadísticamente el T2, T3 y T4 son iguales entre ellos, pero son diferentes al T1. Cómo se indica en la Figura 16.

Figura 16

Prueba de rango múltiple Tukey para la Interacción (A x B), dentro de la variable C/N



Los datos obtenidos para los tratamientos T2, T3 y T4, en el que se observa valores mayores al T1, según Orrala (2021), puede deberse a que en esos tratamientos el contenido de carbono orgánico fue mayor que en el T1.

Los valores del presente experimento, coinciden con la investigación realizada por (Clavijo, 2014), en dónde se estudió el proceso del compostaje con estiércol y restos vegetales, obteniendo aproximados a 11,63, en mezclas de maíz entre 10 a 20 (Lopez, 2010), en retama con valores de 12,94 (Martínez-Cordeiro et al. 2014) y así también en diferentes compostas, cómo de estiércol ovino y restos de avena, se obtuvo un 19,03 (Flores y Núñez, 2005), 12,09 - 12,21 (Tovar, 2013) en especies agronómicas mezcladas con estiércol de ovino 12, (Franch, 2015).

Por otro lado, los parámetros ideales de un compost maduro, indicados por la FAO (2013), afirman que la relación de C/N debe encontrarse dentro del rango de 10/1 a 15/1, pues de esa manera se logra mantener un balance entre los materiales con una concentración de carbono y nitrógeno que son necesarios para un abono (Clavijo, 2014), y mostrando que tuvieron un buen grado de mineralización, estabilización y madurez; ya que las relaciones C/N que son mayores a 20 tienden a presentar una mayor inmovilización del nitrógeno en el suelo y las plantas llegan

a competir por el N (Lopez, 2010). Por lo que todos los tratamientos se encuentran con valores dentro de estos parámetros.

5.2.5.1. Relación C/N de las mezclas iniciales y finales de los tratamientos

La combinación o mezcla inicial de los tratamientos para el compostaje, se los realizó tomando en cuenta la relación C/N de cada material, como se lo muestra en la Tabla 6, en el que se obtuvo relaciones de 28,75/1 en el T3; 27,75 /1 en el T1; 27,25/1 en el T4 y 26,25 en el T2. De la misma manera se determinó la relación C/N de los tratamientos al final del experimento en los que se evidencia una disminución del C/N final, como se observa en la Tabla 12.

Tabla 12

Relación C/N de los tratamientos

Tratamientos	C/N Inicial	C/N Final
T1	27,75	11,14
T2	26,25	12,7
T3	28,75	13,01
T4	27,25	12,55

Nota. T1= Residuo vegetal (maíz) + estiércol bovino

T2= Residuo vegetal (maíz) + estiércol ovino

T3= Residuo poda (retama) + estiércol bovino

T4= Residuo poda (retama) + estiércol ovino

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron de la relación C/N al inicio del compostaje, todos los valores de los 4 tratamientos son valores que se encuentran dentro de los rangos de relación aceptables para iniciar el compostaje, como lo muestra Ramírez, (2017), en el que menciona que el rango aceptable es de 20/1 a 40/1, pero que la condición óptima va de 25/1 a 30/1. Por lo que los datos iniciales del experimento se encuentran dentro de los parámetros establecidos. De la misma manera, como lo menciona la FAO (2013), el C/N va disminuyendo debido a los microorganismos y a la volatilización de carbono y nitrógeno y cómo se indica en la Tabla 12, es evidente que los resultados obtenidos en este experimento se encuentran dentro de los rangos establecidos para un compost de buena calidad.

5.2.6. Ensayo de Fitotoxicidad

5.2.6.1. Germinación (%)

Los ensayos de fitotoxicidad, sirven para poder determinar el grado de madurez del compost o producto final. El índice de semillas se usa para poder establecer la toxicidad del producto final (Jalalipour et al. 2020).

Es así que, para poder determinar el porcentaje de germinación, se muestreó compost de cada repetición por cada tratamiento, las mismas que fueron tamizadas y luego se colocaron 6 semillas de avena en cada bolsa, para así luego del lapso de 7 días, dando como resultado y promediando por tratamiento un valor de 100 % de germinación en todos los tratamientos y el testigo (tierra), a excepción del T3 (estiércol de bovino + retama), que obtuvo un 88,88 %, cómo se observa en la Tabla 13.

