

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación del efecto del inóculo en el compostaje de residuos orgánicos
residenciales a escala laboratorio

Trabajo de graduación presentado por Lesli Angelica Pérez Solares en
modalidad de Tesis para optar al grado académico de Licenciada en
Ingeniería Química

Guatemala,
2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación del efecto del inóculo en el compostaje de residuos orgánicos
residenciales a escala laboratorio

Trabajo de graduación presentado por Lesli Angelica Pérez Solares en
modalidad de Tesis para optar al grado académico de Licenciada en
Ingeniería Química

Guatemala,
2025


Vo. Bo.:

(f) 

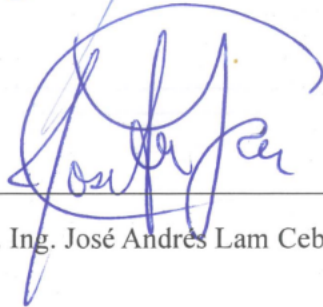
Msc. Ing. Luis Ernesto Núñez González

Tribunal examinador:

Asesor

(f) 

Msc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f) 

Msc. Ing. José Andrés Lam Ceballos

(f) 

Msc. Ing. Luis Ernesto Núñez González

Fecha de aprobación: Guatemala, 12 de diciembre de 2025

PREFACIO

Mi interés por el estudio de gestión de residuos surgió en 2022 tras una visita a una planta de producción de biogás y a un centro de recolección y separación de residuos. Tuve la oportunidad de aprender sobre estos procesos y experimentar una realidad distinta, donde habían más de 10 botes de basura, cada uno especificando los residuos permisibles. Además de solo aprender sobre la gestión de residuos, también aprendí sobre otra cultura, en donde la mayoría de los habitantes respetan la separación de desechos y esta es enseñada desde que son pequeños. Ver y vivir esta experiencia hizo darme cuenta de que una mejor gestión de residuos sí es posible. Durante la elaboración de este trabajo noté la falta de información del proceso de compostaje por parte de las instituciones públicas guatemaltecas. En su mayoría, los manuales referenciados son de Argentina, Ecuador, México y Estados Unidos. Esto hizo que me interesara y explorara aún más en el tema.

Agradezco al Ing. Gamaliel Zambrano por brindarme material para poder realizar la experimentación y a mi asesor, el Ing. Luis Núñez por brindarme el acompañamiento, tiempo y la atención para resolver cada una de mis dudas relacionadas a este trabajo. Además, agradezco al Agrolaboratorio Ceres y a la Ing. Margarita por la reducción de precio de cada muestra enviada para el análisis de relación carbono-nitrógeno. Por último, agradezco a mi familia, en especial a mi mamá y a mi papá, por ser grandes ejemplos a seguir, personas admirables y por apoyarme a lo largo de mi vida estudiantil.

ÍNDICE

PREFACIO	v
LISTADO DE CUADROS	viii
LISTADO DE FIGURAS	xi
LISTADO DE ECUACIONES	xiii
RESUMEN	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
A. General	2
B. Específicos	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. Residuos orgánicos	4
1. El ciclo del agua.....	4
2. El ciclo del carbono	4
3. El ciclo del nitrógeno	5
4. Clasificación de los residuos orgánicos	6
5. Generación mundial de residuos orgánicos	7
6. Generación regional y nacional	9
7. Impactos del mal manejo	9
B. Tratamiento de residuos orgánicos	11
1. Gestión y prácticas actuales de la disposición	11
2. Alternativas	13
C. Compostaje	13
1. Definición	13
2. Beneficios	14
3. Descomposición aeróbica	14
4. Etapas del proceso.....	14
5. Materiales adecuados y no adecuados	16
6. Composteras y tipos de compost.....	16
7. Factores que influyen en el proceso.....	19
8. Emisiones de gases de efecto invernadero en el proceso.....	21

