



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 GRANJA EXPERIMENTAL ECAA

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AGROPECUARIO

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Línea 4. Gestión sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales.

Sub línea: 4.1 Desarrollo y Sostenibilidad

AUTOR/A: Diego Eduardo Chimbo Cabascango

ASESOR/A: PhD. Diego Manuel León Tapia

IBARRA, DICIEMBRE – 2023

Ibarra, 15 de diciembre del 2023

PhD. Diego Manuel León Tapia

ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes 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)

PhD. 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 PUCE-SI:



(f):

PhD. Diego Manuel León Tapia

C.C.: 1711668895



(f):

MSc. Maritza de los Ángeles Mier Quiroz

C.C.: 1002878286



(f):

PhD. Edmundo Rene Recalde Posso

C.C.: 1001774494

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo Diego Eduardo Chimbo Cabascango 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 derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades 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, 15 de diciembre del 2023



Diego Eduardo Chimbo Cabascango

C.C.: 1004754543

AUTORÍA

Yo, Diego Eduardo Chimbo Cabascango portador de la cédula de ciudadanía N° 1004754543, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del (los) autor (es), y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.



Diego Eduardo Chimbo Cabascango

C.C.: 1004754543

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: Diego Eduardo Chimbo Cabascango con CC: 1004754543, autor del trabajo de grado titulado: “Estudio del proceso de compostaje de estiércol con restos vegetales provenientes de la Granja Experimental ECAA”, previo a la obtención del título profesional de “Ingeniero Agropecuario”, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA).

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, 15 de diciembre del 2023



Diego Eduardo Chimbo Cabascango

C.C. 1004754543

**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 Granja Experimental ECAA, 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 2022.

Para constancia firma:



Diego Eduardo Chimbo Cabascango

Estudiante que ejecuta el trabajo de Titulación

C.C: 1004754543

Carrera: Ingeniería Agropecuaria

DEDICATORIA

Dedico principalmente el esfuerzo y dedicación del siguiente trabajo de titulación a Dios por encaminarme a estas instancias tan importantes de mi vida, por brindarme un día más de vida y armarme de fuerza para avanzar cada día.

A mi hija, Briana Camila Chimbo Haro por brindarme el amor incondicional que necesito para salir adelante, siendo el motivo de mi entrega, fortaleza y superación.

A mis padres, José Chimbo y Norma Cabascango por su paciencia, apoyo, amor absoluto, respeto y valores, los cuales desde niño me han inculcado, por su humildad y transparencia, siendo el orgullo más grande, mi refugio en momentos difíciles y mi gran alegría en los momentos felices.

A mi hermano Leonardo Chimbo y a mi hermana Kimberly Guerrero por brindarme su apoyo en cada decisión de mi vida, por transmitirme ese cariño inmenso, el amor incondicional y consejos de amigos que muchas veces en mi vida los necesite.

Y por último dedico mi trabajo y esfuerzo a mi abuelito Julio Cabascango que siempre ha estado a nuestro lado, siendo el pilar fundamental en mi vida, además de convertirse en un excelente padre con carisma y humildad que siempre he admirado.

Diego Eduardo Chimbo Cabascango

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme ser parte de un capítulo más de vida, por haberme llenado de sabiduría y brindarme la posibilidad seguir a su lado, siguiendo su palabra porque sin él, nada de esto fuera posible. Así mismo agradezco a Mis padres por hacer esto posible, por darme la confianza de que los esfuerzos se cosechan con errores y sapiencia.

Agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, en especial a la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA) por transmitirme conocimientos adquiridos, así mismo por convertirse en una familia más, en donde compartí varias experiencias de mi vida con amigos y docentes.

Agradezco de manera muy emotiva y especial a Vanessa Manosalvas, por ese apoyo incondicional, cariño y afecto que ha llevado ser parte de mi vida y de mi familia siendo mi respaldo en los momentos difíciles y mi alegría a toda hora.

Agradezco de manera especial al PhD. Diego León docente de la institución, por su guía y conocimientos brindados en todo este lapso académico en especial en el tiempo brindado en la presente investigación que mediante su gran conocimiento se pudo hacer esto posible. Además doy gracias a mis compañeros y amigos: Daniel Ibarra, Marisol Quishpe, Lizeth Pastaz, Liliana Guatemal y Wendy Grijalva por acompañarme en esta trayectoria académica formando parte de mi segunda familia.

Diego Eduardo Chimbo Cabascango

ÍNDICE

DEDICATORIA	VIII
AGRADECIMIENTOS	IX
ÍNDICE	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XV
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	18
INTRODUCCIÓN.....	18
CAPÍTULO II.....	19
OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo general.....	19
2.2. Objetivos específicos	19
2.3. Hipótesis	19
CAPÍTULO III.....	20
ESTADO DEL ARTE	20
3.1. Residuos orgánicos	20
3.1.1. Residuos agrícolas	20
3.1.2. Residuos forestales	20
3.1.3. Residuos Pecuarios	20
3.2. Preservación del suelo	20
3.3. Importancia de la materia orgánica en el suelo.....	21
3.4. Formas de aplicar materia orgánica	22
3.5. Beneficios de aporte de materia orgánica	22
3.5.1. Propiedades físicas.....	22
3.5.2. Propiedades químicas	22
3.5.3. Propiedades biológicas	22
3.6. Fundamentos teóricos del compostaje	23
3.7. Sistemas abiertos o en pilas	23
	X

3.8. Sistemas cerrados.....	23
3.9. Fases del compostaje	24
3.9.1. Fase Mesófila.....	24
3.9.2. Fase Termófila	25
3.9.3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II.	25
3.9.4. Fase de Maduración.	25
3.10. Factores que afectan al compostaje	25
3.10.1. Aereación	25
3.10.2. Humedad.....	26
3.10.3. Relación Carbono/Nitrógeno	26
3.10.4. Temperatura	27
3.10.5. Contenido de lignina.....	28
3.10.6. Polifenoles	28
3.10.7. Valor pH	28
3.11. Parámetros del compostaje	29
3.12. Tipos de compostaje	29
3.12.1. Compostaje anaerobio.....	29
3.12.2. Compostaje aerobio	30
CAPÍTULO IV	31
MATERIALES Y MÉTODOS	31
4.1. Ubicación del experimento, materiales y equipos.	31
4.1.1. Ubicación del experimento.	31
4.1.2. Materiales, equipos y reactivos de laboratorio	32
4.2. Metodología del ensayo	33
4.2.1. Toma de muestras de residuos para la caracterización	33
4.2.2. Caracterización de residuos	34
4.3. Diseño Experimental.....	34
4.3.2. Factores en estudio.....	36
4.4. Variables de estudio.....	37
4.4.1. Variable independiente:	37
4.4.2. Variable dependiente:	37
4.4.2.1. Nitrógeno Total (%).....	37
4.4.2.2. Carbono Total (%)	39

4.4.2.3. Humedad (%).....	40
4.4.2.4. Relación carbono nitrógeno	40
4.4.2.5. Porcentaje de germinación.....	40
4.4.2.6. Temperatura y humedad	41
CAPÍTULO V.....	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
5.1. Caracterización de los residuos vegetales y animales.	42
5.1.1. Caracterización de los residuos de Chilca (<i>Baccharis latifolia</i> Pers.).....	42
5.1.2. Caracterización de residuos de frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	43
5.1.3. Caracterización del estiércol de bovino.	45
5.1.4. Caracterización del estiércol de ovino.	46
5.1.5. Caracterización de carbono, nitrógeno y relación C/N del material de partida.	48
5.2. Temperatura (°C)	50
5.3. Humedad (%).....	53
5.4. Carbono Orgánico total (%).....	54
5.5. Nitrógeno total (%)	59
5.6. Relación carbono-nitrógeno (C/N)	64
5.7 Germinación (%).....	69
5.8. Cantidad de compost obtenido.....	70
CAPÍTULO VI	72
CONCLUSIONES	72
CAPÍTULO VII.....	74
RECOMENDACIONES.....	74
CAPÍTULO VIII.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Relación C/N para la elaboración de compost.....	27
Tabla 2	Rangos óptimos de compostaje según su fase.	29
Tabla 3	Ubicación geográfica del lugar del estudio	31
Tabla 4	Coordenadas geográficas del lugar del proyecto	31
Tabla 5	Factores y niveles del estudio	36
Tabla 6	Tratamientos de estudio	36
Tabla 7	Esquema del análisis de varianza y fuentes de variación	37
Tabla 8	Valores del carbono, nitrógeno y relación C/N del material a compostar.....	48
Tabla 9	Evolución de la temperatura en los tratamientos, durante el proceso de compostaje	51
Tabla 10	Evolución de la humedad en los tratamientos, durante el proceso de compostaje	53
Tabla 11	Análisis de varianza (ANOVA) de la variable Carbono total	55
Tabla 12	Análisis de varianza (ANOVA) de la variable Nitrógeno total.....	60
Tabla 13	Análisis de varianza ANOVA, para la variable C/N, dentro del proceso de compostaje	65
Tabla 14	Kilogramos de compost obtenidos.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación de la Granja Experimental ECAA.....	32
Figura 2	Unidad experimental	35
Figura 3	Aleatorización de factores	36
Figura 4	Muestra seca de Chilca (<i>Baccharis latifolia</i> Pers.)	43
Figura 5	Muestra seca de Frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	44
Figura 6	Muestra seca de estiércol de bovino	46
Figura 7	Muestra seca de estiércol de ovino	47
Figura 8	Prueba de rango múltiple Tukey para estiércol (Factor A), dentro de la variable carbono total	56
Figura 9	Análisis de la comparación de promedios residuos (Factor B), dentro de la variable carbono total.....	57
Figura 10	Prueba de rango múltiple Tukey para la variable Carbono total.....	58
Figura 11	Prueba de rango múltiple Tukey para estiércol (Factor A), dentro de la variable nitrógeno total.....	61
Figura 12	Análisis de la comparación de promedios residuos (Factor B), dentro de la variable nitrógeno total	62
Figura 13	Prueba de rango múltiple Tukey para la Interacción (A x B), dentro de la variable nitrógeno	63
Figura 14	Análisis de la comparación de promedios estiércol (Factor A), dentro de la variable C/N.....	66
Figura 15	Prueba de rango múltiple Tukey para residuos (Factor B), dentro de la variable C/N.....	67
Figura 16	Prueba de rango múltiple Tukey para la Interacción (A x B), dentro de la variable C/N.....	68
Figura 17	Porcentaje de germinación de los tratamientos	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Armado de las cajas	86
Anexo 2 Reconocimiento del área del proyecto	86
Anexo 3 Ordenamiento de cajas	87
Anexo 4 Picado de residuos.....	87
Anexo 5 Recolección de residuos	88
Anexo 6 Análisis de nitrógeno total	88
Anexo 7 Análisis de Carbono total	89
Anexo 8 Implementación del proyecto	89
Anexo 9 Proceso de aireación.....	90
Anexo 10 Toma de datos temperatura y humedad	90
Anexo 11 Compost maduro	91
Anexo 12 Compost finalizado	91
Anexo 13 Siembra de semillas.....	91
Anexo 14 Germinación de semillas	92

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación tuvo lugar en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra en la Granja Experimental ECAA, con el objetivo de evaluar el proceso de compostaje mediante el uso de residuos como materia orgánica que se generan dentro de la granja como estiércol de ovino y bovino con residuos vegetales como tamo de frejol y restos de poda de chilca. Para su evaluación se tomó un muestreo de 150 g de cada uno de los materiales tanto vegetal como animal y se los llevó al laboratorio con el fin de determinar porcentajes de carbono, nitrógeno y relación carbono nitrógeno. El material de partida fue colocado en cajas herméticas de espuma flex de 0.125 m³ de volumen a una proporción de 3 partes de estiércol y 1 parte de vegetales en total fueron 44 kg. Se evaluó diariamente la temperatura dos veces al día. También se midió la humedad dos veces por semana. Los resultados obtenidos se evaluaron mediante el porcentaje de germinación de semillas de avena forrajera (*Avena sativa* L.), determinación carbono, nitrógeno y la relación carbono – nitrógeno, temperatura y humedad, para lo cual se usó un análisis de varianza y se realizó pruebas de rango múltiple tukey en donde se encontraron significancias estadísticas. Los resultados obtenidos fueron que la temperatura en todos los tratamientos llegaron en su fase termófila > a 60 °C dato que indica que el material alcanzo su nivel de higienización eliminando patógenos, semillas de malezas y algunos parásitos presentes en la materia orgánica. De la misma manera los datos obtenidos de C/N se encontraron dentro de los rangos óptimos de 10:1 a 15:1 dato que indica que el compost llego a una fase de maduración adecuada y mostro un material con estabilidad. Así mismo los resultados de humedad resultaron favorables debido a que se encontraban dentro de los rangos establecidos de 40 a 60 % de humedad y finalmente el porcentaje de germinación del T1 (estiércol de ovino + residuos frejol) y T2 (estiércol de ovino + residuos de chilca) fueron los que alcanzaron el 100 % a diferencia del T3 (estiércol de bovino + residuos de chilca) que alcanzo el 88 % y el T4 (estiércol de bovino + residuos de frejol) con el Testigo (suelo) presentaron un porcentaje de germinación de 96 % concluyendo así que el tratamiento T1 y T2 fueron los mejores en el presente estudio.

Palabras clave: Compost, Materia Orgánica, Estiércol, Residuos

ABSTRACT

The following research work took place at the Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra Campus in the ECAA Experimental Farm, with the objective of evaluating the composting process through the use of waste as organic matter that is generated within the farm such as sheep and bovine manure with plant residues such as bean chaff and chilca pruning remains. For evaluation, a sample of 150 g of each of the plant and animal materials was taken and taken to the laboratory in order to determine percentages of carbon, nitrogen and carbon-nitrogen ratio. The starting material was placed in airtight flex foam boxes of 0.125 m³ volume at a proportion of 3 parts of manure and 1 part of vegetables. In total, there were 44 kg plus an additional 20 kg for loss of volume and temperature of the composter. Temperature was assessed daily twice a day. Humidity was also measured twice a week. The results obtained were evaluated by the percentage of germination of forage oat seeds (*Avena sativa*), determination of carbon, nitrogen and the carbon - nitrogen relationship, temperature and humidity, for which an analysis of variance was used and tests of TUKEY multiple range where statistical significances were found. The results obtained were that in temperature all treatments T1, T2, T3 and T4 arrived in their thermophilic phase to be greater than 60 °C, data that indicates that the material reached its level of sanitation, eliminating pathogens, weed seeds and some parasites present in organic matter. In the same way, the data obtained from C/N were found within the optimal ranges of 10:1 to 15:1, data that indicates that the compost reached an adequate maturation phase and showed a material with stability. Likewise, the humidity results were favorable because they were within the established ranges of 40 to 60% humidity and finally the germination percentage of T1 (sheep manure + bean residue) and T2 (sheep manure + residue of chilca) were those that reached 100%, unlike T3 (bovine manure + chilca residues) which reached 88% and T4 (bovine manure + bean residues) with the Control (soil) presented a percentage of 96% germination, thus concluding that treatment T1 and T2 were the best in the present study.

Key words: Compost, Organic Matter, Manure, Waste

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la agricultura forma parte de la práctica de los pequeños productores del Ecuador, siendo esta la forma más sencilla de generar ingresos para sus familias, además de aportar alimentos disponibles al mercado (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2019). Según el Banco mundial (2020), menciona que la agricultura del Ecuador aporta el 9.8% al producto interno bruto (PIB) siendo un sector primordial para los ingresos del país.

En el Ecuador la agricultura tiene un gran impacto con el medio ambiente, debido a que el pequeño agricultor genera residuos o remanentes de sus anteriores cosechas y al no tener conocimiento del manejo de residuos toma la decisión de incinerarlos, causando un impacto medio ambiental, además de la degradación del suelo afectando la microfauna.

Actualmente mediante la tecnificación y adquisición de conocimientos se busca poder emplear una forma de gestionar los residuos orgánicos, buscando disminuir los costos de producción, mejorar las propiedades del suelo mediante el uso de alternativas que contribuyan actividades amigables para el ambiente. Hoy por hoy los residuos tanto de vegetales como de animales, contribuyen de gran medida a la creación de abonos o fertilizantes orgánicos, por tal motivo la investigación tiene como finalidad el estudio del compostaje mediante diferentes tipos de residuos de origen animal y vegetal que usualmente se encuentran dentro de las granjas, en este caso se tomó a la Granja Experimental ECAA como punto de investigación.

Un compost tiene como objetivo e importancia principal la degradación de materia orgánica en condiciones controladas generándose así un sustrato benéfico para el suelo y aportando nutrientes asimilables para la vegetación. Así mismo en el proceso de compostaje la degradación de residuos es un hecho generando mayores ganancias para el productor y disminuyendo impactos de origen medioambiental (Coronel y Ramón, 2022).

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 granja experimental ECAA, 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 Granja Experimental ECAA
- Analizar el proceso de compostaje y su evolución
- Evaluar la calidad del compost mediante parámetros físico-químicos.

2.3. Hipótesis

Hipótesis nula

El compostaje con residuos agrícolas y estiércol de ovino y bovino presentan semejanzas de temperatura, humedad y relación C/N en el proceso de elaboración.

Hipótesis alternativa

El compostaje con residuos agrícolas y estiércol de ovino y bovino no presentan semejanzas de temperatura, humedad y relación C/N en el proceso de elaboración.