Tabla 13*Determinación del porcentaje de germinación*

Tratamientos	Germinación %	Descripción
T1	100 %	Todas las semillas germinaron.
T2	100%	Todas las semillas germinaron.
T3	88,88%	Germinaron después del tiempo establecido, por lo que ya no se contabilizaron.
T4	100%	Todas las semillas germinaron.
Testigo (tierra)	100%	Todas las semillas germinaron.

Los resultados obtenidos en los cuatro tratamientos y en el testigo en el experimento realizado y a comparación con (Siles - Castellano et al., 2020), el mismo que determinó el índice de germinación de hortalizas en un compost indica que obtuvieron índices mayores a 80 %, lo que es indicativo de que no hubo sustancias fitotóxicas, o que se encuentran en concentraciones muy bajas, pero que presentan un buen grado de madurez o estabilidad.

A comparación con la literatura, el índice de germinación debe ser mayor a los 80 %, para poder ser considerado satisfactorio; ya que los valores menores a 50 % indican que el compost no ha llegado a alcanzar una buena estabilización (Clavijo, 2014), por lo que los valores obtenidos en el presente experimento han llegado a lograr una buena madurez o estabilidad.

5.2.7. Resultado final del compost

5.2.7.1. Cantidad de compost obtenido

Como se evidencia en la Tabla 14, dentro del proceso de compostaje existió una reducción del peso inicial. Dónde el peso inicial de los diferentes tratamientos fue de 60 kg, pero llegando a los 156 días con un peso de; en el T1:33 kg, T2:31 kg, T3: 35 kg y el T4: 34 kg.

Tabla 14

Kilogramos de compost obtenidos

Tratamiento	Kg de partida	Kg finales
T1	45+15	33
T2	45+15	31
T3	45+15	35
T4	45+15	34

Estos resultados van de acorde a lo mencionado por la FAO (2013), dónde se menciona que la pérdida de volumen dentro del compostaje puede ser desde los 12 %, hasta los 50 %, dependiendo de la cantidad de materia orgánica que pueda descomponerse. Así también, según Álvarez et al. (2021) éstas pérdidas se ocasionan por la presencia microbiana presente en el compostaje, que degradan el material orgánico procedente de los tejidos animales y vegetales.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- En la comunidad de Pisambilla, se logró caracterizar la existencia de residuos agrícolas, tales como el maíz (residuo vegetal), la remata (residuo de poda) y residuos ganaderos al estiércol de bovino y ovino.
- El proceso de compostaje duró 156 días, en la que dejó en evidencia las distintas fases existentes, donde iniciaron con la fase mesófila I, fase termófila o de higienización, fase mesófila II y la fase de maduración.
- Por medio de las pruebas físicas cómo lo son la temperatura y humedad se logró evidenciar que el compostaje transcurrió de manera adecuada, alcanzando valores que se encuentran dentro de los rangos óptimos dentro de cada etapa del proceso.
- Las pruebas químicas, demostraron que los tratamientos T1 (bovino + maíz), T2 (ovino + maíz) y T4 (ovino + retama); según su relación C/N, son los que obtuvieron mejores resultados, ya que al ser bajos son indicativos de que han logrado una buena degradación y mineralización de la materia orgánica. A diferencia del T3 (bovino + retama), que obtuvo un valor mínimamente más alto, que es indicativo de una falta de degradación; pero encontrándose dentro de los rangos óptimos de un compost maduro, por lo que todos los tratamientos son apropiados para su uso en la agricultura.
- El compost obtenido, demuestra la factibilidad del uso de los residuos de maíz, retama, estiércol de ovino y bovino; ya que se obtuvo como resultado un compost no fitotóxico y de buena calidad; ya que en la prueba de germinación se evidencia que los mejores tratamientos son los T1 (bovino + maíz), T2 (ovino + maíz) y T4 (ovino + retama); con un 100 % de germinación, demostrando que el compost obtenido se encuentra maduro y estable.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Realizar análisis biológicos durante todo el proceso del compostaje, para poder determinar la especie y cantidad de población de los microorganismos presentes en cada etapa del proceso de compostaje.
- Es recomendable realizar análisis químicos completos, sobre la cantidad de macro y micronutrientes, con el fin de corregir las deficiencias en los suelos, que ayudarían a la mejora de los suelos, contribuyendo a la producción agrícola.
- Realizar compost con el uso de activadores biológicos en los tratamientos, los mismos que ayudarían a la reducción del tiempo de todo el proceso del compostaje.
- Se recomienda evaluar las variables como pH, retención de agua, evaluación de lixiviados. Y dentro de la prueba de toxicidad medir la elongación de las raíces.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, J. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos*. Estudio del Instituto Nacional de Innovación en Tecnología Agropecuaria, <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>
- Álvarez-Sánchez, R., Llerena-Ramos, L. y Reyes-Pérez, (2021). *Efecto de sustancias azucaradas en la descomposición de sustratos orgánicos para la elaboración de compost*. *Revista Terra Latinoamericana* 1(39). <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.916>
- Álvarez-Solís, J., Díaz-Pérez, E., León-Martínez, N. y Guillén-Velásquez, J. (2010). *Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz*. *Revista Terra Latinoamericana* 28(3). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000300006
- Amante-Orozco, A., Martínez-Esquivel, R., Rossel-Kipping, J., Pimentel-López, E., García-Herrera, J. y Gómez-Gonzales, A., (2019). *Digestión anaerobia de estiércol de ovino para producir biogás y bioabono*. *Revista AGROProductividad* 12(4). <http://dx.doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1201>
- Belleza, J. (2015). *Producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos de tuna de nopal (Opuntia spp.)*. México.
- Camacho, A., Martínez, L., Ramírez, H., Valenzuela, R. y Valdés, M. (2014). *Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos*. *Revista Terra Latinoamericana*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000400291
- Carchi, T. (2016). *Determinación de la mezcla óptima para compostaje aerobio a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7704/1/carchi.pdf>