D.	Inóculos en el compostaje.....	21
1.	Impacto del inóculo.....	21
2.	Estiércol de caballo y vaca como inóculo.....	21
E.	Impactos y aplicaciones del compostaje.....	22
V.	ANTECEDENTES	23
VI.	METODOLOGÍA	25
A.	Materiales y equipo.....	25
B.	Preparación de los materiales.....	26
C.	Preparación de las mezclas de compost.....	26
D.	Determinación de nitrógeno método de micro-Kjeldahl	27
E.	Determinación de materia orgánica método de incineración seca.....	29
F.	Determinación de relación C/N	30
G.	Determinación de porcentaje de humedad.....	31
H.	Determinación de pH.....	31
I.	Determinación de temperatura.....	31
J.	Pesaje de sólidos de control	31
K.	Monitoreo de variables	32
L.	Análisis de resultados	32
VII.	RESULTADOS.....	33
VIII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	39
IX.	CONCLUSIONES	48
X.	RECOMENDACIONES.....	49
XI.	BIBLIOGRAFÍA	50
XII.	ANEXOS	57
A.	Datos originales	57
B.	Datos calculados	67
C.	Cálculos de muestra	77
D.	Análisis estadístico.....	84
E.	Balances de masa y energía	96
F.	Datos de equipo.....	98
G.	Evidencia fotográfica	100
H.	Registro de relación C/N.....	105

XIII. GLOSARIO135

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos iniciales de la mezcla de compost con inóculo de estiércol de caballo.....	33
Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos iniciales de la mezcla de compost con inóculo de estiércol de vaca.....	33
Cuadro 3. Descomposición del trozo de zanahoria utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de caballo	33
Cuadro 4. Descomposición del trozo del hueso de aguacate utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de caballo	34
Cuadro 5. Descomposición del trozo de bolsa identificada como biodegradable utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de caballo.....	34
Cuadro 6. Descomposición del trozo de zanahoria utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de vaca	35
Cuadro 7. Descomposición del trozo del hueso de aguacate utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de vaca.....	35
Cuadro 8. Descomposición del trozo de bolsa identificada como biodegradable utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de vaca	36
Cuadro 9. Propiedades fisicoquímicas de la mezcla de compost maduro con estiércol de caballo.....	37
Cuadro 10. Propiedades fisicoquímicas de la mezcla de compost maduro con estiércol de vaca	37
Cuadro 11. Prueba t de Student para las propiedades fisicoquímicas entre el compost con estiércol de caballo y el compost comercial	37
Cuadro 12. Prueba t de Student para las propiedades fisicoquímicas entre el compost con estiércol de vaca y el compost comercial.....	38
Cuadro 13. Porcentaje de humedad del compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo	57
Cuadro 14. Porcentaje de humedad del compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo	58
Cuadro 15. pH del compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo.....	60
Cuadro 16. pH del compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo	60
Cuadro 17. Temperatura del compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo	60
Cuadro 18. Temperatura del compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo	62
Cuadro 19. Masa del trozo de zanahoria en el compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo	64
Cuadro 20. Masa del trozo de zanahoria en el compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo	64
Cuadro 21. Masa del hueso de aguacate en el compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo	64
Cuadro 22. Masa del hueso de aguacate en el compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo	65
Cuadro 23. Masa del trozo de bolsa biodegradable en el compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo	65