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Residuos orgánicos

Es todo aquel material de desecho o aquellas residualidades, que queda después de algún producto de origen orgánico de interés, gran parte de ellos pueden ser biodegradados en la naturaleza. Estos se pueden degradar cambiando o transformándose en material orgánico como, por ejemplo: material vegetal de alguna cosecha, residuos de casa como cascaras de huevo, vegetales en estado caduco, materia fecal de animales de granja, restos de podas o deshierbe (Jaramillo y Zapata, 2008, como se citó en Valderrama, 2013).

Según ESIN consultora S.A., (2014) menciona que, el material de bioenergético para la composición de biomasa residual proviene de los siguientes residuos.

3.1.1. Residuos agrícolas

Son considerados todos los subproductos de producción agrícola, generados en la actividad de campo e industrialización en plantas de procesamiento (Leanpio, 2022).

3.1.2. Residuos forestales

Son aquellos residuos característicos de las explotaciones forestales y enmiendas realizadas para la sostenibilidad de los sistemas silvícolas (Ambientum, 2022)

3.1.3. Residuos Pecuarios

Son materiales provenientes de origen animal dentro de una granja pecuaria, estos pueden ser las excreciones también llamado estiércol y animales exánimes (Leanpio, 2022).

3.2. Preservación del suelo

El fundamento de un suelo fértil, bueno y saludable es el pilar fundamental de una producción agrícola sostenible basándose en los recursos suelo – agua que son primordiales para permitir el cultivo de productos nutritivos y hacer frente a la inseguridad alimentaria la cual afecta a todo el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011).

La importancia del suelo cumple con varias funciones, una de ellas conlleva el sostenimiento del ecosistema de la vida humana, además de ser el sostén y abastecimiento de los diferentes nutrientes que demandan las plantas. Pero las malas prácticas agrícolas realizadas por el hombre y varios factores como lluvias, viento y bajas temperaturas han dado paso a la degradación de los suelos convirtiéndose en un problema muy grande para la generación de alimentos demandantes en todo el mundo (Cotler et al. 2007).

3.3. Importancia de la materia orgánica en el suelo

Se puede mencionar que la materia orgánica es una fracción importante del suelo, no obstante, podemos pensar que es solo un elemento o compuesto, la composición presente en ella puede ser muy heterogénea, pues resulta de la degradación de animales, plantas y microorganismos que se encargan de acelerar el proceso de descomposición y también se encarga del aporte de nutrientes mediante residuos al suelo. La diversidad o variación de compuestos presentes es la que se sitúa su importancia, ya que en el proceso de degradación se puede obtener varios resultados, producto de la descomposición final que actúan como material fundamental de la calidad del suelo (FAO, 2013).

Se considera a la materia orgánica como cualquier material de procedencia orgánica ya sea de principio vegetal o animal que mediante un proceso de descomposición (proceso de degradación por parte de los microorganismos) vuelve al suelo. Los materiales presentes en la materia orgánica pueden ser: residuos de cultivos, residuos de cocinas, estiércol de animales de granja, animales muertos y exudados (FAO, 2011).

Los materiales mencionados son los que entran en un proceso de descomposición o de mineralización, y pasan de una estructura viva u orgánica a una forma inorgánica o mineralizada. Los minerales surgen debido a la solución de suelo y por último son utilizados por las plantas y organismos, con el fin de producir nutrientes asimilables los cuales demanda la planta (García, 2008).

3.4. Formas de aplicar materia orgánica

Existen varias formas de aplicar materia orgánica de las cuales podemos mencionar las siguientes:

- La aplicación de estiércol fresco que se realiza directamente en el mismo potrero por parte del animal
- El Mulch se lo agrega de manera seca o también se puede agregar como hojarasca o material residual de las anteriores cosechas.
- De forma desintegrada como es el compost, vermicompost y purines de estiércol de residuos de animales de granja

3.5. Beneficios de aporte de materia orgánica

Algunos beneficios de aporte de materia orgánica al suelo tienen incidencia en las propiedades físicas, químicas y biológicas como:

3.5.1. Propiedades físicas

- Mejora la práctica de labores culturales además de ayudar a la siembra y al arado
- Eleva la capacidad de retención de agua, conservando la humedad del suelo
- Merma el riesgo de erosión por compactación del suelo
- Favorece las condiciones edafoclimáticas
- Reduce la pérdida de humedad por evaporación (Peralta et al. 2013).

3.5.2. Propiedades químicas

- Es un fertilizante natural debido a que aporta macronutrientes como es el nitrógeno, fósforo y potasio, además de incorporar algunos micronutrientes.
- Mejora la capacidad de intercambio catiónico (Peralta et al. 2013).

3.5.3. Propiedades biológicas

- Agrega microorganismos capaces de degradar y transformar o modificar los materiales insolubles que están presentes en el suelo volviendo los minerales asimilables y convirtiéndolos en nutrientes para las plantas.
- Mejora la calidad mediante la incorporación de carbono al suelo (Peralta et al. 2013).

3.6. Fundamentos teóricos del compostaje

Prácticas de compostaje según Peña et al. (2019) menciona que las consideraciones que se debe tomar al momento de la elaboración de compostaje son:

- Se debe tomar en cuenta la duración del proceso y contar con espacio dependientemente de la cantidad a elaborar
- Debe existir higiene de calidad antes, durante y después de la elaboración del compost
- Se debe tener muy en cuenta la disponibilidad de los materiales a usar
- La ubicación es uno de los factores dependientes ya que las condiciones climáticas extremas intervienen de manera negativa al proceso de compostaje.

Entre las distintas técnicas de elaboración de compostaje se mencionan las dos más importantes, estas son: sistemas abiertos los cuales se elaboran y se controla al aire libre y los sistemas cerrados como su nombre lo indica se los realiza en recipientes y bajo techo (Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], 2018).

3.7. Sistemas abiertos o en pilas

La técnica de sistemas abiertos se aplica cuando la cantidad a compostar es abundante o numerosa, además de heterogénea, es decir de diferentes materiales o residuos orgánicos mayores. Dependientemente el manejo en la producción de compostaje marca la una parte muy esencial y para ello existe gran variedad de métodos para su elaboración. El sistema abierto en pilas permite a los microorganismos aerobios mantener el uso de oxígeno disponible, con el fin de que exista un proceso rápido en la descomposición del material residual u orgánico. Este método consiste en hacer montículos de material vegetal en medio de una base o poste permitiendo el acople y el volteo constante del compostaje, buscando mantener una relación adecuada de C:N de 30:1 mediante el control óptimo de temperatura y humedad (Ansorena et al. 2015).

3.8. Sistemas cerrados

La técnica de sistemas cerrados son los más habituales al momento de hablar de compostaje familiar, debido a que este recipiente tiene varias ventajas como son: delimitar es espacio de compostaje, previene de las fuertes corrientes de viento, por lo cual el material mantiene su

temperatura, permite el volteo correcto del compostaje, prevé la entrada de vectores de contaminación, facilita la tecnificación manual (Longoria et al. 2014)

3.9. Fases del compostaje

El compostaje es un medio que sufre varios eventos naturales, debido a que es un proceso de carácter biológico que se da en presencia de oxígeno. Como todo proceso biológico las condiciones ambientales influyen de gran manera en el proceso. Las condiciones óptimas de humedad, temperatura y pH garantizan una modificación higiénica de los materiales orgánicos, los cuales, mediante los procesos metabólicos generados en la degradación, los microorganismos utilizan el carbono (C) y el nitrógeno (N) para formar su peculiar biomasa, además los microorganismos son los encargados de producir calor y material sólido o también llamado sustrato de característica estable también conocido como compost (Dearborn, 2011; Mazzarino et al. 2012, cómo se citó en Alurralde et al. 2021).

Al existir el proceso de degradación, la materia orgánica tiende a aumentar de temperatura hecho que es generado por los microorganismos dependientes de C:N, ya que ellos son los encargados de usar estos elementos para generar calor, que en todo el proceso de compostaje irá variando dependiendo de la disponibilidad de material orgánico y elementos C:N (Román et al. 2013, cómo se citó en Fallas, 2016).

Según la FAO (2013) se distinguen 3 etapas esenciales en la formación de compostaje, sumado a ella también se encuentra la etapa de maduración las cuales su tiempo o duración no está determinado, estas etapas se dividen según la fase de su temperatura en:

3.9.1. Fase Mesófila

Esta fase marca el inicio de la elaboración de compostaje, el material presente se encuentra a temperatura ambiente, pero este llega a aumentar en horas o días, debido a la existencia de actividad microbiana, los microorganismos son los encargados de degradar compuestos como azúcares y generar ácidos orgánicos mediante el consumo de fuentes simples de C y N, incrementando la temperatura a 45 °C y disminuyendo el pH hasta 4 o 4.5. La duración de esta fase puede durar de dos a ocho días (FAO, 2013).

3.9.2. Fase Termófila

En esta fase el material en descomposición que se encontraba a los 45 °C llega a desarrollar temperaturas que llegan hasta los 60 °C debido al cambio de bacterias mesófilas a bacterias termófilas las cuales se encargan de la degradación de estructuras más complejas como es la lignina y la celulosa usando fuentes complejas de C, estos microorganismos trabajan y modifican el nitrógeno en amoníaco, por tal motivo el pH incrementa. Según las condiciones de temperatura, humedad y material de inicio este proceso puede durar días o meses. Al momento de que la temperatura es elevada a los 60 °C se manifiestan ciertas bacterias encargadas de producir actinobacterias y esporas cuya función es la de degradar ceras y hemicelulosa. La Fase termófila también es conocida con el nombre de fase de higienización debido a que el aumento de calor hace que ciertos microorganismos de origen bacteriano y cualquier contaminante de presente en las heces de los animales tales como *Escherichia coli* y *Salmonella spp* sean destruidos, así mismo al encontrarse la temperatura a 55 °C eliminan ciertos huevecillos de helminto y esporas de enfermedades fitopatógenas que pudieron haber sobrevivido en la época de producción (Moreno y Moral. 2011).

3.9.3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II.

Mientras en consumo de C y N en esta fase se ha agotado la temperatura tiende a disminuir hasta aproximadamente los 40-45 °C. Aquí aún existe la descomposición de polímeros y emergen hongos los cuales efectúan la reducción de temperatura hasta los 40 °C, dando paso a bacterias mesófilas que descienden el pH manteniéndolo alcalino, puede durar varias semanas (FAO, 2013)

3.9.4. Fase de Maduración.

En esta semana el compostaje se mantiene a temperatura ambiente, aquí se producen varios cambios estructurales como es la condensación y la proliferación de varios compuestos a base de carbono para la formación de ácidos fúlvicos y húmicos (Bohórquez, 2019).

3.10. Factores que afectan al compostaje

3.10.1. Aereación

El compostaje aeróbico requiere grandes cantidades de O, particularmente en la etapa inicial. La aireación es la fuente de O y, por lo tanto, indispensable para el compostaje aeróbico.

Cuando el suministro de O no es suficiente, el crecimiento de microorganismos aerobios es limitado, lo que resulta en una descomposición más lenta. Además, la aireación elimina el calor excesivo, el vapor de agua y otros gases atrapados en la pila. La eliminación del calor es especialmente importante en climas cálidos, ya que el riesgo de sobrecalentamiento e incendio es mayor. Por lo tanto, una buena aireación es indispensable para un compostaje eficiente. Puede lograrse controlando la calidad física de los materiales (tamaño de las partículas y contenido de humedad), el tamaño de la pila y la ventilación y asegurando una frecuencia adecuada de volteo (Chandler et al. 2008).

3.10.2. Humedad

La Humedad es muy importante para colaborar con la eficiencia metabólica de los microorganismos. Los materiales de compostaje deben mantener un contenido de humedad de 40 a 65 por ciento. Cuando la pila está demasiado seca, el compostaje ocurre más lentamente, mientras que un contenido de humedad superior al 65 por ciento desarrolla condiciones anaeróbicas. En la práctica, es aconsejable comenzar la pila con un contenido de humedad de 50 a 60 por ciento y terminar con un 30 por ciento aproximadamente (Vargas et al. 2019).

3.10.3. Relación Carbono/Nitrógeno

Los microorganismos requieren C, N, fósforo (P) y potasio (K) como nutrientes principales. De particular importancia es la relación C:N de las materias primas. La relación C:N óptima de las materias primas está entre 25:1 y 30:1, aunque también son aceptables relaciones entre 20:1 y 40:1. Cuando la relación es superior a 40:1, el crecimiento de microorganismos es limitado, lo que resulta en un tiempo de compostaje más largo. La relación C:N de menos de 20:1 conduce a la subutilización de N y el exceso puede perderse en la atmósfera como amoníaco u óxido nitroso, y el olor puede ser un problema. La relación C:N del producto final debe estar entre aproximadamente 10:1 y 15:1 (FAO, 2013).

Tabla 1*Relación C/N para la elaboración de compost*

C/N alto en N		C/N estable		C/N alto en C	
Material	C/N	Material	C/N	Material	C/N
Desechos de cocina	14/1	Estiércol bovino	25/1	Hierba cortada	43/1
Estiércol de porcino	10/1	Estiércol ovino	32/1	Hojas de árbol	47/1
Gallinaza camada	18/1	Estiércol caprino	35/1	Cascarilla de arroz	66/1
Gallinaza pura	7/1	Residuos de frijol	27/1	Paja de Maíz	312/1
Purines	1/5	Restos de hortalizas	37/1	Hierba seca	81/1
-	-	Restos de podas	44/1	Ramas secas	638/1

Nota. Adaptado de *Relación C:N de algunos materiales usados en el compostaje* (p. 53), de la FAO, 2013.

3.10.4. Temperatura

El proceso de compostaje involucra dos rangos de temperatura: mesófila y termófila. Mientras que la temperatura ideal para la etapa inicial de compostaje es de 20 a 45°C, en etapas posteriores con los organismos termofílicos asumirán el control, que se encuentra en una categoría de temperatura de 50–70°C puede ser ideal. Las temperaturas altas son un indicador de que el compostaje anaerobio posee actividad y eficiencia microbiana. Los patógenos normalmente se destruyen a los 55°C y superior, mientras que el punto crítico para la eliminación de semillas de malas hierbas es 62°C. Se pueden usar volteos y aireación para regular la temperatura (Vargas et al. 2019).

3.10.5. Contenido de lignina

La lignina es uno de los componentes esenciales de las paredes celulares de las plantas y su compleja estructura química la hace altamente resistente a la degradación microbiana. Esta naturaleza de la lignina tiene dos implicaciones. Una es que la lignina reduce la biodisponibilidad de los otros constituyentes de la pared celular haciendo que la relación C:N real (es decir, la relación de C a N biodegradable) sea inferior a la citada normalmente. La otra es que la lignina sirve como potenciador de la porosidad, lo que crea condiciones favorables para el compostaje aeróbico. Por lo tanto, mientras que la adición de hongos que descomponen la lignina puede en algunos casos aumentar el C disponible, acelerar el compostaje y reducir la pérdida de N, en otros casos puede dar como resultado una relación C:N real más alta y una porosidad deficiente, lo que prolonga el tiempo de compostaje (Yue et al. 2016).

3.10.6. Polifenoles

Los polifenoles incluyen taninos hidrolizables y condensados. Los taninos condensados insolubles unen las paredes celulares y las proteínas y las hacen física o químicamente menos accesibles a los descomponedores. Los taninos solubles condensados e hidrolizables reaccionan con las proteínas y reducen su degradación microbiana y, por lo tanto, la liberación de N. Los polifenoles y la lignina están atrayendo más atención como factores inhibidores sugieren que los contenidos de estas dos sustancias se utilicen para clasificar los materiales orgánicos para una utilización más eficiente de los recursos naturales en la finca, incluido el compostaje (Rojas et al. 2021).

3.10.7. Valor pH

Aunque el efecto amortiguador natural del proceso de compostaje se presta a aceptar material con un amplio rango de pH, el nivel de pH no debe exceder ocho. A niveles de pH más altos, se genera más gas amoníaco y puede perderse en la atmósfera (FAO, 2013).

3.11. Parámetros del compostaje

Tabla 2

Rangos óptimos de compostaje según su fase.

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Densidad	250-400 kg/m ³	<700 kg/m ³	<700 kg/m ³
Humedad	50% - 60%	45%-55%	30% - 40%
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5-3%	1-2%	~1%
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	< 1.6 cm
Temperatura	45 – 60°C	45°C Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
pH	6,5 – 8,0	6,0-8,5	6,5 – 8,5

Nota. Adaptado de *Parámetros del compostaje* (p, 31), de la FAO, 2013.

3.12. Tipos de compostaje

Según la FAO (2013) el compostaje se puede dividir en dos categorías según la naturaleza del proceso de descomposición. En el compostaje anaeróbico y compostaje aerobio:

3.12.1. Compostaje anaerobio

En el compostaje anaeróbico, la descomposición se produce cuando el oxígeno (O) está ausente o el suministro es limitado. Bajo este método, los microorganismos anaeróbicos

dominan y desarrollan compuestos intermedios que incluyen metano, ácidos orgánicos, sulfuro de hidrógeno y otras sustancias, siendo el biogás el producto final. En ausencia de O_2 estos compuestos se acumulan y no se metabolizan más. Muchos de estos compuestos tienen olores fuertes y algunos presentan fitotoxicidad. Como el compostaje anaeróbico es un proceso de baja temperatura, deja intactas las semillas de malas hierbas y los patógenos. Además, el proceso suele llevar más tiempo que el compostaje aeróbico. Estos inconvenientes a menudo compensan los méritos de este proceso, a saber. poco trabajo involucrado y menos nutrientes perdidos durante el proceso (Acosta y Obaya, 2005)

3.12.2. Compostaje aerobio

El compostaje aerobio es aquel que se lleva a cabo en disposición de oxígeno, ya que los microorganismos presentes en la degradación demandan de gran cantidad de O_2 . En esta transformación, los microorganismos degradan todo tipo de materia orgánica presente, produciendo: amoníaco (NH_3), agua, calor, ácidos húmicos y CO_2 (dióxido de carbono) obteniendo así, un producto totalmente orgánico parcialmente estable. En todo el proceso de compostaje el calor generado por la degradación de materia orgánica producto de la dinámica microbiana, acelera la descomposición de proteínas, aminoácidos, celulosa y hemicelulosa. Además, existen varios aditivos que ayudan acelerar este proceso de calor, debido a que la incorporación de inoculantes como azúcar, enzimas, preparados medicinales, nitrógeno, medios de cultivos, puede ayudar de manera favorable incrementando la población de microorganismos y disminuyendo el tiempo de compostaje de 150 días a tan solo 40 días (Takeshi, 2014).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del experimento, materiales y equipos.