- Castillo-López, E. y Domínguez-Ordóñez, M. (2019). *Factores que afectan la composición microbiana ruminal y métodos para determinar el rendimiento de la proteína microbiana*. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4547>
- Cegarra, J. (2010). *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica*. Madrid.
- Clavijo, F. (2014). *Estudio Comparativo para la Elaboración de Compost por Técnica Manual en el Bioparque Amaru Cuenca*. [Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21064/1/tesis.%20doc%20pdf.pdf>
- Colín-Navarro, V., Domínguez-Vara, I., Olivares-Perez, J., Castelán-Ortega, O., García-Martínez, A. y Avilés-Nova, F. (2018). *Propiedades químicas y microbiológicas del estiércol de caprino durante el compostaje y vermicompostaje*. Universidad Autónoma del Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/105897/Colin%20et%20al.%2C%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Debernardi-Vázquez, T., Aguila-Rivera, N. y Núñez-Pastrana, R. (2020). *Compostaje de subproductos de las agroindustrias de la naranja (Citrus sinensi (L.) Osbeck) y la caña de azúcar (Saccharum spp. híbridos)*. Revista Scielo 40 (3). <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v40n3.82877>
- Delgado, M., Mendoza, K., Gonzáles, M., Tadeo, J. y Martín, J. (2019). *Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 35(4). <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.15>
- Del Pino, A., Repetto, C., Mori, C. y Perdomo, C. (2008). *Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo*. Revista Terra Latinoamericana 26(1). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000100006#c1
- Deltoro, M. (2020-2021). *Estudio del proceso de compostaje de biorresiduos domésticos y paja de cebada y efectos sobre la degradación de plásticos*. [Trabajo de maestría, Universidad de Valencia].