Cuadro 24. Masa del trozo de bolsa biodegradable en el compost con inóculo de vaca de vaca a lo largo del tiempo	66
Cuadro 25. Porcentaje de humedad del producto comercial.....	66
Cuadro 26. pH del producto comercial	66
Cuadro 27. Relación C/N del compost con inóculo con estiércol de caballo a lo largo del tiempo	67
Cuadro 28. Relación C/N del compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo	67
Cuadro 29. Relación C/N del producto comercial	68
Cuadro 30. Porcentaje de degradabilidad del trozo de zanahoria en el compost con estiércol de caballo.....	68
Cuadro 31. Porcentaje de degradabilidad del trozo de zanahoria en el compost con estiércol de vaca.....	68
Cuadro 32. Porcentaje de degradabilidad del hueso de aguacate en el compost con estiércol de caballo.....	69
Cuadro 33. Porcentaje de degradabilidad del hueso de aguacate en el compost con estiércol de vaca.....	69
Cuadro 34. Porcentaje de degradabilidad del trozo de bolsa biodegradable en el compost con estiércol de caballo.....	70
Cuadro 35. Porcentaje de degradabilidad del trozo de bolsa biodegradable en el compost con estiércol de vaca.....	70
Cuadro 36. Balance de masa para la mezcla de compost con inóculo de estiércol de caballo.....	70
Cuadro 37. Balance de masa para la mezcla de compost con inóculo de estiércol de vaca.....	71
Cuadro 38. Balance de masa para el proceso de compostaje con inóculo de caballo.....	71
Cuadro 39. Balance de masa para el proceso de compostaje con inóculo de vaca.....	72
Cuadro 40. Balance de energía para el proceso de compostaje con inóculo de caballo	72
Cuadro 41. Balance de energía para el proceso de compostaje con inóculo de caballo en Sistema Internacional.....	73
Cuadro 42. Balance de energía para el proceso de compostaje con inóculo de vaca	74
Cuadro 43. Balance de energía para el proceso de compostaje con inóculo de vaca en Sistema Internacional.....	74
Cuadro 44. Prueba t de Student para las características fisicoquímicas del compost con estiércol de caballo comparadas con la del producto comercial	75
Cuadro 45. Prueba t de Student para las características fisicoquímicas del compost con estiércol de vaca comparadas con la del producto comercial	76
Cuadro 46. Reducción porcentual del tiempo de maduración del estiércol de caballo	76
El cuadro anterior muestra el tiempo de maduración experimental del compost con inóculo de estiércol de caballo y el tiempo de maduración teórico junto con el porcentaje de reducción.	76
Cuadro 47. Estadística descriptiva de la relación C/N del compost con inóculo de estiércol de caballo	86
Cuadro 48. Estadística descriptiva de la relación C/N del compost con inóculo de estiércol de vaca	86
Cuadro 49. Estadística descriptiva del porcentaje de humedad del compost con inóculo de estiércol de caballo.....	87

Cuadro 50. Estadística descriptiva del porcentaje de humedad del compost con inóculo de estiércol de vaca.....	88
Cuadro 51. Estadística descriptiva de la temperatura en el compost con inóculo de excremento de caballo.....	90
Cuadro 52. Estadística descriptiva de la temperatura en el compost con inóculo de excremento de vaca.....	91
Cuadro 53. Estadística descriptiva del trozo de zanahoria presente en el compost con inóculo de estiércol de caballo.....	92
Cuadro 54. Estadística descriptiva del trozo de zanahoria presente en el compost con inóculo de estiércol de vaca.....	93
Cuadro 55. Estadística descriptiva del hueso de aguacate presente en el compost con inóculo de estiércol de caballo.....	93
Cuadro 56. Estadística descriptiva del hueso de aguacate presente en el compost con inóculo de estiércol de vaca.....	94
Cuadro 57. Estadística descriptiva del porcentaje de humedad del producto comercial ...	94
Cuadro 58. Estadística descriptiva de la relación C/N del producto comercial.....	94
Cuadro 59. Datos de la balanza de precisión.....	98
Cuadro 60. Datos de la balanza de humedad.....	98
Cuadro 61. Datos de la balanza de plataforma.....	98
Cuadro 62. Datos de la trituradora de residuos orgánicos.....	98
Cuadro 63. Datos de la compostera rotativa.....	98
Cuadro 64. Datos del termómetro digital.....	98
Cuadro 65. Datos del digestor.....	99
Cuadro 66. Datos del destilador.....	99
Cuadro 67. Datos del horno mufla.....	99