4.1.1. Ubicación del experimento.

La siguiente investigación se llevó a cabo dentro de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, para ello se diferenciaron dos fases. La primera fase fue la colecta de material residual y muestreo para realizar los respectivos análisis dentro del laboratorio y la segunda fue la implementación dentro de la compostera perteneciente a la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales ECAA.

El área total empleada, para llevar a cabo el proyecto fue de 15 m² el cual ya contaba con una cubierta plástica en la parte superior simulando un invernadero y fue necesario cubrir los bordes con sarán para evitar el viento.

Tabla 3

Ubicación geográfica del lugar del estudio

Ubicación Geográfica	
Provincia	Imbabura
Cantón	Ibarra
Parroquia	San Francisco
Sector	La victoria

Tabla 4

Coordenadas geográficas del lugar del proyecto

Coordenadas Geográficas	
Latitud	00°21'10" N
Longitud	78°06'29" W
Altitud	2230 m.s.n.m.

Figura 1

Ubicación de la Granja Experimental ECAA



Nota. Adaptado de Google Earth Pro

4.1.2. Materiales, equipos y reactivos de laboratorio

Materiales de campo.

- Planchas de espuma Flex 0,5 m x 0,5 m y de espesor 0.03 m
- Pegamento industrial
- Plástico stretch film
- Sarán
- Brochas
- Fundas Plásticas
- Cinta Adhesiva

Materiales de laboratorio.

- Tubos de ensayo
- Matraz Erlenmeyer
- Papel filtro
- Pipetas graduadas
- Tubos digestores

- Morteros
- Vasos de precipitación
- Desecadora
- Agua destilada

Equipos

- Balanza analítica (Adam Pw254)
- Estufa 105 °C (Mettler SNB300)
- Digestor Kjeldahl (Berh Inkjel)
- Destilador de nitrógeno (Tecnal TE-0364)
- Mufla 550°C (Thermo scientific F47925)
- Medidor Electrónico de Temperatura y humedad (EGG control)
- Molino de cuchillas (Retsch Gm 200)

Reactivos

- Pastillas catalizadoras
- Ácido sulfúrico 98%
- Peróxido de hidrógeno
- Hidróxido de sodio 35%
- Ácido Bórico al 4%
- Rojo Tashiro
- Ácido clorhídrico 0.2 Normal

4.2. Metodología del ensayo

Para la determinación y caracterización de los residuos presentes en la investigación se hizo uso de los laboratorios tanto de química y bromatología de la PUCE-SI, donde se llevó a cabo los análisis de carbono, nitrógeno y humedad.

4.2.1. Toma de muestras de residuos para la caracterización

Todos los residuos para la elaboración del presente estudio fueron colectados en la granja experimental ECAA de la PUCE-SI, en donde se obtuvo material residual de poda de Chilca

(*Baccharis latifolia* Pers.), para ello se tomó de manera fresca como tallos y hojas nuevas deshaciéndose de los materiales leñosos que no aportan de gran medida a la elaboración de compost, de la misma manera los residuos de frejol (*Phaseolus vulgaris*, L.), el cual se encontró de forma seca, tallos, hojas y vainas residuales siendo factible el uso de paja de frijol para la elaboración de compost (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA], 2016). También el estiércol bovino fue recolectado y el estiércol de ovino fue proporcionada en la granja experimental. Se tomo una muestra compuesta de cada uno de los materiales de frejol, chilca, estiércol de ovino y bovino para la respectiva caracterización tanto física como química.

4.2.2. Caracterización de residuos

La caracterización de los residuos, tanto el estiércol (ovino y bovino) como el material vegetal (frejol y chilca), se realizó mediante una revisión bibliográfica en la que se describieron sus características físicas y químicas. En el caso de los residuos vegetales, se proporcionó una descripción detallada de las partes utilizadas en el ensayo, se evaluó su contenido de humedad y se determinaron los valores totales de carbono, nitrógeno y la relación entre estos dos elementos. Respecto al estiércol, se describieron las características microbiológicas presentes en él y se evaluó su contenido de humedad, así como los valores totales de carbono y nitrógeno, y la relación entre estos dos componentes.

4.3. Diseño Experimental

Para el siguiente proyecto fue destinada la elaboración de cuatro tratamientos de compostaje en la Granja Experimental ECAA, para ello el diseño que tuvo lugar en el experimento fue un Diseño Completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial A x B, en donde se evaluaron 4 tratamientos con 3 repeticiones un total de 12 unidades experimentales UE. Se aplica un análisis de variación ANOVA mediante el programa R Studio versión 4.2.0.

4.3.1. Unidad Experimental

Cada Unidad experimental contó con 44 kg de mezcla el cual previamente fue calculado de forma matemática, esta misma contó con una relación de 3:1 es decir contó con 3 (33 kg) partes de Estiércol ya sea de ovino o bovino y 1 (11kg) partes de contenido de residuos agrícolas ya sea de Chilca o residuos de frijol. El material agregado dentro de las cajas fue

previamente fraccionado en pequeños trozos no mayores a 15 cm de diámetro para ello fue necesario la ayuda de la picadora proporcionada por la Universidad, además fue necesario el uso de fundas dentro de las cajas para un mejor manejo como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Unidad experimental



La construcción de las cajas se llevó a cabo dentro de la Granja ECAA, cuyas dimensiones fueron de 0.125 m³ de espuma flex con tapa en el la parte superior y 9 orificios en la parte inferior con el fin de filtrar los lixiviados y 3 orificios en la parte lateral a 10, 20 y 30 cm de altura en forma diagonal desde la base para aireación y la respectiva toma de datos. Las cajas poseían una funda en su interior, la cual se cambió cada mes y se colocaron en palets de madera de 1.5 m de largo x 1.2 m de ancho, debido al espacio estas se colocaron 2 cajas en cada palet con el fin de que no exista contacto directo suelo-caja y permita la salida de lixiviados (Figura 2). El material agregado dentro de las cajas fue previamente fraccionado en pequeños trozos no mayores a 15 cm de diámetro para ello fue necesario la ayuda de la picadora proporcionada por la Universidad, además fue necesario el uso de fundas dentro de las cajas para un mejor manejo.

4.3.2. Factores en estudio

Tabla 5

Factores y niveles del estudio

FACTORES	NIVELES
Factor A (Estiércol)	A1 Estiércol de ovino (EO) A2 Estiércol de bovino (EB)
Factor B (Residuos)	B1 Residuos de poda (RP) B2 Residuo de vegetal (RV)

Tabla 6

Tratamientos de estudio

Tratamiento	Interacción	Descripción
T1	A1B1	Estiércol de ovino + residuo de vegetal
T2	A1B2	Estiércol de ovino + residuos de poda
T3	A2B1	Estiércol de bovino + residuos de poda
T4	A2B2	Estiércol de bovino + residuo vegetal

Nota. La codificación para A = Factor 1 y R = Factor 2

Figura 3

Aleatorización de factores

A2B2	A1B1	A1B1	A1B2
A1B1	A2B1	A2B1	A1B2
A2B1	A2B2	A1B2	A2B2

Nota. La codificación para A = Factor 1 (1= Estiércol de ovino, 2= estiércol de bovino). B = Factor 2 (1= residuo de poda, 2= residuo vegetal)

Tabla 7*Esquema del análisis de varianza y fuentes de variación*

FV	GL
TOTAL	11
TRATAMIENTOS	3
ESTIÉRCOL (A)	1
RESIDUOS (B)	1
INTERACCIÓN AxB	1
ERROR	8

Nota: FV: Factor de variación. GL: Grados de libertad

4.4. Variables de estudio

4.4.1. Variable independiente:

Como variables independientes tenemos dos factores, en el primer factor son residuos de estiércol de ovino y estiércol de bovino y en segundo factor tenemos residuos vegetales y residuos de poda.

4.4.2. Variable dependiente:

En las variables dependientes tenemos la temperatura, humedad, la cantidad presente de carbono total, la cantidad de nitrógeno como indicadores de calidad del compostaje desde el inicio hasta el final como compost, además la relación e interacción carbono/nitrógeno.

4.4.2.1. Nitrógeno Total (%)

Para la determinación de Nitrógeno total se usó el método Kjeldahl mencionado según Skoog et al. (2015) el procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera: se pesó 2 gramos de muestra seca a 105 °C, y se lo trasvasó a un tubo digestor en una gradilla de soporte, se colocó una pastilla catalizadora y se agregó 12 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 98% en frío muy lentamente por el borde del tubo digestor, de igual manera se agregó 3.3 ml de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 35%. Este proceso se lleva a cabo dentro de la sorbona con el fin de convertir el nitrógeno orgánico en amonio (NH₄).

Se colocó los tubos dentro del digestor previamente encendido a 40 (250 – 300 °C) y se tapó, posteriormente se cerró la sorbona para que los gases se extraigan, este proceso se lo realizó con el objetivo de que el carbono presente se convierta en dióxido de carbono (CO₂) y el hidrógeno en agua. El indicador que nos muestra que la reacción química ha terminado, es cuando el color de la muestra pasa de color negro a amarillo pálido.

Luego que la muestra se ha digerido completamente, se retiraron los tubos a la gradilla dentro de la sorbona, se le agregó 50 ml de agua destilada con mucho cuidado a cada uno de los tubos y se neutralizó con 50 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 35% agregándolos muy lentamente para evitar quemaduras.

Después, se encendió la destiladora y se dejó pasar 10 minutos agua destilada por todo el sistema, con el fin de limpiar impurezas que se hayan quedado anteriormente. Pasado los 10 minutos se colocó el tubo digestor en la destiladora y se preparó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml una disolución de 50 ml de ácido bórico y 4 gotas de rojo Tashiro, este matraz se lo colocó en la salida de la destilación (color rojo) y se recuperó 100 ml de solución de muestra digerida (color verde), en total fueron 150 ml del ácido bórico más muestra.

Finalmente, con la solución que queda se tituló directamente con ácido clorhídrico 0,2 Normal, hasta que el color cambie de verde a color rojo y se anotó el valor de HCl usado para posteriormente usarlo en la fórmula para determinar nitrógeno total que se muestra a continuación:

Para los cálculos se aplica la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de nitrógeno total} = \frac{V_a * N * C}{PM} \times 100$$

Donde:

V_a = Volumen de ácido clorhídrico usado en la valoración

N = Normalidad del ácido clorhídrico

C = Constante (0.0014)

PM = Peso de la muestra

4.4.2.2. Carbono Total (%)

Para la determinación de carbono orgánico se usó el método de calcinación establecido por Schulte y Hopkins (1996, como se citó en Bautista y Arévalo, 2021), el procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera: se llevó los crisoles dentro de la estufa y se los sometió a una temperatura de 105 °C por 2 horas, posteriormente se dejó enfriar dentro de una desecadora de vidrio por 15 minutos, luego se tomó el peso de los crisoles vacíos con la ayuda de una balanza analítica y se volvió a someter a la estufa a la misma temperatura, después se repitió el mismo procedimiento 20 minutos en la estufa y 15 minutos en la desecadora hasta que el peso llegó a un valor constante de ± 0.0005 g, este procedimiento toma el nombre de tarado de crisoles.

Una vez que se obtuvieron los pesos constantes de los crisoles, se pesó 2 g de muestra seca y se llevó a la estufa a 105 °C por 2 horas, con el fin de eliminar la humedad residual de la muestra, después se repitió todo el proceso de tarado, pero esta vez con la muestra, una vez que se obtuvieron pesos constantes, se llevaron los crisoles con las muestras a la mufla en donde se calcinó a 550 °C por 3 horas, transcurrido el tiempo de calcinación se llevaron los crisoles con muestras a la desecadora de vidrio por 30 minutos, para enfriarlos y finalmente pesarlos.

La determinación de carbono orgánico se determinó con la siguiente fórmula usada por Vallejo, (2017) por pérdida de Ignición.

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

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 total se utiliza la siguiente fórmula:

$$\%C = LOI * 0.58$$

4.4.2.3. Humedad (%)

Para la determinación de humedad del material de partida se usó el procedimiento descrito por Barrena (2016), mediante la diferencia de peso, este análisis consistió en pesar 2 gramos de muestra fresca y trasvasar en una cápsula de porcelana previamente tarada, se llevó a la estufa a 105 °C durante 2 horas y se dejó enfriar por 30 minutos en la desecadora.

Transcurrido los 30 minutos en la desecadora se pesó y se volvió a repetir el mismo procedimiento hasta alcanzar peso constante.

Finalmente se determinó el % de humedad con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{P_h - P_s}{P_h - P_c} \times 100$$

Dónde:

P_c = peso de la cápsula

P_h = peso de la cápsula + peso de la muestra húmeda

P_s = peso de la cápsula + peso de la muestra seca (a 105°C)

4.4.2.4. Relación carbono nitrógeno

Para la determinación de carbono – nitrógeno se usó el método de Jackson (1970, como se citó en Rivas y Silva, 2020) en donde se divide el carbono total para el nitrógeno total, para lo cual fueron necesarios los resultados de los análisis anteriormente realizados y se lo determino de la siguiente manera:

$$C/N = \frac{\% \text{ Ct}}{\% \text{ Nt}}$$

Dónde:

% Ct = porcentaje de carbono total

% Nt = porcentaje de nitrógeno total

4.4.2.5. Porcentaje de germinación

Para calcular el porcentaje de germinación, se utilizó el método aplicado por Chong-Qui (2019), compost previamente tamizado y se colocó en fundas de vivero. En cada funda, se sembraron 6 semillas de avena forrajera (*Avena sativa* L.). Se realizaron 4 fundas con 6

semillas cada una, lo que equivale a un total de 24 semillas para cada tratamiento. Además, se llenaron otras 4 fundas con sustrato normal como grupo de control.

Para determinar el porcentaje de germinación se usó una regla de tres simple mediante la siguiente fórmula:

$$PG = \frac{SG}{SS} \times 100$$

Dónde:

PG = Porcentaje de germinación

SG = Semillas germinadas

SS = Semillas sembradas

4.4.2.6. Temperatura y humedad

Se tomaron datos de temperatura diariamente, a las 11:00 a. m. y a las 4:00 p. m., en tres ubicaciones distintas: la parte baja, la parte media y la parte alta del compostaje. Además, se llevó a cabo la aireación y el volteo una vez por semana, específicamente todos los domingos. Se realizaron tres riegos en el cuarto, octavo y decimosexta semana por las tardes. La humedad se midió dos veces por semana, los días miércoles y domingos. Estos registros y procedimientos se llevaron a cabo a lo largo de 147 días, lo que equivale a 21 semanas, que fue la duración total del ensayo. Todos estos parámetros fueron medidos y controlados utilizando un equipo de medición electrónica de temperatura y humedad (EGG control)

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caracterización de los residuos vegetales y animales.

En el siguiente estudio se tomó en cuenta los materiales usados para la elaboración de compostaje como es el estiércol de bovino, el estiércol de ovino, residuos de poda de chilca y residuos de frejol y se realizó la respectiva caracterización tanto física como química.

5.1.1. Caracterización de los residuos de Chilca (*Baccharis latifolia* Pers.).

El material de poda de chilca fue la especie *Baccharis latifolia* Pers. que presenta hojas de tipo elíptica con terminación lanceolada en punta triangular con margen dentado de 10 a 20 cm de longitud y 1 a 7 cm de ancho, de color verde claro y de 3 nervaduras principales, su peciolo con diámetro entre 0.5 a 4.5 cm de la misma manera como lo menciona en su estudio Sandoval (2021). Sus ramas eran delgadas, un poco tenue, con olor característico almendrado, solo se utilizaron ramas jóvenes estas poseían mayor cantidad de agua de color rojo-verdoso y se eliminaron las ramas viejas de color marrón debido a que eran más rígidas y más lignificadas de la misma manera que se muestra en el estudio realizado por Miranda, (2022). Poseían inflorescencia es de tipo cimosas de color crema que nacían desde las axilas de las ramas y se aglomeran en la parte apical de las ramas, mismas que pueden ir de 15 a 280 floretes en la cabeza de color verde amarillento en forma de copa, pétalos cortos y alargados, además el androceo se encontró compuesto por 5 estambres de la misma manera como menciona Sandoval (2021).

Mediante análisis de laboratorio se realizó la obtención de los datos de la composición química de interés como son los niveles de carbono total por el método de incineración y nitrógeno total por el método kjeldahl, tanto que para los valores de chilca (*Baccharis latifolia* Pers.) tuvieron una media matemática de 53.64% para carbono total, datos que se pueden comparar con el estudio de Aysabucha (2020), en su estudio de análisis bromatológico de chilca, donde obtuvo datos similares de 54.8% de carbono total, mencionando que los valores obtenidos están dentro de los ideales en su caracterización.