- Flores Flor, J. y Núñez Silva, I. (2005). *Análisis del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (Bus Taurus, Gallus gallus, Cavia porcellus, Ovis aries) en la Hacienda el Prado 2005*. [Tesis de Grado, Escuela Politécnica del Ejército]. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2561/1/T-ESPE-IASA%20I-003064.pdf>
- Franch, J. (2015). *Evaluación técnica y ambiental del vermicompostaje de estiércoles de ovino, caprino y conejo*. [Tesis de Grado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55661/FRANCH%20-%20Evaluaci%20t%20t%20E9cnica%20y%20ambiental%20del%20vermicompostaje%20de%20esti%20rcoles%20de%20ovino,%20caprino%20y%20co....pdf?sequence=4>
- García, A. (2020). *Análisis de la presencia de plaguicidas en las mezclas iniciales y compost maduros de productores agroecológicos de la comunidad Valenciana*. [Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Superior de Orihuela]. <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/6700/1/TFM%20Garc%20C3%ADa%20R%20C3%A1ndez%20C%20Ana.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra. (2020). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Ibarra. Obtenido de Dirección de planificación y desarrollo territorial: https://www.ibarra.gob.ec/site/docs/estrategico/PDYOT_2020.pdf
- Gómez, P. (2018). *Estrategias comunicativas y su relación con la formación de hábitos del programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos de la municipalidad provincial de Puno*. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2219-71682018000200001&lng=pt&nrm=iso
- González-Cifuentes, A., Reta-Sanchez, D., Cueto-Wong, J., Sánchez-Duarte, J., Ochoa-Martínez, E. y Reyes-Gonzales, A. (2022). *Aporte de carbono y nitrógeno al suelo por*

resíduos de cultivos forrajeros alternativos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(5). <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.2714>

Guacho, E. (2014). *Caracterización Agro-morfológica del maíz (Zea mays L.) de la localidad San José de Chazo*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://core.ac.uk/download/pdf/234574936.pdf>

Guasco, J. y Jaramillo, M. (2015). *Obtención de compost a partir de activadores biológicos*. [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21723/1/TESIS.pdf>

Hernández - Rodríguez, O., Hernández - Tecorral, A., Rivera - Figueroa, C., Arras - Vota, A. & Ojeda - Barrios, D. (2013). *Calidad nutricional de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios*. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57327411004.pdf>

Hidalgo, K. (2019). *Contenido nutricional del compost elaborado a partir de residuos de Soca de Maíz (Zea mays L.)*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1227>

Higuera, C. (2012). *Estructura de las comunidades microbianas ruminales de ovejas alimentadas con diferentes dietas*. [Tesis de Grado, Universidad de León]. https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/2207/tesis_67dd62.PDF?sequence=1

Huerta, E., Cruz, J., Aguirre, L., Caballero, R. Pérez, L. (2015). *Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada con bioensayo de germinación de lechuga*. *Revista Redalyc*, 33(2). <https://www.redalyc.org/pdf/573/57339210008.pdf>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), (2021). *La importancia de la producción pecuaria y la proteína animal: La perspectiva del hemisferio Occidental*. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/16954/BVE21068221e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), (2012). *Ficha técnica de agricultura. Retama*.
https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_agricola.php?id=03250.99.04
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), (2020). *Maíz Suave, Variedades: INIAP-101*.
<http://tecnologia.iniap.gob.ec/images/rubros/contenido/maizs/iniap1011.pdf>
- ITW Reagents. *Determinación de Nitrógeno por el método Kjeldahl*. Revista PanReac AppliChem. https://www.itwreagents.com/uploads/20180122/A173_ES.pdf
- Jalalipour, H. (2020). *Potencial de producir abono a partir de residuos orgánicos municipales separados en origen (Un estudio de caso en Shiraz - Irán)*. Revista Sostenibilidad. DOI: [10.3390/su12229704](https://doi.org/10.3390/su12229704)
- Leiva, L. y Tapia, C. (2020). *Características fisicoquímicas del compost de calidad agrícola, producido a partir de residuos orgánicos domiciliarios, estiércol de vacuno y/o de cuy, Bagua, Amazonas, 2018*. [Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza Amazonas, Tesis de Grado].
<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/2073/Leiva%20Cabrer%20Leity%20Noemi%20-%20Tapia%20Martinez%20Claudio%20Ra%C3%BAI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- León, R., Bonifaz, N. y Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador: Siembra y producción de pasturas*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Lopez, W. (2010). *Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol*. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional].
<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/6940/1/TESIS%20WENN%20DY%20LOPEZ%20WONG.pdf>