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del agua.....	4
Figura 2. Ciclo del carbono.....	5
Figura 3. Ciclo del nitrógeno.....	6
Figura 4. Generación de desechos per cápita.....	7
Figura 5. Proyección global de generación de residuos.....	7
Figura 6. Composición global de residuos.....	8
Figura 7. Cantidad de desecho producido por región.....	9
Figura 8. Tasa de recolección de basura por región.....	11
Figura 9. Disposición de residuos en América Latina y El Caribe.....	12
Figura 10. Etapas del compostaje.....	15
Figura 11. Sistema de aireación forzada.....	17
Figura 12. Sistema de recolección de lixiviados.....	17
Figura 13. Volteo mecanizado.....	17
Figura 14. Tipos de recipientes utilizados para sistemas cerrados.....	18
Figura 15. Relación C/N de materiales utilizados para abono orgánico.....	20
Figura 16. Descomposición de los sólidos de control en la mezcla de compost con estiércol de caballo.....	35
Figura 17. Descomposición de los sólidos de control en la mezcla de compost con estiércol de vaca.....	36
Figura 18. Temperatura del abono orgánico con excremento de caballo como inóculo a lo largo del tiempo.....	62
Figura 19. Temperatura del abono orgánico con excremento de vaca como inóculo a lo largo del tiempo.....	63
Figura 24. Masa inicial de la mezcla de abono orgánico con estiércol de vaca previo a ser triturado.....	100
Figura 25. Trituradora utilizada para chipear el compost.....	100
Figura 26. Masa del sólido de control, hueso de aguacate.....	101
Figura 27. Sólidos de control, trozos de zanahoria utilizados.....	101
Figura 28. Tiras reactivas de pH.....	102
Figura 29. Balanza de humedad utilizada.....	102
Figura 30. Bolsa identificada como biodegradable.....	103
Figura 31. Compostera utilizada.....	104
Figura 32. Relación C/N del compost producto comercial – Medición 1.....	105
Figura 33. Relación C/N del compost producto comercial – Medición 2.....	106
Figura 34. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 1 – Medición 1.....	107
Figura 35. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 1 – Medición 2.....	108
Figura 36. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 1 – Medición 1.....	109
Figura 37. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 1 – Medición 2.....	110
Figura 38. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 3 – Medición 1.....	111

Figura 39. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 3 – Medición 2.....	112
Figura 40. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 3 – Medición 1.....	113
Figura 41. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 3 – Medición 2.....	114
Figura 42. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 5 – Medición 1.....	115
Figura 43. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 5 – Medición 2.....	116
Figura 44. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 5 – Medición 1.....	117
Figura 45. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 5 – Medición 2.....	118
Figura 46. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 6 – Medición 1.....	119
Figura 47. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 6 – Medición 2.....	120
Figura 48. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 6 – Medición 1.....	121
Figura 49. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 6 – Medición 2.....	122
Figura 50. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 9 – Medición 1.....	123
Figura 51. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 9 – Medición 2.....	124
Figura 52. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 9 – Medición 1.....	125
Figura 53. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 9 – Medición 2.....	126
Figura 54. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 11 – Medición 1.....	127
Figura 55. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 11 – Medición 2.....	128
Figura 56. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 11 – Medición 1.....	129
Figura 57. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 11 – Medición 2.....	130
Figura 58. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 12 – Medición 1.....	131
Figura 59. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 12 – Medición 2.....	132
Figura 60. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 12 – Medición 1.....	133
Figura 61. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 12 – Medición 2.....	134

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Proceso de compostaje	14
Ecuación 2. Porcentaje de nitrógeno total.....	29
Ecuación 3. Pérdida por ignición.	30
Ecuación 4. Porcentaje de materia orgánica	30
Ecuación 5. Relación carbono-nitrógeno.	30
Ecuación 6. Media	84
Ecuación 7. Incertidumbre de la media.....	84
Ecuación 8. Desviación estándar	84
Ecuación 9. Incertidumbre de la desviación estándar	85
Ecuación 10. Coeficiente de variación.....	85
Ecuación 11. Valor t para la prueba t de Student.....	94
Ecuación 12. Valor P para la prueba t de Student.....	95