En la determinación de nitrógeno total por método kjeldahl para chilca, se obtuvo una media matemática de 2.72% cuyos datos coinciden con los expuestos por Rodríguez (2019), en el estudio de bloques nutricionales de *Baccharis latifolia* los cuales tienen un valor de 2,80% y diferentes de Aysabucha (2020), con un valor de 2.60% mencionando que este valor se encuentra en un rango alto.

Figura 4

Muestra seca de Chilca (Baccharis latifolia Pers.)



5.1.2. Caracterización de residuos de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Para la caracterización de frejol se usó *Phaseolus vulgaris* L. o también llamado fréjol o fríjol variedad canaria. Sus residuos eran tallos y gran cantidad de hojas, las cuales variaban en tamaño mismas que eran de tipo simples y compuestas las cuales presentaban 3 folios, raquis y peciolo de la misma manera que muestra Vinces, (2020). Su tallo era de forma cilíndrica de tipo herbáceo, el eje principal era semirrecto. presentaron una serie de nudos y entrenudos iguales a los mencionados por Cornelio (2015). Además, se encontraron algunos frutos recubiertos por vainas y de la misma manera vainas solas como se menciona en el estudio (Vinces, 2020).

El material de interés de los residuos de la cosecha de frejol dentro de la Granja Experimental fueron recolectados y se evidencio tallos y hojas, además de algunos frutos y vainas, los cuales se tomó como material para la elaboración de compost, estos materiales fueron

muestreados y llevados para determinar la cantidad de carbono y nitrógeno presente, cuyos resultados fueron de 54.51 % de carbono total rangos que se asemejan a la investigación presentada por Silvestre (2011), en el estudio de la evaluación física y química del frejol, donde obtuvo como resultados 58,6 % de carbono total, cuyos datos menciona que se encuentran dentro de un rango medio de carbono total.

En la determinación de nitrógeno total por método kjeldahl se obtuvo 1.54 % de nitrógeno total a comparación de lo expuesto por Miranda (2020), en su estudio de caracterización de proteína bruta de residuos de fréjol donde obtuvo resultados de 13.96 % al momento de transformarlo dividiendo por el factor 6.25 de proteína se obtiene 2.23 % de nitrógeno total, dato que supera al obtenido en la investigación debido a que el material muestreado a comparación del realizado en este estudio se debe a que el material se encontraba en estado seco en donde los valores que según la FAO (2013), en su manual de compostaje del agricultor, menciona que las materias primas para la elaboración de compost pueden cambiar su contenido de C/N dependientemente del estado de la materia prima (fresco o seco).

Figura 5

Muestra seca de Frejol (Phaseolus vulgaris L.).



5.1.3. Caracterización del estiércol de bovino.

La microbiota gástrica e intestinal del ganado bovino no es una novedad en estos tiempos, ya que varios estudios mencionan que posee diferentes variedades de microorganismos esenciales encargadas de la degradación y transformación del alimento en energía, proteína y vitaminas (Fraga, 2010). Pero así mismo el ganado bovino puede acarrear de manera asintomática varias especies con fines patógenos, tal es el caso de las especies: *Campylobacter* spp., *Escherichia coli*, *Listeria* spp y *Salmonella* spp (Álvarez y Medellín, 2005; Madden et al. 2006, como se citó en Pacheco et al. 2022).

Según Pacheco et al. 2022, en su estudio de caracterización de la microbiota bacteriana fecal de bovinos pudo encontrar una gran cantidad de microorganismos presentes en las heces, identificando 50 familias, 281 géneros y 297 especies de las cuales tan solo el 36.6 % posee nombre taxonómico a nivel de género, reconociendo de mayor interés a: *Campylobacter*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Fusobacterium*, *Faecalibacterium*, *Roseburia*, *Ruminococcus* y *Sporobacter*, y a diferencia del reportado por Kim y Wells, (2015) en donde tan solo se reportaron 110 géneros de los cuales menciona: *Sporobacter*, *Eubacterium*, *Oscillibacter*, *Agathobacter*, *Pseudoflavonifractor*, *Coprococcus*, *Monoglobus*, *Anaerotignum*, *Victivallis*, *Acholeplasma* y *Ruminococcus*.

El estiércol bovino es un residuo de la excreción bovina el cual fue recolectado de manera fresca y muestreado para el análisis y su procedente caracterización, mediante análisis de nitrógeno total por método kjeldahl se obtuvo una media matemática de 1.48 % de nitrógeno total y 34.93 % de carbono total a diferencia de los reportados por Flores (2010, como se citó en Durazno, 2018) donde presentan un contenido de nitrógeno total de 1.7 % y un contenido de carbono total de 30.6 %. Según la FAO (2011), en su manual de elaboración de biogás, presento una tabla en donde menciona que el rango de los niveles de nutrientes en excretas de bovinos en carbono es de 17.4 - 40.6 % y en nitrógeno de 0.3 – 2.0 % concordando los datos en el siguiente estudio que se encuentran dentro del rango establecido

Figura 6

Muestra seca de estiércol de bovino



5.1.4. Caracterización del estiércol de ovino.

La compleja mega diversidad de microorganismos tales como: arqueas, bacterias, hongos, protozoos y virus presentes en el tracto digestivo del ovino, se ha caracterizado por la función de descomponer mediante la fermentación ruminal el material vegetal compuesto por celulosa, hemicelulosa y pectina (Szeligowska et al. 2021).

Según Tanka et al., 2017, en su estudio de diversidad y funciones de la microbiota fecal ovina, encontró bacterias a nivel de filo como: Bacteroidetes y Firmicutes siendo el 80 % total de la densidad microbiana y en tercer lugar se encontró a la arquea Euryarchaeota además de una gran variación de Actinobacteria y Verrucomicrobia de tal manera que Firmicutes presentó una relación superior a Bacteroidetes señalando sus dos familias representativas como Lachnospiraceae y Ruminococcaceae, por otra parte entre los filos de menor presencia se encontraron espiroquetas activas del género *Treponema* a diferencia de los encontrados por Wang et al. (2020) en su estudio de composición de la microbiota en heces de oveja, donde menciona que se encontraron niveles más altos de géneros como: *Alistipes*, *Bacteroides*, *Barnesiella*, *Oscillibacter* y *Phocaeicola* y niveles bajos como los géneros *Succinivibrio*, *Treponema* y *Prevotella*.

El ganado ovino es capaz de excretar un promedio de 3 kg de estiércol al día (Duran, 2022). Por tal motivo se busca la forma de reciclar y no verlo como un residuo sino como un recurso del cual se puede usar para la elaboración de fertilizantes orgánicos, dentro de la granja experimental ECAA se genera a diario excretas de ovino el cual es utilizado para fines agrícolas. Estos residuos fueron muestreados para proceder a su caracterización realizando análisis para la determinación de nitrógeno y carbono total (N-C %). Mediante método kjeldahl y método de incineración se obtuvo la cantidad de N y C total en donde se realizaron 3 repeticiones de las cuales se obtuvo una media matemática de 2.24 % de N y 45.72% de C total haciendo referencia a los reportados por Yang et al. (2023), donde se obtuvieron resultados similares caracterizando los parámetros fisicoquímicos del estiércol de ovino en el que menciona que posee $24.90 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de nitrógeno total y $448.80 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de carbono total, transformando las unidades a porcentaje se obtiene 2.49 % y 44.88 % respectivamente, de igual forma Zhao et al., (2022) en su estudio de características funcionales en el compostaje de estiércol de ovino señala que el material de partida de estiércol de ovino presenta 44.45 % de carbono total y 1.83 % de nitrógeno total, en donde se muestra datos similares de carbono pero distintos de nitrógeno lo cual menciona que el nitrógeno se descompuso y se volatilizó en amoniaco.

Figura 7

Muestra seca de estiércol de ovino



5.1.5. Caracterización de carbono, nitrógeno y relación C/N del material de partida

Antes de llevar a cabo el ensayo, se llevaron a cabo análisis de laboratorio en la materia prima de los diversos residuos, tanto de origen vegetal como animal, que se tenían previsto utilizar. Estos análisis permitieron determinar el contenido de carbono orgánico total, nitrógeno total, la relación entre carbono y nitrógeno (C/N), y el nivel de humedad presente en cada uno de los residuos que serían empleados en el estudio.

En la tabla 8 se presentan los valores iniciales de la materia prima utilizada en la producción de compost, mostrando el porcentaje de carbono total, nitrógeno total y la relación entre carbono y nitrógeno. En esta tabla se observa que el residuo de frejol y el residuo de chilca exhiben los niveles más elevados de carbono, con un 54.51% y un 53.64% respectivamente. A continuación, se encuentra el estiércol de ovino con un 45.72%, mientras que el estiércol de bovino registra el valor más bajo, con un 34.93%.

Los porcentajes de nitrógeno total registrados revelan valores más elevados en el residuo de chilca, con un 2.72%, y en el estiércol de ovino, con un 2.24%. En contraste, el residuo de frejol muestra un porcentaje de nitrógeno total de 1.54%, siendo el valor más bajo el del estiércol de bovino, con un 1.48%.

Los valores presentes para la relación C/N muestran que el residuo de frejol presenta una proporción alta de 35:1, en contraste con el estiércol de bovino, que exhibe una relación de 24:1. Por otro lado, tanto el estiércol de ovino como el residuo de chilca muestran valores similares de 20:1, siendo estos dos los que presentan la relación más baja.

Tabla 8

Valores del carbono, nitrógeno y relación C/N del material a compostar

Materia Prima	Carbono Total (%)	Nitrógeno Total (%)	Relación C/N
Estiércol de ovino	45.72	2.24	20:1
Estiércol de bovino	34.93	1.48	24:1
Residuos de chilca	53.64	2.72	20:1
Residuos de frejol	54.51	1.54	35:1

En un análisis llevado a cabo por Silvestre (2011), para determinar la composición física y química del frijol, se encontró un contenido de carbono total del 58,6 %. Según Silvestre, estos datos se sitúan en un rango medio de carbono total. De manera similar, en el estudio de suelos y abonos orgánicos realizado por Garro (2016), se determinó que la paja de frijol tenía un 52.16 % de carbono total y un 1.63 % de nitrógeno total, lo que resultó en una relación carbono-nitrógeno de 32:1, considerada dentro del rango ideal. En el análisis actual, se obtuvieron valores de carbono, nitrógeno y relación carbono-nitrógeno del 54.51 %, 1.54 % y 35:1 respectivamente, que también se encuentran dentro del rango considerado ideal según estos estándares.

En un estudio llevado a cabo por Aysabucha (2020) sobre el análisis bromatológico de chilca, se obtuvieron datos similares al presente estudio, con un contenido de carbono total del 54.8%, aproximadamente cercano al 53.64% obtenido en esta investigación. Del mismo modo, Rodríguez (2019) reportó resultados parecidos en cuanto al contenido de nitrógeno total en su estudio sobre bloques nutricionales de *Baccharis latifolia*, con un valor de 2.80%, muy similar al 2.72% obtenido en este estudio. Esto dio como resultado una relación carbono-nitrógeno de 20:1, un valor que según la FAO (2013) se encuentra dentro del rango ideal de 15:1 a 35:1.

Garro (2016) reporta valores del porcentaje de carbono total del estiércol de ovino de 46.08 % valores que se asemejan a los 45.72 % obtenidos en el presente estudio, de la misma manera la FAO (2011) menciona que el rango del porcentaje de carbono total para el estiércol de ovino es de 35 a 46 % valor que muestran que los obtenidos en el presente estudio se encuentran dentro del rango establecido, de igual forma Yang et al. (2023), reporto datos del porcentaje del nitrógeno total de 2.49 % valores muy cercanos a los obtenidos los cuales fueron de 2.24 %.

Según el manual de elaboración de biogás de la FAO (2011), se proporcionan datos sobre los niveles de nutrientes en las excretas de bovinos. Estos datos establecen un rango para el porcentaje de carbono total de 17.4% a 40.6% y para el nitrógeno de 0.3% a 2.0%. Los resultados obtenidos en el presente estudio, que son del 34.93% de carbono total y 1.48% de nitrógeno total, se encuentran dentro de estos intervalos establecidos por la FAO. Además,

la FAO (2013), en su manual de compostaje para el agricultor, menciona que el valor de la relación carbono-nitrógeno (C/N) para el estiércol de bovino es de 25:1, un valor que guarda similitud con el 24:1 obtenido en el estudio actual. Esta concordancia demuestra que los resultados de nuestro estudio están en línea con las pautas y estándares establecidos por la FAO en relación con la composición del estiércol de bovino.

5.2. Temperatura (°C)

La tabla 9 muestra la interacción de las temperaturas más altas alcanzadas en cada fase durante el proceso de compostaje. Se puede observar que, en la fase mesófila 1, el tratamiento T2, que consiste en estiércol de ovino y residuos de chilca, fue el primero en alcanzar una temperatura de 44.9 °C en tan solo 3 días de compostaje. Le siguió el tratamiento T1, que utiliza estiércol de ovino y residuos de frejol, alcanzando una temperatura de 45.5 °C en 4 días. En comparación, el tratamiento T4, que involucra estiércol de bovino y residuos de frejol, alcanzó una temperatura de 46.6 °C en 8 días, y el tratamiento T3, que utiliza estiércol de bovino y residuos de chilca, llegó a una temperatura de 45.2 °C en 13 días. Es importante destacar que el tratamiento T3 fue el que tomó más tiempo en alcanzar la fase termófila, lo que sugiere que su proceso de compostaje fue más lento en comparación con los otros tratamientos.

Durante la fase termófila del proceso de compostaje, se observó un aumento y posterior disminución de la temperatura. El tratamiento T1 alcanzó la temperatura máxima de 67.7 °C, y el tratamiento T2 llegó a 65.1 °C. Estos dos tratamientos tuvieron las temperaturas más altas y mantuvieron esta fase durante 38 días. En comparación, el tratamiento T3 alcanzó una temperatura máxima de 64.9 °C durante 29 días, y el tratamiento T4 llegó a 63.4 °C durante 35 días. A pesar de que los tratamientos T3 y T4 también experimentaron temperaturas termófilas, las temperaturas máximas y la duración de esta fase fueron menores en comparación con los tratamientos T1 y T2, lo que sugiere que estos últimos tuvieron un proceso de compostaje más efectivo en términos de alcanzar altas temperaturas durante un período más prolongado.

Durante la fase mesófila 2, se observó un descenso gradual de la temperatura. En este sentido, los tratamientos T1 y T3 alcanzaron temperaturas de 44.7 °C y 47.2 °C, respectivamente, manteniendo esta condición durante un período de 14 días. Por otro lado, el tratamiento T2

experimentó un proceso más corto con una duración de 13 días, llegando a una temperatura mínima de 43.9 °C. Finalmente, el tratamiento T4 fue el que experimentó la fase mesófila 2 más prolongada, con una duración de 21 días, y alcanzando una temperatura mínima de 46.8 °C.

En la fase de maduración, se notó que todos los tratamientos alcanzaron finalmente la temperatura ambiente, que estaba en torno a los 20 °C. Sin embargo, hubo diferencias en la duración de esta fase entre los tratamientos. Los tratamientos T1 y T3 necesitaron 91 días para completar la maduración. En contraste, el tratamiento T4 fue el que requirió menos tiempo para esta fase, con un total de 83 días. El tratamiento T2, por su parte, presentó la fase de maduración más larga, finalizando después de 93 días.

Tabla 9

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		23		23.6		21.1		21
	Media	1	23.1	1	23.6	1	20.7	1	20.9
	Alta		21.9		23.1		20.6		20.5
Fase mesófila	Baja		45.8		43.9		43.3		45.5
	Media	4	45.5	3	44.9	13	45.2	8	46.9
	Alta		43.7		41.6		42.2		44.2
Fase termófila	Baja		65.9		63.3		62.6		62.4
	Media	38	67.7	38	65.1	29	64.9	35	63.4
	Alta		64.3		62.3		61.5		60.1
Fase mesófila II	Baja		43.5		42.6		46.6		44.2
	Media	14	44.7	13	43.9	14	47.2	21	46.8
	Alta		42.6		40.5		45.2		43.5
Fase de maduración	Baja		20.6		20.4		20.3		20.3
	Media	91	20.3	93	21	91	21	83	20.2
	Alta		20.1		20.3		19.8		20

Según el estudio realizado por Maceda (2015) sobre el efecto del compost y estiércol de ovino, así como la información proporcionada en el manual de compostaje del agricultor de la FAO (2013), respalda la observación en el presente estudio. Según estos recursos, el proceso de compostaje puede alcanzar temperaturas superiores a los 60 °C, y a temperaturas por encima de los 55 °C, es posible eliminar y destruir bacterias y hongos patógenos presentes en la materia orgánica. En este contexto, los resultados de este estudio confirman que el proceso de compostaje se llevó a cabo dentro de rangos de temperatura normales desde el principio hasta el final del proceso.

En un estudio similar, Li et al. (2022) investigaron el proceso de compostaje del estiércol de ovino y encontraron que la fase termófila se inició apenas dos días después del comienzo del ensayo, alcanzando temperaturas superiores a los 50 °C. Esta fase se mantuvo durante aproximadamente 3 a 4 semanas. Además, señalaron que uno de los tratamientos experimentó una rápida disminución de la temperatura debido a un desequilibrio inicial en la concentración de carbono y nitrógeno. Este hallazgo subraya la importancia de mantener un adecuado equilibrio en la relación carbono-nitrógeno desde el inicio del proceso, lo cual fue considerado en el presente estudio para asegurar una temperatura constante y controlada a lo largo del compostaje.