- Martínez de la Cruz, E., Peña E. y López J. (2011). La arquitectura radicular del Maíz (*Zea mays* L.) Revista del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas. <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/article/view/6/6>
- Martínez, A. & Leyva, L. (2014). *La Biomasa de los Cultivos en el Agroecosistema. Sus Beneficios Agroecológicos*, 35(1). <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193230069002.pdf>
- Martínez - Cordeiro, H., Varela, M., García - Jares, C., Lores, M. & Domínguez, J. (2014). *Conversión acelerada de retama negra (Cytisus scoparius) en un biofertilizante de calidad mediante vermicompost*. http://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2015/06/recursos_rurais_2014.pdf
- Mendoza-Hernández, D., García, R., Hurtado, J., Fronces, F., Belda, R. & Abad, M. (2017). *Uso de vermicompost y compost de residuos agrícolas como sustratos para la producción de plantas ornamentales*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8685/tesisUPV3395.pdf?sequen>
- Mendoza, M. (2012). *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura*. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1728/ING_515.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mex-Álvarez, R., Garma-Quen, P., Bolívar-Fernández, N. y Guillén-Morales, M. (2016). *Análisis proximal y fitoquímico de cinco variedades de maíz del estado de Campeche (México)*. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12 (2), 74-80. [https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v12-n2-4-an%C3%A1lisis-Proximal-y-Fitoqu%C3%ADmico-de-Cinco-Varietades-de-Ma%C3%ADz-del-Estado-de-Campeche-\(M%C3%A9xico\).pdf](https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v12-n2-4-an%C3%A1lisis-Proximal-y-Fitoqu%C3%ADmico-de-Cinco-Varietades-de-Ma%C3%ADz-del-Estado-de-Campeche-(M%C3%A9xico).pdf)
- Miranda, R., Lascano, M., Caballero, A. y Bosque, H. (2014). *Influencia de la dosis de estiércol ovino y bioinsumo en la Mineralización del Nitrógeno*. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*.

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182014000100012

Ministerio del Ambiente y Agua (2020). *Manual de Aprovechamiento de Resíduos Orgánicos Municipales*. Estudios de Mejoramiento de manejo de residuos e implementación de políticas públicas sobre GRIS en Ecuador, Editorial Centro de Artes Gráficas El Fuego y la Palabra, <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>

Montaña, T. y Morales, T. (2018). *La etapa de preparación de la muestra en los métodos analíticos*. [Trabajo de Grado, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/82200/2TeresaTFG%20Prep%20Muestra%20Modificado%2016%2006%2018rev4%20-.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Montero, G., Pasalodos-Tato, M., Montoto, R., Lopez-Senespleda, E., Onrubia, R., Bravo-Oviedo, A. y Ruiz-Peinado, R. (2013). *6º Congreso Forestal Español: Contenido de carbono en la biomasa de las principales especies de matorral y arbustados de España*. Sociedad Española de Ciencias Forestales. <https://www.congresoforestal.es/actas/doc/6CFE/6CFE01-139.pdf>

Nestlé. (2022). *Guía de compostaje, composting guide*. Revista *The Dairy Men of California*. <https://www.nestle.com.mx/sites/g/files/pydnoa511/files/2023-07/Guia-de-compostaje-establos-lecheros-Nestle-MX-2.pdf#:~:text=La%20descomposici%C3%B3n%20es%20m%C3%A1s%20r%C3%A1pida,los%20microorganismos%20no%20pueden%20sobrevivir>

O'Donell, M., Harris, H., Ross, P y O'Toole, W. (2017). *Microbiota fecal central de rumiantes herbívoros domesticados, fermentadores del intestino posterior y animales monogástricos*. Revista *Microbiología Abierta*, 6(5). <https://doi.org/10.1002/mbo3.509>

Olivares-Campos, Hernández-Rodríguez, Vences-Contreras, Jáquez-Balderrama, Ojeda-Barrios. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de Ganado vacuno lechero

- como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y ciencia*, 28 (1), 27-37.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000100003
- Oliver, L., Pérez-Corona, M. y Bermúdez, F. (2002). *Degradación de la hojarasca en un pastizal oligotrófico mediterráneo del centro de la Península Ibérica*. *Revista Anales de Biología*, 24(1), 21-32. <https://www.um.es/analesdebiologia/numeros/24/PDF/02-DEGRADACION.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*, <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015). *Origen, evolución y difusión del maíz*, <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s03.htm#TopOfPage>
- Orrala, K. (2021). Calidad de abonos orgánicos (Compost) a partir del estiércol de porcino y su efecto en el desarrollo radicular en el maíz emblema (*Zea mays*) en Santa Elena. [Tesis de Grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6324/1/UPSE-TIA-2021-0061.pdf>
- Pacheco-Torres, I., García-de la Peña, C., Meza-Herrera, C., Vaca-Paniagua, F., Díaz-Velásquez, C., Méndez-Catalá, C., Tarango-Arámbula, L., Valenzuela-Nuñez, L. y Vásquez-Arroyo, J. (2022). *Explorando la microbiota bacteriana fecal bovina en la reserva de la biosfera de Mapimí, norte de México*. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 13(4). <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i4.6138>
- Parra, C. (2008). *Caracterización de poblaciones microbianas en dos tipos de estiércol, durante el proceso de compostaje*. [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8813/tesis760.pdf?sequence=1>

- Pírela-Almarza, A., Aguirre-Serpa, O., Ramírez-Villalobos, M., Petit, B., Bracho, B. y Parra, I. (2018). *Efecto de hongos micorrízicos arbusculares y del estiércol de ovino en el desarrollo inicial de la lechosa (Carica papaya L.) var. Maradol roja*. *Revista Bioagro*, 30(1). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612018000100008#:~:text=La%20composici%C3%B3n%20del%20esti%C3%A9rcol%20de,et%20al.%2C%202008)
- Pravia, M. & Sztern D. (2015). *Manual para la Elaboración de Compost: Bases Conceptuales y Procedimientos*. Estudios de la Organización Mundial de la Salud, Editorial OPS, <http://ops-uruguay.bvsalud.org/pdf/compost.pdf>
- Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGDIS) (2021). *Gestión Integral de Desechos Sólidos*. Estudio del Ministerio del Ambiente, <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/5.PROYECTO-PNGIDS.pdf>
- Quinatoa, M. (2012). *Estandarización del Proceso de Producción de Compost con Fines Comerciales Utilizando Tres Fuentes de Inóculo con la Asociación Santa Catalina del Cantón Píllaro*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2463/1/Tesis-31agr.pdf>
- Ramírez, S. (2017). *Manejo de excretas de ovejas mediante compostaje inoculado con microorganismos de montaña (MM) nativos en la finca experimental Santa Lucía, Heredia*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional]. <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/14182/Tesis%20Steven%20Ram%C3%ACrez%20Z%C3%B9%C3%B1iga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rojas, F. & Zeledón, E. (2007). *Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características físicas, químicas y biológicas del compost*. [Trabajo de Diploma, Universidad Nacional Agraria]. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tng02r741.pdf>
- Romero, E. (2019). *Evaluación de indicadores productivos y bromatológicos del maíz variedad Tusilla (Zea mays L. var Tusilla), en distancias de siembra y tipos de fertilización*,

- Cipca. [Tesis de Grado, Universidad Estatal Amazónica].
<https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/592/1/T.AGROP.B.UEA.1119>
- Romero-Figueroa, Sánchez-Escudero, Rodríguez-Mendoza & Gutiérrez-Castorena. (2015). *Producción de vermicompost a base de rastrojo de maíz (Zea mays L.) y estiércol de bovino lechero*. <https://biblat.unam.mx/hevila/Agroproductividad/2015/vol8/no3/9.pdf>
- Salazar, T. (2014). *Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos*. *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2).
<https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/view/680/651>
- Siles-Castellano A., López, M., López-González, J., Suárez-Estrella, F., Jurado, M., Estrella, M., y Moreno, J. (2020). *Análisis comparativo de fitotoxicidad y calidad del compost en instalaciones de compostaje industrial que procesan diferentes residuos orgánicos*. *Revista de Producción más Limpia*, 252(1).
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119820>
- Taboada, F. (2022). *Germinación y crecimiento inicial de Fabáceas arbustivas de Galicia en relación con los usos tradicionales, los cambios ambientales y la edad de las semillas*. [Tesis doctoral, Universidad Santiago de Compostela].
<http://hdl.handle.net/10347/29316>
- Tenecela, X. (2012). *Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos*. [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3252/1/TESIS.pdf>
- Tortosa, G., Alburquerque, J., Ait - Baddi, G. & Cegarra, J. (2012). *La producción de enmiendas y fertilizantes orgánicos comerciales mediante el compostaje de residuos de almazarra de dos fases (alperujo)*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652611005336>
- Tovar, F. (2013). *Determinación de las curvas de temperatura de mezclas de restos de poda de jardinería pública y estiércol de vaca para su compostaje*. [Tesis de Maestría, Escuela