En un estudio similar, Sun et al. (2022) llevaron a cabo un proceso de compostaje y observaron que todos los tratamientos pasaron por las cuatro fases del proceso: mesófila, termófila, de enfriamiento y de maduración. Sin embargo, se registraron temperaturas superiores a 70 °C tan solo 15 días después de iniciar el experimento, lo que resultó en la muerte de los microorganismos y en una rápida disminución de la temperatura. Este hallazgo es coherente con lo que Moreno y Moral (2011) mencionan en su libro sobre compostaje. Indican que cuando la temperatura del compostaje supera los 70 °C, se produce una fase hipertermófila que lleva a la muerte de todos los microorganismos presentes y, como consecuencia, a una caída abrupta de la temperatura. Por lo tanto, es importante que la temperatura en la fase termófila se mantenga en un rango de más de 55 °C pero menos de 70 °C. También destacan que un mayor tiempo en la fase termófila y de maduración aumenta la probabilidad de obtener un producto higiénico y estable, adecuado para su uso en la agricultura. Esto respalda la conclusión de que el presente estudio se mantuvo dentro de los rangos de temperatura recomendados.

5.3. Humedad (%)

La humedad fue evaluada dos veces por semana, los días miércoles y domingos por la tarde mostrando los siguientes datos los cuales se muestran en la Tabla 10 en donde el material de partida inició con un porcentaje mayor a 60 %, siendo el tratamiento 4 (estiércol de bovino con residuos de frejol) el que inicio con el mayor porcentaje de humedad con 73 %, seguido por el tratamiento 3 (estiércol de bovino con residuo de chilca) con 72 % y los que menos porcentaje de humedad poseían fueron el tratamiento 1 (estiércol de ovino más residuos de frejol con 62 % y el tratamiento 2 (estiércol de ovino más residuos de chilca) con 64 % de humedad cabe detallar que se hicieron 3 riegos: en la cuarta, octava y decimosexta semana de estudio y que la humedad tendía a disminuir, por tal motivo el riego era muy obligatorio con el fin de mantener la humedad dentro de un rango optimo del 40 y 60 %, además la humedad al terminar los cuatro tratamientos se encontraban dentro del rango siendo 47 %, 42 % y 41 % para el tratamiento 1, 2 y 3 respectivamente y el tratamiento 4 presento 40 % de humedad siendo este el menor de todos.

Tabla 10

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

Etapas	Semanas	T1 %	Semanas	T2 %	Semanas	T3 %	Semanas	T4 %
Humedad inicial	1	62	1	64	1	72	1	73
Fase mesófila I	1	58	1	60	1	67	1	68
Fase termófila	2	60	2	63	5	52	4	57
Fase mesófila II	6	54	6	56	7	49	7	54
Fase de maduración	9	59	8	48	9	60	10	58
Humedad final	21	47	21	42	21	41	21	40

El compost obtenido al final del estudio mostró cambios en el porcentaje de humedad en todas las etapas. La humedad es un parámetro importante para determinar la calidad del

compost, según lo mencionado por Gajalakshmi y Abbasi (2008) donde expone que es necesario mantener un equilibrio en el contenido de humedad durante el compostaje para proporcionar la cantidad adecuada de agua, permitiendo que los microorganismos se desplacen, transporten nutrientes y mantengan un flujo de oxígeno adecuado. Así se puede mantener una condición aeróbica en un rango óptimo de desarrollo entre el 40% y el 60% de humedad, siguiendo los datos del estudio previamente mencionados.

La humedad final del compost en este estudio se mantuvo dentro del rango óptimo, y la actividad de riego y volteo fueron actividades necesarias para mantener una actividad biológica normal, como se menciona en la literatura. Además, cabe destacar que la humedad tiende a disminuir a medida que la temperatura aumenta, lo cual es similar a los hallazgos de estudios realizados por Nabam et al. (2018) en donde menciona que el calor generado por los microorganismos durante el proceso de compostaje conduce a la evaporación del agua y que alto porcentaje de humedad inicial fue consecuencia de un buen producto final estable. Por lo tanto, el control de la humedad es factible y esencial en este estudio, donde la humedad comenzó en valores superiores al 60%.

5.4. Carbono Orgánico total (%)

Después de llevar a cabo la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos de la variable de carbono total, se obtuvo un valor de p de 0.2632, el cual es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Esto sugiere que los datos siguen una distribución normal y que cumplen con el supuesto de normalidad. Posteriormente, se realizó la prueba de homogeneidad de variables utilizando el test de Bartlett, y se obtuvo un p -valor de 0.513, el cual también supera el nivel de significancia de 0.05. Este resultado indica que existe homogeneidad entre las muestras analizadas, lo que significa que las varianzas son similares y se cumplen los supuestos de homogeneidad para el análisis estadístico.

Luego de verificar que los datos recopilados para la variable del carbono total cumplían con los requisitos de normalidad y homogeneidad, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA). Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 11, y se observó que hubo significancia estadística tanto para el factor del estiércol como para la interacción entre el estiércol y los residuos con respecto al porcentaje de carbono total. Esto se debió a que el valor de p (p -value) fue menor a 0,05. En contraste, no se encontraron diferencias estadísticas

significativas con respecto a los residuos. Además, el coeficiente de variación fue del 2.78 %, lo que indica que los datos presentaron una dispersión relativamente baja.

Tabla 11

Análisis de varianza (ANOVA) de la variable Carbono total

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F value	Pr(>F)	Signif.
(Estiércol) Factor A	1	371.9	371.9	521.759	1.43*10-08	***
(Residuos) Factor B	1	1.2	1.2	1.698	0.2288	ns
Interacción A x B	1	4.2	4.2	5.933	0.0408	*
ERROR	8	5.7	0.7			
CV (%) = 2.78						
Promedio (%) = 30.26						

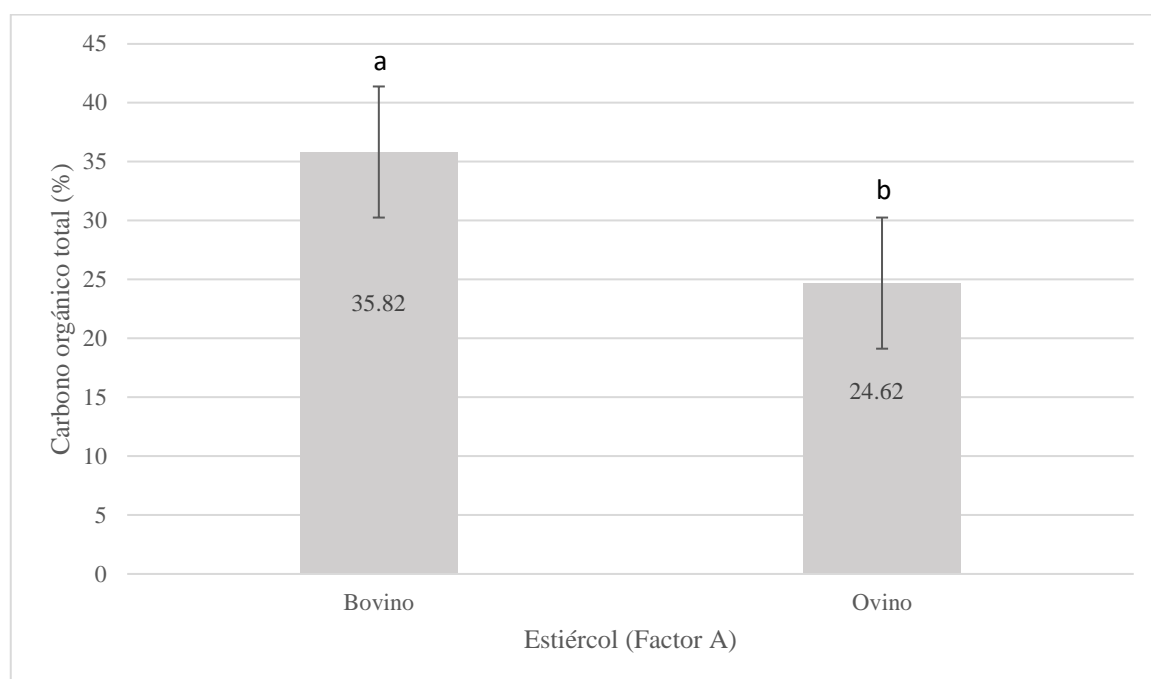
Cuando se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para la variable de carbono total, se obtuvieron resultados que indicaron la presencia de diferencias estadísticamente significativas. En consecuencia, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa. Esto implica que al menos dos de los grupos o tratamientos comparados presentan diferencias significativas en cuanto a sus valores de carbono total, lo que respalda la idea de que existen variaciones sustanciales entre ellos.

Para discernir las discrepancias específicas entre los tratamientos, se aplicó el análisis de rangos múltiples de Tukey a los factores bajo examen que mostraron diferencias estadísticamente significativas. En el caso del factor A, se observa claramente en la figura 8 que existen diferencias altamente significativas entre el estiércol de bovino y el estiércol de ovino, con el estiércol de bovino exhibiendo un rango considerablemente mayor, con una diferencia estadística del 35.82%. Por otro lado, el estiércol de ovino tiene un rango menor,

con un valor del 24.62%. Esto indica que el estiércol de bovino fue la opción superior términos de los resultados analizados.

Figura 8

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



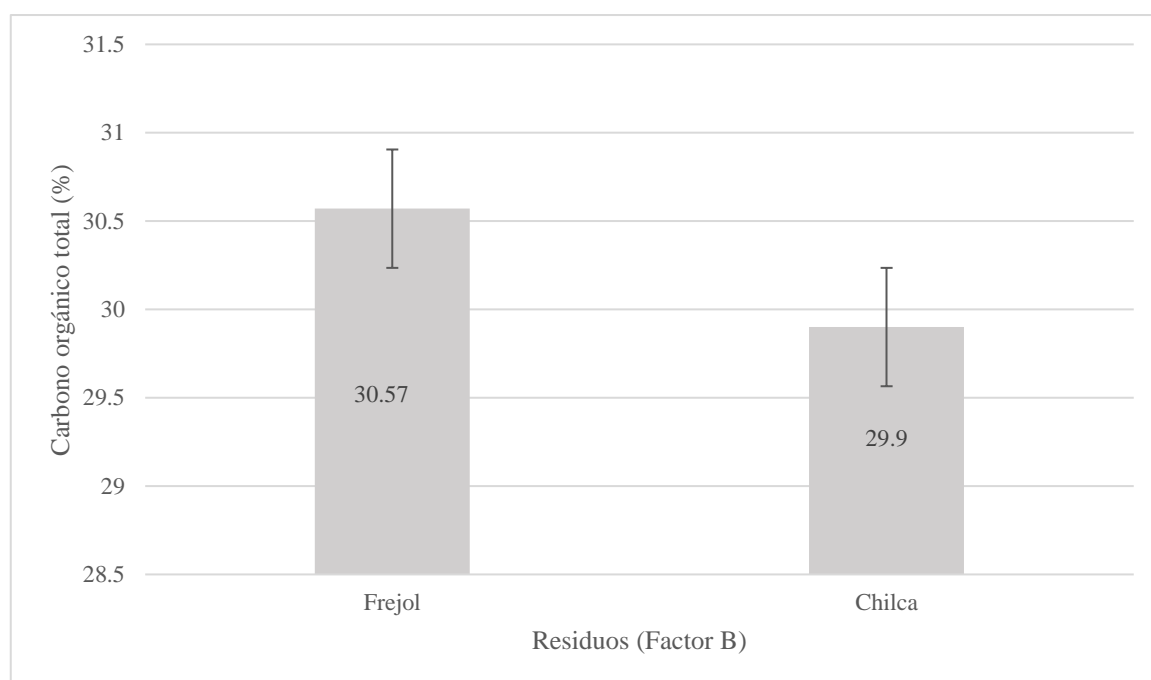
En un estudio previo llevado a cabo por Ramírez en 2017 sobre la gestión de excretas de oveja mediante compostaje, se informaron valores de carbono orgánico del 37.58%, que difieren de los resultados obtenidos en el estudio actual. Es importante destacar que la discrepancia en los resultados podría deberse al proceso de compostaje en sí, ya que el estudio anterior tuvo una duración de 13 semanas, mientras que el presente estudio se extendió a lo largo de 21 semanas. Esta diferencia en el período de compostaje podría haber permitido una mayor maduración del compost en el estudio actual, lo que a su vez podría haber afectado los niveles de carbono orgánico y explicar las diferencias en los resultados.

Los estudios realizados por Arévalo (2022), que evaluaron el compostaje a base de estiércol de ovino y bovino, informaron valores finales de carbono del 31.12% y 21.7%, respectivamente. Estos resultados difieren de los obtenidos en el estudio actual. Además, se menciona que el compost final no debería superar el 40% de contenido de carbono, ya que un exceso de carbono tiende a oxidarse, lo que puede causar una deficiencia de microorganismos en el compost. Sin embargo, en el presente estudio, no se observó este problema, lo que sugiere que el proceso de compostaje y las condiciones específicas pueden haber variado entre los estudios, dando lugar a diferentes resultados en cuanto a los niveles de carbono.

Aunque no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el factor B relacionado con los residuos vegetales, una comparación de promedios revela que, si bien no hay diferencias estadísticas, los valores no son matemáticamente iguales. Se puede observar claramente en la figura 9 que los residuos de frejol presentan un 30.57% de carbono total, mientras que los residuos de chilca tienen un 29.9% de carbono total. Aunque estas diferencias no alcanzan significación estadística, sí demuestran que hay variabilidad en los contenidos de carbono total entre estos dos tipos de residuos vegetales.

Figura 9

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

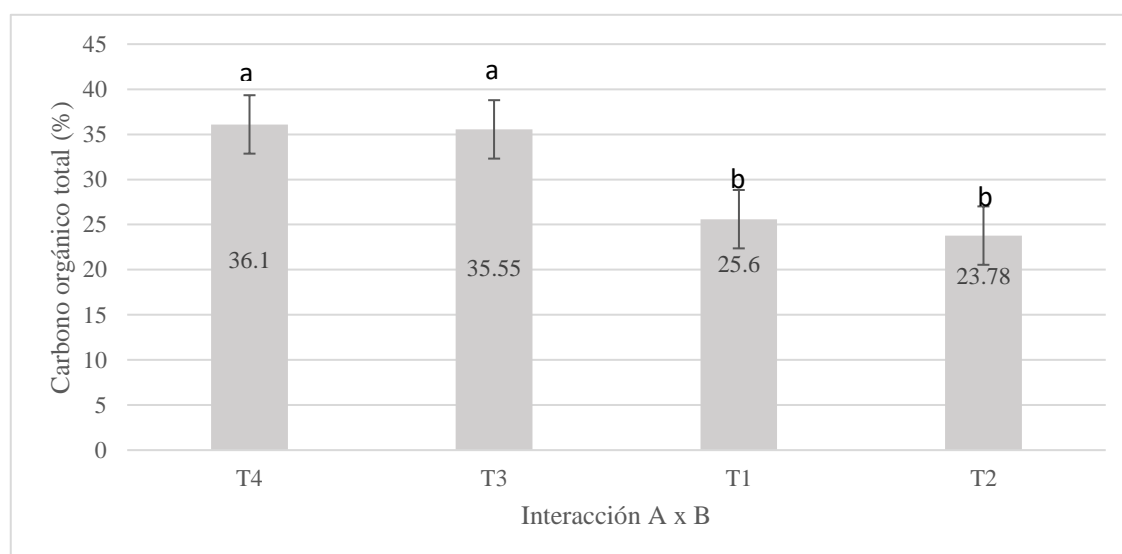


Los estudios realizados por Rivas y Silva (2020), en los cuales se llevaron a cabo tres tipos diferentes de compostaje, arrojaron resultados de carbono total orgánico por debajo del 5%. Según lo que mencionan Rivas y Silva, estos valores se sitúan por debajo de los estándares establecidos por la norma chilena, que establece que un compost maduro y estabilizado debe tener un nivel de carbono orgánico total superior al 15%. En contraste, los resultados obtenidos en la investigación actual muestran niveles de carbono total más altos, lo que indica que el material resultante es más estable y rico en carbono en comparación con los composts del estudio previo. Esto sugiere que el proceso de compostaje en el estudio actual ha llevado a la obtención de un producto que cumple con los criterios de madurez y estabilidad según la norma chilena, en contraposición a los resultados obtenidos por Rivas y Silva.

Los resultados presentes en la Figura 10 en donde se puede evidenciar que los tratamientos T4 (estiércol de bovino + residuos de frejol) y T3 (estiércol de bovino + residuos de chilca) mostraron similitudes estadísticas, con medias de carbono total de 36.10 % y 35.55 % respectivamente. Estos tratamientos difirieron estadísticamente en sus medias de los tratamientos T1 (estiércol de ovino + residuos de frejol) y T2 (estiércol de ovino + residuos de chilca), los cuales pertenecían al mismo rango. Las medias de carbono total para estos tratamientos fueron de 25.60 % y 23.78 %, respectivamente.

Figura 10

Prueba de rango múltiple Tukey para la variable Carbono total



En estudios similares al desarrollado se puede evidenciar que los datos de la presente investigación se encuentran dentro de los rangos en el estudio realizado por Larney y Hao (2007) en donde realizó 8 diferentes compost de estiércol bovino con paja de tamo de residuos agrícolas usados para mitigar en frío en los establos con una relación de 4:1 respectivamente, en el que determinó la calidad y estabilidad del compost mediante un análisis mineralógico de carbono total, nitrógeno total y su relación en el cual obtuvo datos de carbono de diferentes rangos que van desde 125 g kg^{-1} a 420 g kg^{-1} que transformando a porcentaje va desde 12.5 % a 42 %, siendo el más cercano al presente estudio los datos obtenidos el de 31.1 % en el caso de compost de estiércol con residuos vegetales mencionando que se encuentran estables y maduros, confirmando así un buen porcentaje de carbono total para el presente estudio, de igual manera en un estudio realizado por Kumar et al. (2022), se investigó la creación de distintos tipos de compost utilizando estiércol de bovino combinado con diferentes desechos orgánicos. Uno de los hallazgos más relevantes fue la utilización de estiércol de vaca junto con hojas rasca de teca (*Tectona grandis*) en el proceso de compostaje durante 160 días. El resultado obtenido fue un porcentaje de carbono total del 34%, dato que se asemeja y se acerca a los resultados mencionados en el presente estudio.

Diferentes estudios realizados por Zhao et al. (2022), en donde compostó estiércol de ovino con paja de trigo investigación que tuvo la duración de 45 días, encontró que la degradación de compostaje final fue de un porcentaje de carbono total de 38%, datos que difieren del presente estudio, cabe detallar que la duración del ensayo fue mucho mayor y que hubo mayor tiempo para descomponer el carbono total como lo menciona Mukesh et al. (2020) donde señala que la concentración de carbono orgánico total disminuye de manera progresiva debido al tiempo y rápida descomposición de los desechos orgánicos ricos en carbono como también la producción de dióxido de carbono (CO_2) como resultado del metabolismo microbiano, siendo así de una descomposición alta debido al tiempo.

5.5. Nitrógeno total (%)

Al realizar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk en la variable de nitrógeno total, se obtuvo un valor de p igual a 0.537, el cual es mayor que 0.05. Esto sugiere que los datos siguen una distribución normal y que cumplen con el supuesto de normalidad.

Posteriormente, se procedió a realizar la prueba de homogeneidad de las variables utilizando el test de Bartlett para el nitrógeno total, y se obtuvo un valor de p igual a 0.695, el cual también es mayor que 0.05. Este resultado confirma la presencia de homogeneidad en los datos, lo que significa que las varianzas entre los grupos son similares.

Dado que los datos recopilados para la variable de nitrógeno total demostraron cumplir con los requisitos de normalidad y homogeneidad, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) cuyos resultados se presentan en la Tabla 12. En esta tabla, se observa que se encontró significancia estadística en relación al tipo de estiércol y a la interacción entre el tipo de estiércol y los residuos en lo que respecta al porcentaje de nitrógeno total. Esto se debe a que el valor de p fue menor que 0.05, en contraste con los residuos, que no mostraron diferencias estadísticas. Además, el coeficiente de variación es del 0.97 %, lo que sugiere que los datos presentaron una variabilidad baja, indicando así consistencia y uniformidad en los resultados obtenidos.

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) de la variable Nitrógeno total

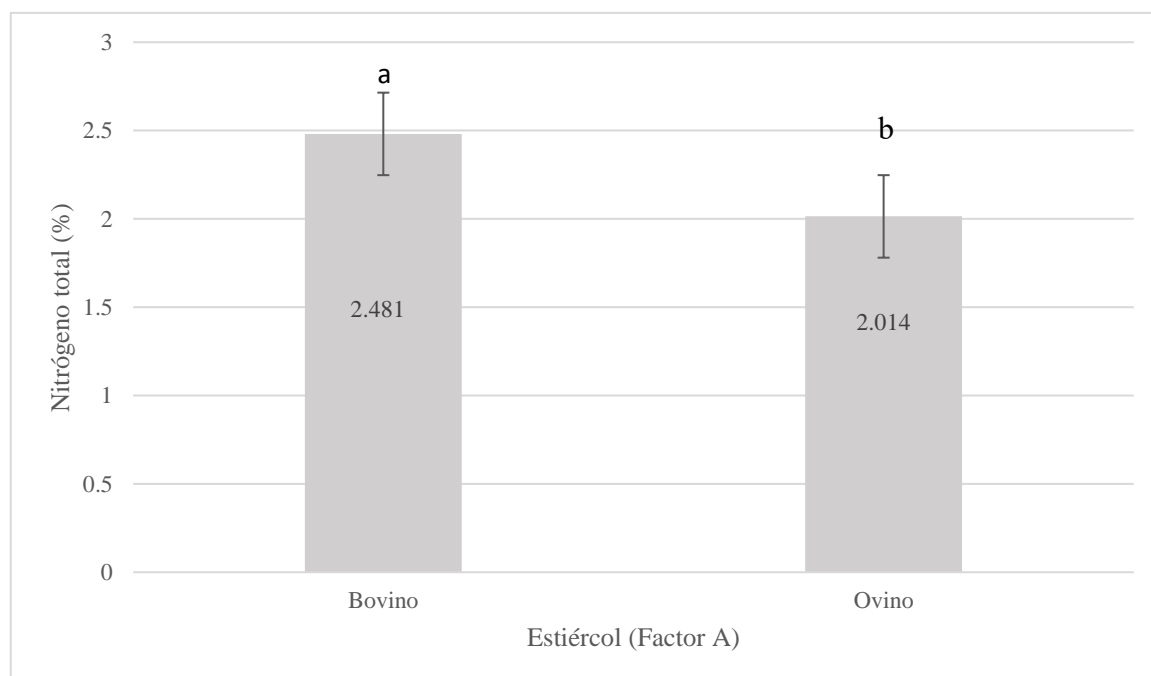
Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F value	Pr(>F)	Signif.
(Estiércol) Facto A	1	0.6547	0.6547	1372.339	3.09*10-10	***
(Residuos) Factor B	1	0.0017	0.0017	3.583	0.095	ns
Interacción A x B	1	0.2099	0.2099	439.956	2.80e-08	***
ERROR	8	0.0038	0.0005			
CV (%) = 0.97						
Promedio (%) = 2.24						

Al llevar a cabo el análisis de varianza (ANOVA) para la variable de nitrógeno total, se detectaron diferencias estadísticamente significativas. Esto llevó al rechazo de la hipótesis

nula y a la aceptación de la hipótesis alternativa. Para determinar las diferencias específicas entre los tratamientos, se realizó la prueba de rangos múltiples de Tukey. Los resultados de esta prueba se muestran en la Figura 11, donde se puede observar las diferencias de los diferentes tipos de estiércol pertenecientes al Factor A en donde el estiércol de bovino supera al estiércol de ovino con 2.48 % y 2.01% respectivamente en la cantidad de nitrógeno total.

Figura 11

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



Los resultados del presente estudio, en los cuales se obtuvieron valores de porcentaje de nitrógeno total, muestran similitudes con los hallazgos de estudios anteriores. En el estudio realizado por Ramírez (2017), se obtuvieron valores de 1.82% y 1.99% para el porcentaje de nitrógeno total al evaluar el compostaje de las excretas de oveja, lo que se aproxima a los resultados del presente estudio. Además, en el estudio de Rivas y Silva (2020), se menciona que la norma chilena de compost establece un rango de calidad para el compost, enfatizando que el nitrógeno total debe ser mayor al 0.5%. Los resultados del presente estudio superan este valor, lo que indica que los valores de nitrógeno total obtenidos son aptos para su uso en la agricultura, de acuerdo con los estándares establecidos por la normativa chilena. Esto

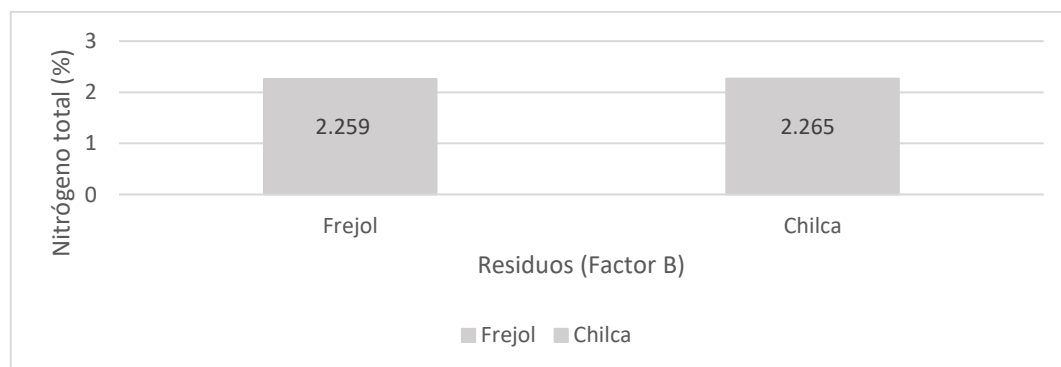
respalda la calidad del compost producido en el estudio actual y su idoneidad para fines agrícolas.

Los resultados obtenidos en el estudio de Arévalo (2020), que involucraron dos tipos de estiércol de ovino y bovino, muestran diferencias con los resultados del presente estudio en cuanto al porcentaje de nitrógeno total, en su estudio obtuvo un porcentaje de nitrógeno total del 2.41 % para el compost a base de estiércol de ovino y un 1.64 % para el compost a base de estiércol de bovino. Sin embargo, al igual que en el presente estudio, Arévalo también comparó estos datos con los parámetros establecidos por la norma chilena 2880 y encontró que los valores obtenidos estaban dentro de los rangos establecidos. La norma chilena destaca que un compost de calidad debe tener un porcentaje de nitrógeno total mayor al 0.5 %, y tanto los resultados del estudio de Arévalo como los del presente estudio cumplen con este criterio, lo que sugiere que ambos compostajes son de calidad y adecuados para su uso en la agricultura según los estándares de la normativa chilena.

A pesar de no encontrar diferencias estadísticas significativas en el factor B relacionado con los residuos vegetales, una comparación de promedios pone de manifiesto que, si bien no existen diferencias estadísticas, los valores no son matemáticamente idénticos. En la figura 12, es evidente que los residuos de frejol presentan un 2.259% de nitrógeno total, mientras que los residuos de chilca tienen un 2.235% de nitrógeno total. Aunque estas diferencias no alcanzan significación estadística, indican que existe variabilidad en los contenidos de nitrógeno total entre estos dos tipos de residuos vegetales.

Figura 12

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

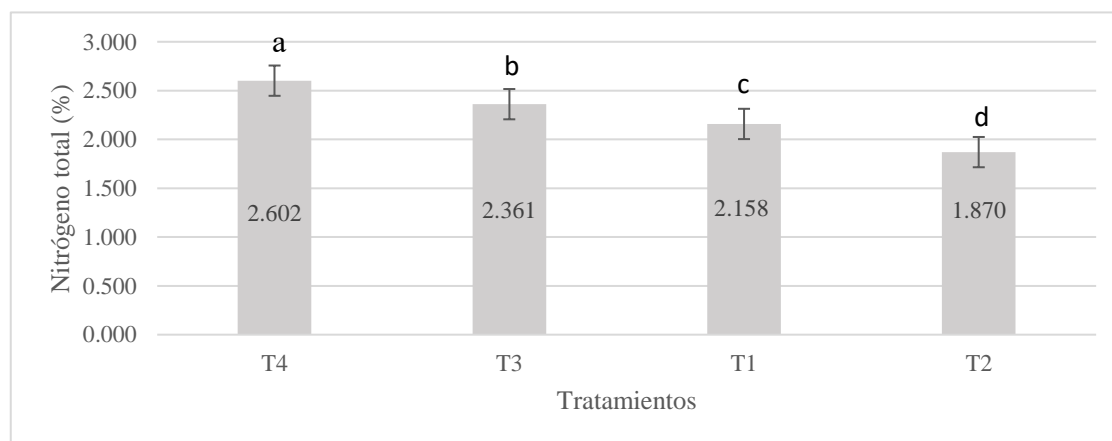


Los datos obtenidos en el presente estudio revelan valores elevados de porcentaje de nitrógeno total tanto para los residuos de frejol como para los de chilca. Estos hallazgos coinciden con lo que Maceda (2015) menciona en su estudio sobre compostaje, donde señala que valores superiores al 0.8% de nitrógeno total son un indicador de calidad. Además, explica que el nitrógeno puede aumentar debido a la mineralización del nitrógeno y a la disminución del carbono, lo que respalda los resultados del presente estudio. Los datos citados por Zhao et al. (2022) en su estudio de evaluación de compostaje también respaldan estos hallazgos en donde se obtuvo un valor de 1.83% de nitrógeno total al inicio de la descomposición y 1.92% en el compost final, lo que sugiere que el nitrógeno tiende a aumentar a medida que el carbono se degrada durante el proceso de compostaje. En conjunto, estos estudios respaldan la idea de que los valores elevados de nitrógeno total en el presente estudio son indicativos de un compost de calidad y sugieren un proceso de descomposición exitoso.

Los datos obtenidos para la interacción de los dos factores (A x B) muestran en el la figura 13 en donde se puede evidenciar que el tratamiento T4 (estiércol de bovino + residuos de frejol) exhibió la mayor media de 2.60 % de nitrógeno total, siendo significativamente diferente al tratamiento T3 (estiércol de bovino + residuos de chilca) con un valor de 2.36 %. Además, difiere del tratamiento T1 (estiércol de ovino + residuos de frejol) que tiene una media de 2.15 % y del tratamiento T2 (estiércol de ovino + residuos de chilca), que mostró el valor más bajo. En resumen, el tratamiento T4 se destacó como el que poseía el contenido más alto de nitrógeno total en comparación con los otros tratamientos del estudio.

Figura 13

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



En análisis de investigaciones afines al presente estudio, se destaca una similitud con la investigación realizada por Gonzales (2021). En este estudio, se llevó a cabo el proceso de compostaje empleando estiércol de ovino y dos especies forestales, resultando en valores de nitrógeno total que se ubicaron en un rango entre el 1.72 % y 2.28 %. Los resultados de este estudio llevaron a la conclusión de que el compost tenía un alto contenido de nitrógeno total, lo que se considera una característica de un compostaje maduro debido a la presencia de grandes cantidades de nitratos, un hallazgo que se asemeja a los resultados obtenidos en el presente estudio.

De manera similar, Arévalo (2022) llevó a cabo un estudio en el cual comparó el proceso de compostaje utilizando estiércol de bovino, ovino y residuos orgánicos. En este caso, los valores de nitrógeno total obtenidos fueron de 2.41 % para el tratamiento de residuos orgánicos + estiércol de ovino y 1.64 % para el tratamiento de residuos orgánicos + estiércol de bovino, valores que difieren de los obtenidos en el presente estudio.

Cabe mencionar que la FAO (2013), en su manual de compostaje para agricultores, señala que el contenido de nitrógeno en el compost puede variar significativamente debido al material de origen, lo que explica la variabilidad observada en diferentes estudios

5.6. Relación carbono-nitrógeno (C/N)

Los resultados obtenidos a través de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a la variable de carbono – nitrógeno indican que el valor del p-valor es igual a 0.646 e es mayor a 0,05, lo cual sugiere que los datos presentaron una distribución normal y, por lo tanto, se puede afirmar que existe normalidad en la distribución de los datos. Después se procedió a realizar la prueba de homogeneidad de las variables relación carbono nitrógeno utilizando el test de Bartlett en relación al carbono – nitrógeno. Los resultados presentes en esta prueba dieron un valor del p-valor de 0.695 valor que es superior a 0,05, lo que sugiere que existe un nivel de significancia que confirma la presencia de homogeneidad en los datos relacionados con la relación carbono - nitrógeno.

Después de confirmar que los datos recopilados para la variable de carbono-nitrógeno cumplen con los requisitos de normalidad y homogeneidad, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) cuyos resultados se presentan en la Tabla 13 En esta tabla, se destaca

que se encontró una significancia estadística altamente significativa tanto para el estiércol, los residuos y la interacción entre el estiércol y los residuos en relación a la relación carbono-nitrógeno. Esto se debió a que el valor p fue mayor que 0,05. Además, el coeficiente de variación para esta variable fue del 1.16 %, un valor muy bajo que indica una baja variabilidad de datos

Tabla 13

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

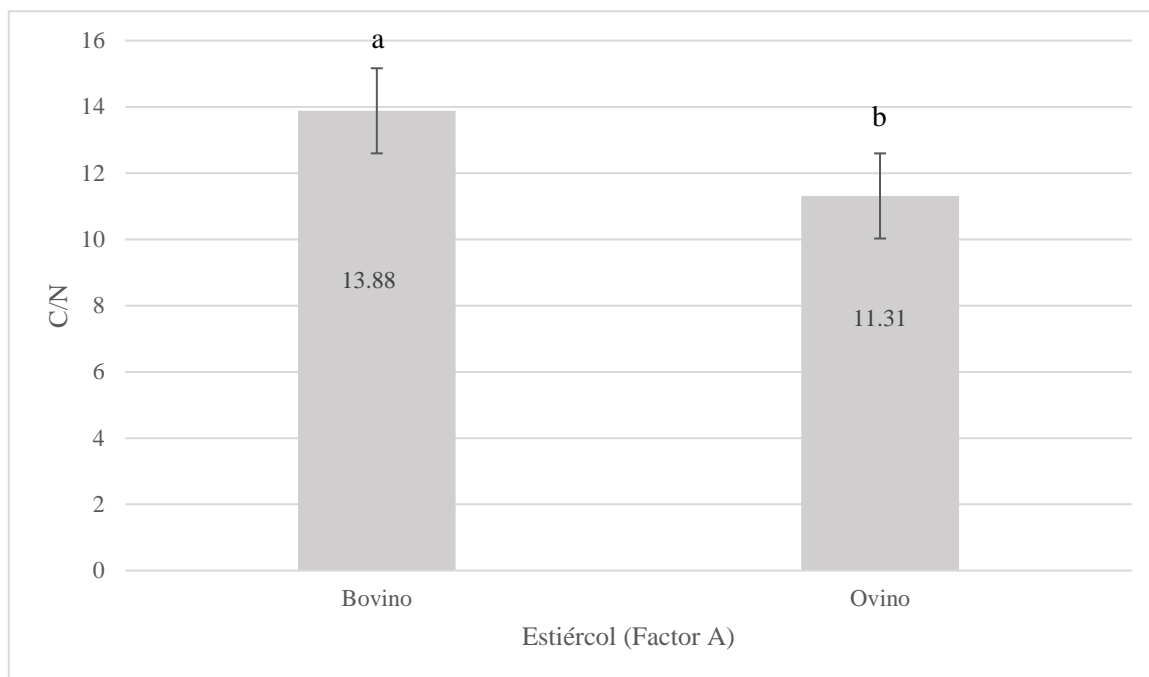
Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F value	Pr(>F)	Signif.
(Estiércol) Factor A	1	19.817	19.817	923.21	1.49*10-09	***
(Residuos) Factor B	1	0.799	0.799	37.21	0.000289	***
interacción A x B	1	7.750	7.750	361.05	6.09*10-08	***
ERROR	8	0.172	0.021			
CV (%) = 1.16						
PROMEDIO (%) = 12.6						

Al realizar el análisis de varianza (ANOVA) para la variable de carbono-nitrógeno, se identificaron diferencias estadísticamente significativas. Esto condujo al rechazo de la hipótesis nula y a la aceptación de la hipótesis alternativa. Para identificar las diferencias específicas entre los tratamientos, se llevó a cabo la prueba de rangos múltiples de Tukey.