Politécnica Superior de Orihuela].
<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2050/1/TFM%20Tovar%20Mart%C3%ADnez%20C%20Francisca.pdf>

Vallejo, S. (2017). *Elaboración de compostaje de los residuos sólidos orgánicos de la parroquia rural de Limoncocha con fines de valorización*. [Tesis de Grado, Universidad Internacional SEK].
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2640/2/TESIS%20VALLEJO%20FINAL.pdf>

Vega, J. (2016). Evaluación de microorganismos nativos en el proceso de degradación de materia orgánica en compostaje del Relleno Sanitario en el GAD del Cantón de la Joya de los Sachas. [Tesis de Grado , Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4949/1/236T0199.pdf>

Zhang, L. y Sun, X. (2016). *Influencia de los agentes de carga en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas durante el compostaje en dos etapas de residuos verdes*. *Revista Gestión de residuos* 48(1). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.032>

Zuliani, M. y Farji-Brener, A. (2020). *El impacto de las variaciones en la morfología floral sobre las visitas de polinizadores y el éxito reproductivo del arbusto Cytisus scoparius*. *Revista Ecología Austral* 30(1), 428-437.
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/162485/CONICET_Digital_Nro.0cc6a1a3-1bff-403d-8328-65fd00f47fe1_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1. Asignación y limpieza del área para el establecimiento del experimento



Anexo 2. Colocación de sarán alrededor del área del experimento



Anexo 3. Elaboración de las cajas de compostaje con espuma flex



Anexo 4. Recolección de materia prima





Anexo 5. Picado de la materia vegetal





Anexo 6. Toma de muestras de los residuos



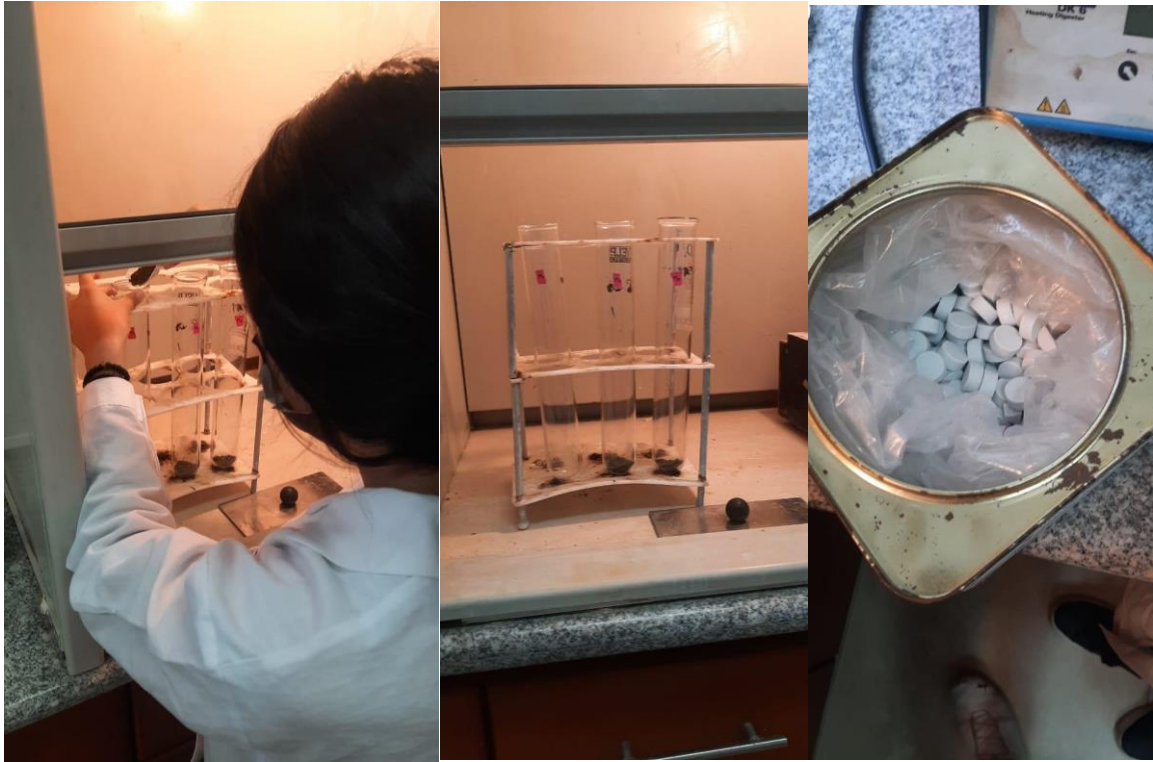
Anexo 7. Secado de las muestras en laboratorio