En la figura 14 se puede apreciar los diferentes tipos de estiércol pertenecientes al Fator A, en donde evidentemente son diferentes uno del otro presentando valores de 13.88 de relación para el estiércol de bovino y 11.31 de relación para el estiércol de ovino

Figura 14

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

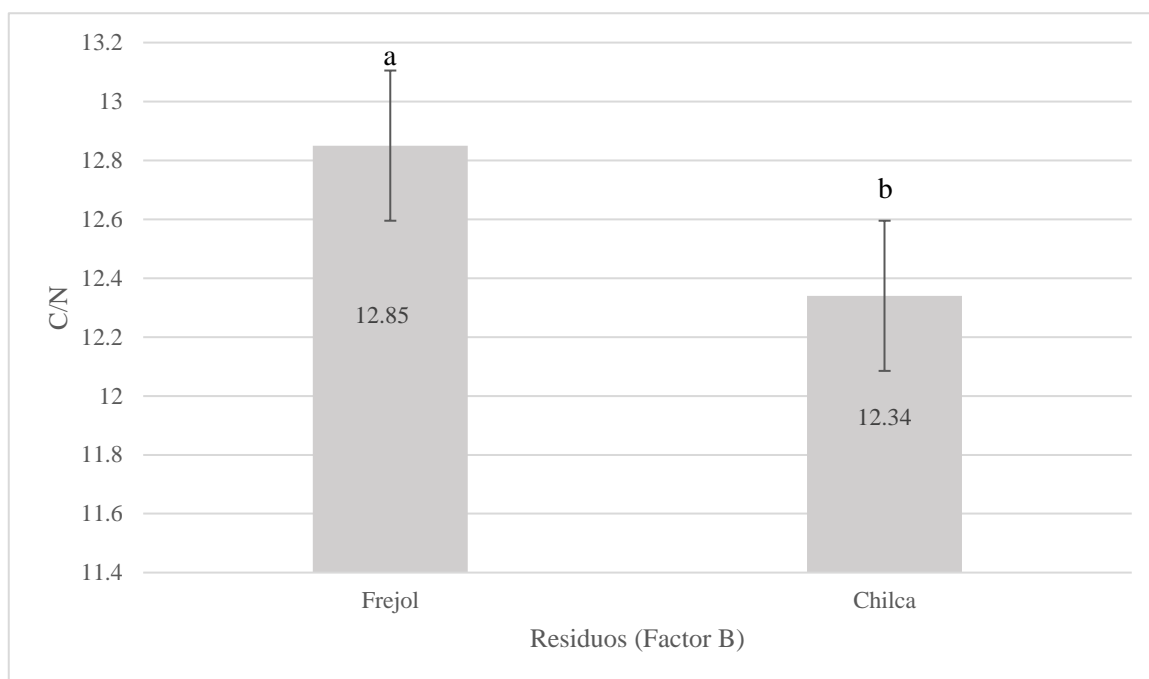


Los datos obtenidos en el presente estudio, tanto para el estiércol de ovino como para el de bovino, se encuentran en concordancia con las recomendaciones de la FAO (2013) en su manual de compostaje para el agricultor donde menciona que un compost maduro y bien realizado debe tener una relación de carbono a nitrógeno (C/N) en el rango de 10:1 a 15:1. Los valores en el presente estudio están dentro de estos rangos establecidos, lo que respalda la calidad del compost producido. Además, las referencias de Garro (2016) en su manual de suelo y abono orgánicos también apoyan estos hallazgos. Garro menciona que la relación C/N es un indicador de madurez en el compost, y que, en un compost maduro, esta relación debería estar en el rango de 10 a 15. Esto coincide con los resultados del presente estudio y sugiere que tanto el estiércol de ovino como el de bovino son adecuados para su uso en la agricultura, ya que cumplen con los estándares de madurez y calidad del compost.

De la misma manera en la figura 15 se puede apreciar los diferentes tipos de residuo pertenecientes al Factor B, en donde evidentemente son diferentes uno resaltando que poseen diferencias significativas en donde el residuo de frejol supera con un valor de 12.85 de relación carbono nitrógeno a los residuos de chilca que presentó un valor de 12.34.

Figura 15

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

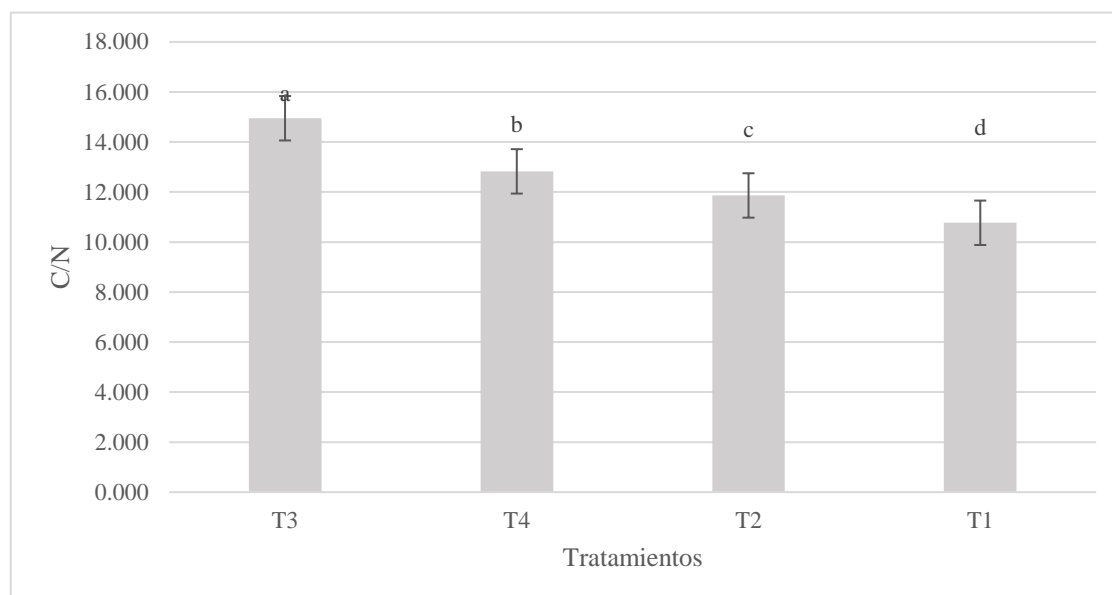


Se puede evidenciar que el rango de los dos residuos se encuentra dentro de los establecidos por la FAO (2013) en donde se menciona que un compostaje maduro llega a un rango de carbono nitrógeno de 10:1 a 15:1 valor que demuestra que los dos residuos son aptos para la agricultura debido a que presentaron una descomposición y una estabilidad de calidad.

En la figura 16 se muestra la interacción de los dos factores en la cual existe diferencia estadística mostrando que el tratamiento T3 (estiércol de bovino + residuos de chilca) mostró el valor más alto en la relación carbono-nitrógeno, con un promedio de 14.94. Esto significa que, por cada parte de nitrógeno, existen aproximadamente 14.94 partes de carbono en este tratamiento. En contraste, el tratamiento T4 (estiércol de bovino + residuos de frejol) tuvo una media estadística de 12.82 en la relación carbono-nitrógeno, que difiere de manera significativa del tratamiento T2 (estiércol de ovino + residuos de chilca), que presentó una media de 11.86 en esta relación. A su vez, el tratamiento T1 (estiércol de ovino + residuos de frejol) exhibió el valor más bajo, con aproximadamente 10.79 partes de carbono por cada parte de nitrógeno. En resumen, el tratamiento T3 mostró la mayor proporción de carbono en relación al nitrógeno, mientras que el tratamiento T1 presentó la proporción más baja.

Figura 16

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



Los datos obtenidos en el presente estudio sobre la relación carbono-nitrógeno coinciden con los resultados obtenidos por Escobar et al. (2012) en su evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas. En su estudio, elaboraron compost a base de estiércol de bovino y obtuvieron un compost final con una relación C/N de 12.1. Sin embargo, estos resultados difieren de los obtenidos en el presente estudio debido a las diferencias en el material de partida y el tiempo de compostaje, que fueron mayores en el presente estudio.

En otro estudio en el que se compararon diferentes tipos de compost a base de residuos orgánicos con distintos tipos de estiércol, realizado por Arévalo (2022), se encontraron valores de relación C/N de 12.91 para el compost a base de estiércol de ovino y 12.98 para el compost a base de estiércol de bovino. Estos valores se encuentran dentro del rango ideal según la FAO (2013), que establece un rango de 10:1 a 15:1 para el compost maduro. Los resultados obtenidos en el presente estudio también se encuentran dentro de estos rangos.

Además, el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2020) menciona en su manual de aprovechamiento de residuos orgánicos que un compostaje maduro y estabilizado presenta relaciones carbono-nitrógeno mayores a 10 y menores a 20, lo que respalda la adecuación de los resultados del presente estudio a los estándares establecidos.

5.7 Germinación (%)

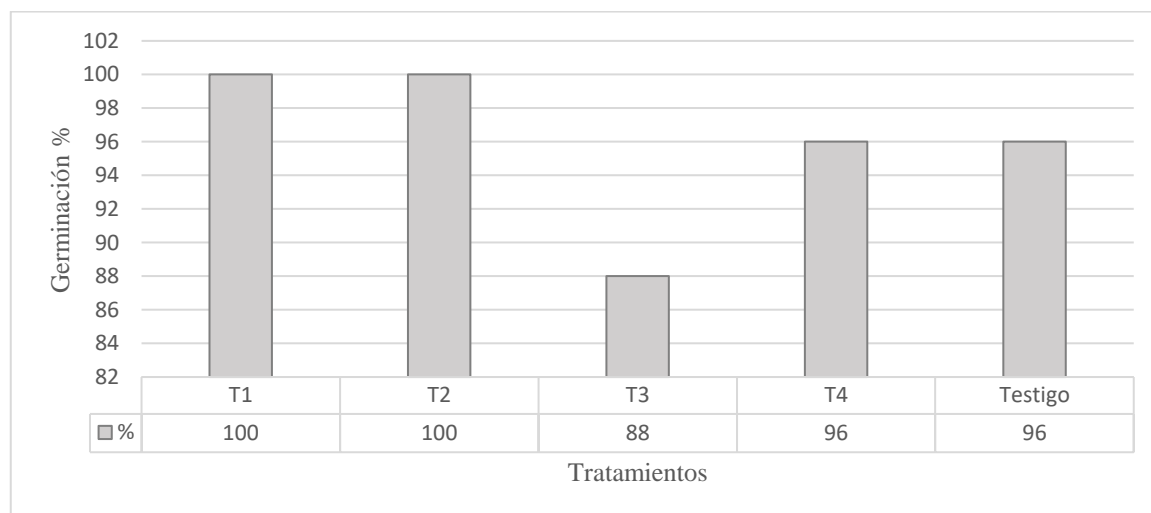
En la figura 17 se presentan los datos obtenidos del porcentaje de germinación, donde se puede observar que tanto el tratamiento 1 (estiércol de ovino + residuos de frejol) como el tratamiento 2 (estiércol de ovino + residuos de chilca) alcanzaron un porcentaje de germinación del 100%. Esto significa que, de las 24 semillas sembradas en cada uno de estos tratamientos, todas germinaron con éxito.

Por otro lado, el tratamiento T4 (estiércol de bovino + residuos de frejol) y el grupo de control (suelo) obtuvieron un porcentaje de germinación del 96%, lo que significa que, de las 24 semillas sembradas en cada uno de estos grupos, 23 germinaron de manera satisfactoria.

El tratamiento T3 (estiércol de bovino + residuos de chilca) presentó el menor porcentaje de germinación, con un 88%. Esto indica que, de las 24 semillas sembradas en este tratamiento, 21 germinaron satisfactoriamente. Es importante destacar que el tiempo de germinación de las semillas fue de 8 días.

Figura 17

Porcentaje de germinación de los tratamientos



En el presente estudio, se puede observar que el porcentaje de germinación supera el 80%. Esto concuerda con hallazgos anteriores, como los de Varnero et al. (2007), quienes investigaron índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos y utilizaron semillas de lechuga

y rábano para evaluar la calidad del compost. En su estudio, encontraron que los compostajes con un porcentaje de germinación por debajo del 80% no habían alcanzado su madurez total. Esto se debió a la presencia de material orgánico inmaduro y amoníaco en la estructura del compost, lo que indica que el material no era adecuado para su uso en la agricultura.

De manera similar, Li et al. (2022) en su estudio sobre los efectos de la relación carbono-nitrógeno en el proceso de compostaje, determinaron el porcentaje de germinación. Según sus hallazgos, un porcentaje de germinación inferior al 80% no se considera apto para la agricultura, ya que indica la falta de estabilidad y madurez en el compost. En cambio, un porcentaje de germinación superior al 80% podría considerarse libre de fitotoxicidad y adecuado para su uso en prácticas agrícolas.

5.8. Cantidad de compost obtenido

En la tabla 14 se puede evidenciar los kg obtenidos de compost en donde se muestra que el tratamiento T1 (estiércol de ovino más residuos de frejol) fue el que más degradación presentó con 23 kg finales de 44 kg seguido por el tratamiento T2 (estiércol de ovino más residuos de chilca) que presentó 25 kg de 44 kg diferente a los tratamientos T3 (estiércol de bovino más residuos de chilca) y T4 (estiércol de bovino más residuos de frejol) los cuales presentaron 28 kg de 44 kg iniciales

Tabla 14

Kilogramos de compost obtenidos

Tratamiento	Kg de partida	Kg finales
T1	44	23
T2	44	25
T3	44	28
T4	44	28

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con lo mencionado por la FAO (2013), que indica que el volumen de reducción en el compostaje puede alcanzar hasta un 50%. Sin embargo, es importante notar que López (2017) menciona que la reducción en el compostaje bajo invernadero puede variar desde el 50% hasta el 60%. Esta pérdida de volumen se debe a la compactación y a la liberación del carbono en forma de dióxido de carbono (CO₂). Los

valores obtenidos en este estudio se encuentran dentro de los rangos mencionados, lo que indica que el proceso de compostaje ha sido eficiente en términos de reducción de volumen y liberación de carbono, lo cual es consistente con las estimaciones de la FAO y López.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- En la presente investigación se logró caracterizar los residuos agrícolas y ganaderos existentes en la Granja Experimental ECAA, como por ejemplo el estiércol de ganado vacuno, el estiércol de ovino, restos de poda de chilca y restos de cultivo de frejol, los cuales se confirman que es materia prima óptima para la elaboración de compost y su uso para la agricultura.
- Mediante el proceso de compostaje se pudo analizar la evolución de la materia prima a compostar, teniendo una duración de 147 días (21 semanas) en donde todos los tratamientos pasaron por las 4 fases del compostaje: fase mesófila 1, fase termófila o de higienización, fase mesófila 2 o de enfriamiento y la fase de maduración, concluyendo que se obtuvo un material maduro y estabilizado.
- Los resultados del estudio indican que es posible llevar a cabo la elaboración de compostaje utilizando estiércol de ovino, estiércol de bovino, residuos de chilca y residuos de frejol. Los tratamientos que demostraron ser más efectivos fueron el tratamiento 1 (estiércol de ovino + residuos de frejol) y el tratamiento 2 (estiércol de ovino + residuos de chilca), ya que alcanzaron un porcentaje de germinación del 100% en las pruebas fitotóxicas realizadas con las semillas de avena forrajera. Esto sugiere que estos tratamientos han producido un compost de alta calidad y libre de fitotoxicidad, lo que lo hace adecuado para su uso en prácticas agrícolas. El estudio respalda la viabilidad de utilizar estos materiales en la elaboración de compost de buena calidad y beneficioso para el crecimiento de las plantas.
- A través de las pruebas físicas realizadas, se pudo observar que todos los tratamientos presentaron rangos óptimos en varios aspectos: Humedad: Los tratamientos mantuvieron un rango adecuado de humedad, que osciló entre el 40% y el 60%. Esto es importante para garantizar condiciones óptimas de compostaje. Temperatura: Las temperaturas alcanzaron rangos óptimos para la higienización, superando los 60°C.

Esto indica que el proceso de compostaje fue efectivo para eliminar microorganismos patógenos y semillas de malezas.

- Según el análisis químico, se pudo identificar que los tratamientos 1 (estiércol de ovino + restos de frejol) y 2 (estiércol de ovino + restos de chilca) obtuvieron los mejores resultados. Estos tratamientos mostraron valores bajos en la cantidad de carbono, nitrógeno y relación C/N. Estos valores bajos en la relación C/N son un indicativo de una buena degradación de los materiales orgánicos en el compost, lo que sugiere un proceso de compostaje efectivo. En contraste, los tratamientos 3 (estiércol de bovino + residuos de chilca) y 4 (estiércol de bovino + residuos de frejol) obtuvieron valores diferentes, lo que sugiere una degradación menos eficiente de los materiales. En resumen, los resultados del análisis químico indican que no existen restricciones para el uso de los cuatro tratamientos en la agricultura. Sin embargo, los tratamientos 1 y 2 parecen haber experimentado un proceso de compostaje más efectivo en comparación con los tratamientos 3 y 4. Esto sugiere que los tratamientos 1 y 2 pueden ser considerados como los más adecuados para su uso en prácticas agrícolas.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Es aconsejable emplear microorganismos que aceleren el proceso de compostaje y descomposición del material inicial, ya que esto tiene el potencial de reducir el tiempo necesario para que el material se degrade. Además, estos microorganismos pueden ser de gran utilidad para descomponer materiales lignificados, conocidos por su descomposición naturalmente lenta..
- Se aconseja combinar materiales secos ricos en carbono, como la paja, con materiales frescos ricos en nitrógeno, como el estiércol. De esta manera, se logra una relación carbono-nitrógeno óptima que favorece la descomposición de los elementos y conduce a la formación de compost estable y maduro.
- Se recomienda analizar y realizar ensayos con residuos de materiales agroindustriales del Ecuador, para buscar soluciones sostenibles que perduren en el tiempo y puedan aplicarse a la disminución y gestión del material residual.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alurralde, A., Imhoff, S., Gariglio, N. y Barbier, A. (2021). Caracterización de abonos sólidos y líquidos derivados del compostaje de alperujo y restos de poda de olivares. *Ciencia del suelo*, 39(1), 94-111.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672021000100094&lang=es
- Acosta, M y Obaya, M. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39(1), 35-48.
<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
- Ambientum. (25 de noviembre de 2022). *Residuos agrícolas y forestales*.
https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/articulos-energia/residuos_agricolas_y_forestales.asp
- Ansorena, J., Batalla, E. y Merino, D. (2015). *Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos* [Archivo PDF].
https://cdn.blueberriesconsulting.com/2015/07/pdf_000304.pdf
- Arévalo, J- (2022). *Incorporación de estiércol para el mejoramiento del compost y concentración de macronutrientes, en la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos de Utcubamba 2022*. [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Amazónica].
https://repositorio.upa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12897/171/TESIS_AREVALO_ALEJANDRIA_JAROL_ABIMAEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aysabusha, G. (2020). *Evaluación del uso de la chilca (Baccharis latifolia) al 10%, 20% y 30% como suplemento en la alimentación de ovinos de 6 meses de edad en el Ceasa* [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Cotopaxi].
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6712/1/PC-000884.pdf>
- Banco Mundial. (2020). Agricultura, valor agregado (% del PIB) – Ecuador.
<https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=EC>

- Barrena, R. (2006). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso*. [Tesis de Grado, Universidad Autónoma de Barcelona].
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>
- Bautista, J. y Arévalo, J. (2021). Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Revista Ingeniería y Región*, 26, 20-28.
<https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/2527/4163>
- Bohórquez. (2019). *El proceso de compostaje*. Universidad de la Salle.
<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1071&context=libros>
- Comisión para la Cooperación Ambiental [CCA]. (2014), *La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 6 pp. <http://www.cec.org/files/documents/publications/11405-la-quema-de-residuos-agr-colas-es-una-fuente-de-dioxinas-es.pdf>
- Chandler, C., Ferrer, J., Mármol, Z., Páez, G., Ramones, E. y Perozo, R. (2008). Efecto de la aireación en el compostaje del bagacillo de la caña de azúcar. *Multiciencias*, 8(1), 19-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90480103>
- Chong-Qui, J. (2019). *Evaluación de tres tipos de compost en el rendimiento del cultivo de nabo (Brassica rapa L.)* [Tesis de Grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].
<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/6d2c1b9c-f704-45d6-8e70-21e1f1150559/content>
- Cornelio, M. (*Adaptabilidad de cinco variedades de frijol (Phaseolus vulgaris), en la finca Angamarca la Vieja del cantón Pangua, provincia de Cotopaxi año 2013*) [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Cotopaxi].
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/3551/1/T-UTC-00828.pdf>
- Coronel, A. y Ramón, G. (2022). Planta de compostaje y reciclaje para la gestión de residuos sólidos en Río Blanco, Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 8(1), 222-247.
<https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2487/5540>

- Duran, T. (2022). Producción de biogás a partir de la mezcla del estiércol del ganado ovino con microorganismos eficientes a escala de un biodigestor, para su utilización como fuente de energía renovable, en las zonas ganaderas del distrito de Ninacaca. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2626/1/T026_71784709_T.pdf
- Durazno, A. (2018). Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de Biogás en un biodigestor en producción por etapas. [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15445/1/UPS-CT007585.pdf>
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83, 5-71.
<https://www.redalyc.org/pdf/539/53908302.pdf>
- Escobar, F., Sánchez, J. y Azero, P. (2012). Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. *Acta Nova*, 5(3), 390-410.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892012000100004&lng=es&tlng=es.
- ESIN. 2014. *Atlas bioenergético del Ecuador*. Instituto Nacional de Preinversión.
http://www.mediafire.com/file/17dz5lbnwloiea6/ATLAS_BIOENERGETICO_DEL_ECUADOR.zip/file
- Fraga, M. (2010). *Microbiota ruminal: estrategias de modulación con microorganismos fibrolíticos*. [Tesis de Posgrado, Universidad de la Republica de Uruguay].
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/4110/1/uy24-15408.pdf>
- García, A. (2008). *La materia orgánica y su papel en lucha contra la degradación del suelo* [Archivo PDF]. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/9.-Dr.-Alvaro-Garcia.-MO.pdf>

- Gajalakshmi, S. y Abbasi, S. (2008). Solid waste management by composting: State of the art. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 38(5), 311-400.
<https://doi.org/10.1080/10643380701413633>
- Garro, J. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos*. [Archivo PDF].
<https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>
- Gonzales, P. (2021). *Elaboración de compost utilizando corteza de Ceiba pentandra (L.) Gaertn. (lupuna blanca) y Guazuma crinita Mart. (bolaina blanca) en un sistema cerrado horizontal con rotación en Pucallpa – Ucayali*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ucayali].
http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4844/UNU_FORESTAL_2021_T_PEDRO-GONZALES-RAMIREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI]. (2018). *Manual de buenas prácticas para producir compost hogareño*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
<https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/348>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2021). *Boletín Técnico Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. [Boletin Tecnico ESPAC 2020.pdf \(ecuadorencifras.gob.ec\)](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/publicaciones/catalogo/Boletin_Tecnico_ESPAC_2020.pdf)
- Larney, F. y Hao, X. (2007). A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. *Bioresource Technology*, 98(17), 3221-3227. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.005>
- Leanpio. (31 de enero de 2022). *Residuos agrícolas y su tratamiento*.
<https://www.leanpio.com/es/blog/residuos-agricolas-tratamiento>
- Li, D., Yang, J., Ding, J., Wang, H., Shen, Y. y Li, G. (2022). Effects of carbon/nitrogen ratio and aeration rate on the sheep manure composting process and associated gaseous emissions. *Journal of Environmental Management*, 323.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116093>

- Longoria, R., Oliver, S., Torres, J., Gonzales, R. y Méndez, G. (2014). Diseño, construcción y prueba de un prototipo automático para compostaje. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 70, 185-196. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n70/n70a18.pdf>
- López, A. (2017). *Gestión del contenido ruminal producido en la empresa pública metropolitana de rastro Quito a través de pilas composteras y su factibilidad económica de implementación*. [Escuela Politécnica Nacional, Tesis de Grado]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17489/1/CD-7990.pdf>
- Kim, M. y Wells, J. (2015). A Meta-analysis of Bacterial Diversity in the Feces of Cattle. *Current microbiology*, 72(2), 145–151. <https://doi.org/10.1007/s00284-015-0931-6>
- Kumar P., Behera, D., Kumar, D., Sethi, D., Mandal, M. Kumar, P., y Ravindran. B. (2022). Juxtaposing the quality of compost and vermicompost produced from organic wastes amended with cow dung. *Environmental Research*, 214(14), 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114119>
- Maceda, W. (2015). *Efecto de compost y estiércol de ovino en el cultivo de quinua*. [Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5652/T-2062.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Magdoff, F. y Weil, R. (2004) *Soil Organic Matter Management Strategies*. Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture: Michigan State University
- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2020). Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>

Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2019). Agricultura, la base de la economía y la alimentación. <https://www.agricultura.gob.ec/agricultura-la-base-de-la-economia-y-la-alimentacion/>

Miranda, C. (2022). *Determinación de la actividad antioxidante y composición química de Baccharis latifolia (chilca) planta ancestral de Pantaño-Ecuador*. [Tesis de Posgrado, Universidad Estatal de Milagro].
<https://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/5996/1/MIRANDA%20CABRERA%20CATALINA.pdf>

Miranda, J. (2020). *Composición química de residuos agroindustriales de plátano (Musa paradisiaca), frejól gandul (Cajanus cajan), maracuyá (Passiflora edulis), lodo de palma (Elaeis guineensis), y su aprovechamiento como materia prima en la producción pecuaria*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].
<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/75988060-bf21-44e4-8a02-29e3c85d9ced/content>

Moreno, J. y Moral, R. (2011). *Compostaje*. Mundi-Prensa.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=APuzwas6rrcC&oi=fnd&pg=PA4&dq=compostaje&ots=BSQtK1ntR0&sig=e3HKRoxvLRq1E8QUUVTuBrweySY#v=onepage&q=compostaje&f=false>

Mukesh, K., Yumin, D., Sanjeev, K., Tao, L., Zengqiang, Z., Sang, H. y Ashok, P. (2020). Effect of biochar on emission, maturity and bacterial dynamics during sheep manure composting. *Renewable Energy*, 152, 421-429.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.065>

Nabam, R., Bharti, A., y Kumar S. (2018). Effect of bulking agents and cow dung as inoculant on vegetable waste compost quality, *Bioresource Technology*, 252, 83-90.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.080>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<https://www.fao.org/3/i1688s/i1688s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2011). *Manual de biogás*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). *Ecuador en una mirada*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/ecuador/fao-en-ecuador/ecuador-en-una-mirada/es/>
- Pacheco, I., García, C., Meza, C., Vaca, F., Díaz, C., y Méndez, C. (2022). Explorando la microbiota bacteriana fecal bovina en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, norte de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu* 13(4), 910-927.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242022000400910&script=sci_arttext&tlng=es
- Peña, E., Carrión, M., Martínez, F., Rodríguez, A. y Companioni, N. (2019). *Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana*. Instituto de Investigaciones Fundamentales en la Agricultura Tropical.
<https://www.yumpu.com/es/document/view/14512221/manual-para-la-produccion-de-abonos-organicos-en-la-agricultura->

- Peralta, A., De Freitas, G., Watthier, M., y Silva, R. (2019). Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. *Idesia (Arica)*, 37(2), 59-66. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292019000200059&script=sci_arttext&lng=p
- Ramírez, S. (2017). *Manejo de excretas de ovejas mediante compostaje, inoculado con microorganismos de montaña (mm) nativos en la finca experimental Santa Lucia, 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>
- Rivas, M. y Silva, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia crassipes*). *Revista Ciencia Unemi*, 13(32), 87-100. https://www.redalyc.org/journal/5826/582661898009/html/#redalyc_582661898009_ref39
- Rodríguez, E. (2019). *Elaboración de bloques nutricionales mediante el uso de diferentes niveles de Baccharis latifolia (chilca)* [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14220/1/17T01611.pdf>
- Rojas, J., Ortiz, L., Escobar, L., Rojas, M. y Jaimes, Y. (2021). Descomposición y liberación de nutrientes en biomasa por poda de cacao (*Theobroma cacao L.*) en Rionegro, Santander, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 887-900. <https://www.redalyc.org/journal/437/43768194013/43768194013.pdf>
- Fallas, D. (2016). *Caracterización del proceso de compostaje y aprovechamiento del calor generado en un reactor bajo aireación forzada*. [Tesis de Grado, Universidad de Costa Rica Sede Rodrigo Facio]. <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2017/05/Tesis-DiegoFallas.pdf>

- Sandoval, M. (2021). *Análisis de las características fitoquímicas, propiedades farmacológicas, usos y aplicaciones más comunes de la Chilca (Baccharis latifolia) en el Ecuador*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33670/1/BQ%20290.pdf>
- Silvestre, E. (2011). *Evaluación de las características físico químicas en frijol (Phaseolus vulgaris) variedad; Pinto Saltillo de dos periodos 2009 y 2010*. [Tesis de Grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/476/61822s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Skoog, D., West, D., Holler, F. y Crouch, S. (2015). *Fundamentos de química analítica*. Cengage Learning.
http://ubicua.cua.uam.mx/pluginfile.php/83420/mod_resource/content/1/Fundamentos%20de%20Qu%C3%ADmica%20Anal%C3%ADtica.pdf
- Sun, P., Liu, B., Ahmed, I., Yang, J. y Zhang, B. (2022). Composting effect and antibiotic removal under a new temperature control strategy. *Waste Management*, 153, 89 - 98.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.08.025>
- Szeligowska, N., Cholewinska, P., Czyz, K., Wojnarowski, K. y Janczak, M. (2021). Inter and intraspecies comparison of the level of selected bacterial phyla in in cattle and sheep based on feces. *BMC Vet Res* 17(204). <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02922-w>
- Takeshi, S. (2014). Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos. *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2): 74-84.
<https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/view/680>
- Tanca, A., Fraumene, C., Manghina, V., Palomba, A., Abbondio, M., Deligios, M., Pagnozzi, D., Filippa, M. y Uzzau, S. (2017). Diversity and functions of the sheep faecal microbiota: a multi-omic characterization. *Microbial Biotechnology* 10(3): 541-554. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12462>
- Valderrama, A. (2013). *Biodegradación de residuos sólidos agropecuarios y uso del bioabono como acondicionador del suelo* [Tesis de Grado, Universidad Pontificia

Bolivariana].

<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1326/Monograf%C3%ADa%20Biodegradaci%C3%B3n%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos.pdf?sequence=1>

Vallejo, S. (2017). *Elaboración de compostaje con los residuos sólidos orgánicos en la parroquia rural de Limoncocha con fines de valorización* [Tesis de Grado, Universidad Internacional SEK].

<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2640>

Vargas, O., Trujillo, J. y Torres, G. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, 23(2):123-129. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v23n2/0121-3709-rori-23-02-123.pdfz>

Varnero, M., Rojas, C. y Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *R.C.Suelo Nutr Veg*, 7(1), 28 – 37.

<https://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v7n1/art03.pdf>

Vinces, R. (2020). *Comportamiento morfo-agroproductivo de diferentes cultivares de frejol común (Phaseolus vulgaris) en las condiciones edafoclimáticas de la granja Santa Inés* [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Machala].

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16153/1/TTUACA-2020-IA-DE00036.pdf>

Wang, B., Luo, Y., Su, R., Yao, D., Hou, Y., Liu, C., Du, R., y Jin, Y. (2020). Impact of feeding regimens on the composition of gut microbiota and metabolite profiles of plasma and feces from Mongolian sheep. *Journal of microbiology (Seoul, Korea)*, 58(6), 472–482. <https://doi.org/10.1007/s12275-020-9501-0>

Yang, Y., Chen, W., Liu, G., Kong, Y., Wang, G., Yin, Z., Li, G., y Yuan J. (2023). Effects of cornstalk and sawdust coverings on greenhouse gas emissions during sheep manure storage. *Waste Management*. 166, 104-114.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.04.034>

Yue, K., Peng, C., Yang, W., Peng, Y., Zhang, C., Huang, C., y Wu, F. (2016).

Degradation of lignin and cellulose during foliar litter decomposition in an alpine forest river. *Ecosphere*, 7(10), 1-11.

<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ecs2.1523>

Zhao, X., Li, J., Che, Z., y Xue, L. (2022). Succession of the Bacterial Communities and Functional Characteristics in Sheep Manure Composting. *Biology*, 11(8), 1881.

<https://doi.org/10.3390/biology11081181>

ANEXOS

Anexo 1

Armado de las cajas



Anexo 2

Reconocimiento del área del proyecto



Anexo 3

Ordenamiento de cajas



Anexo 4

Picado de residuos



Anexo 5

Recolección de residuos



Anexo 6

Análisis de nitrógeno total



Anexo 7

Análisis de Carbono total



Anexo 8

Implementación del proyecto



Anexo 9

Proceso de aireación



Anexo 10

Toma de datos temperatura y humedad



Anexo 11

Compost maduro



Anexo 12

Compost finalizado



Anexo 13

Siembra de semillas



Anexo 14

Germinación de semillas