Anexo 8. Triturado de las muestras



Anexo 9. Análisis de nitrógeno total



Anexo 10. Análisis de carbono total



Anexo 11. Perforado de las cajas



Anexo 12. Enfundado de las cajas



Anexo 13. Colocación de los residuos en las cajas de compostaje





Anexo 14. Tapado de cajas



Anexo 15. Volteo de tratamientos



Anexo 16. Toma de temperatura y humedad



Anexo 17. Muestreo de compost para análisis



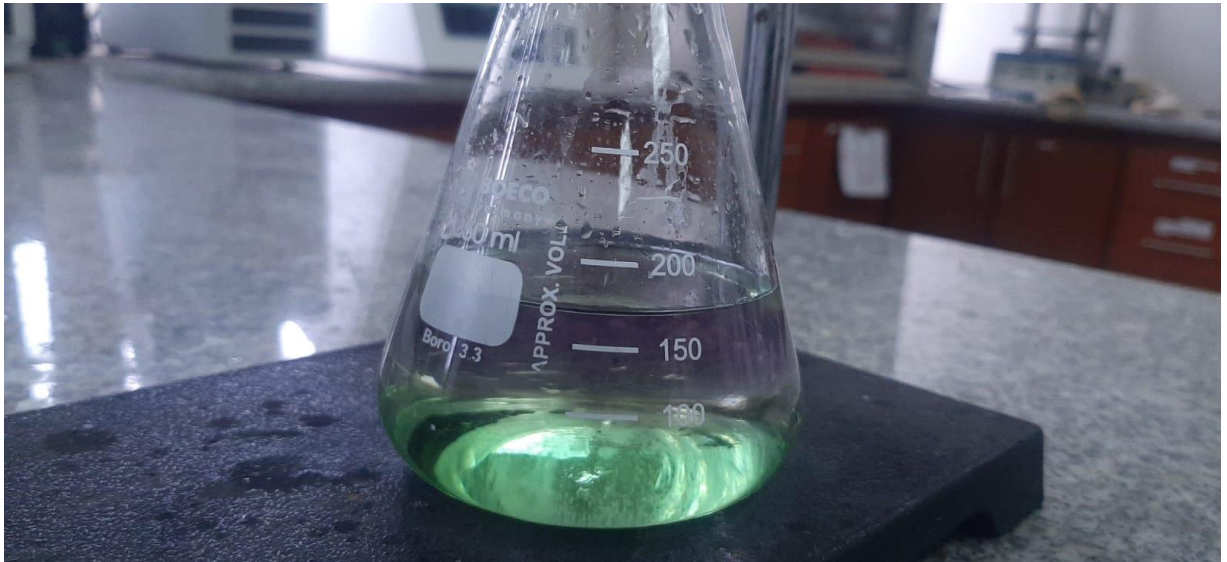
Anexo 18. Secado de muestras de compost



Anexo 19. Determinación de carbono total por calcinación



Anexo 20. Titulación de nitrógeno total



Anexo 21. Prueba de germinación