RESUMEN

El compostaje es una de las alternativas sostenibles para la reducción de desechos orgánicos, sin embargo, existe poca literatura que indica cuál es el efecto de los inóculos en el proceso. Es por esto que en este trabajo de graduación se comparó a nivel laboratorio el efecto del mismo a partir de residuos orgánicos residenciales. Para esto se determinaron las propiedades fisicoquímicas de relación carbono-nitrógeno, porcentaje de humedad en base húmeda y pH para dos mezclas de abono, una con inóculo de excremento de caballo y otra con excremento de vaca. Además, se midió la descomposición de tres sólidos de control para determinar cuál maximiza la degradación del sustrato y se compararon las mismas propiedades fisicoquímicas finales con las de un abono comercial con el fin de establecer la formulación que genere las mejores características para emplearse como abono. La relación C/N inicial fue de 25.29, 68.33±0.01 % de humedad y un pH 7±0.5 para la mezcla con estiércol de caballo y 26.96, 65.43±0.01 % y pH 7±0.5 para el de estiércol de vaca. Además, la descomposición de los sólidos de control final fue de 55.59±0.03 % para el trozo de zanahoria, 38.10±0.03 % para el hueso de aguacate y un 0 % para el trozo de bolsa identificada como biodegradable en la mezcla con excremento de caballo. Para el abono con estiércol de vaca fue de 56.25±0.04 %, 52.73±0.03 % y 0 % en el mismo orden de sólidos. Finalmente, se determinó que la formulación que genera el menor tiempo de producción es la mezcla con estiércol de caballo.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente producción de residuos orgánicos ha aumentado el interés por implementar estrategias sostenibles de gestión y aprovechamiento de los mismos como el proceso de compostaje. Este consiste en la descomposición biológica de residuos orgánicos, bajo condiciones que permiten el desarrollo de altas temperaturas como resultado del calor generado para la producción de un producto estable que pueda ser aplicado beneficiosamente a la tierra (Haug, 1993). Román et al. (2013) menciona que los principales beneficios del compostaje son la mejora de las propiedades físicas del suelo, la reducción de la erosión y la reducción del volumen de residuos orgánicos en los vertederos y rellenos sanitarios. El estudio del impacto del inóculo en este tema presenta un área de investigación puesto que la literatura es escasa.

La incorporación de inóculos de origen animal presenta una alternativa accesible y representa un impacto positivo en el proceso que puede acelerar la degradación y disminuir el tiempo de producción, aprovechando los residuos de mejor manera. Actualmente el estiércol de gallina y de cerdo son utilizados, junto con otros residuos como restos alimenticios, material de cama, entre otros, con el fin de emplearse como fertilizante orgánico. Sin embargo, el estiércol de caballo y de vaca son residuos orgánicos que carecen de un uso establecido.

Por ello, en este trabajo se realizó un estudio exploratorio que permitió determinar a nivel laboratorio el efecto de los inóculos mencionados con anterioridad por medio del análisis de las características del compost como la relación carbono-nitrógeno, el porcentaje de humedad, en base húmeda, y el pH a lo largo del tiempo de producción. Este enfoque permitió determinar que las características de los dos compost obtenidos no presentaron diferencias estadísticamente significativas al compararlas con un producto comercial. Esto evidencia su potencial como una alternativa viable y accesible para el manejo sostenible de residuos orgánicos. Este estudio resalta la importancia de incorporar materiales disponibles en el contexto local, como los estiércoles, en procesos de compostaje promueven soluciones sostenibles.

II. OBJETIVOS

A. General

Comparar a nivel laboratorio el efecto del inóculo en la producción de compost a partir de residuos orgánicos residenciales, con el fin de identificar el que genere un producto con mayor rendimiento y características fisicoquímicas similares a un abono de referencia.

B. Específicos

1. Determinar la composición inicial de dos mezclas de compost con diferente tipo de inóculo, mediante la medición de la relación carbono-nitrógeno, el porcentaje de humedad y el pH, para definir el inicio de la reacción de degradación de compostaje.
2. Medir la descomposición de tres sólidos de control, trozo de bolsa biodegradable, hueso de aguacate y trozo de zanahoria con el fin de determinar el que maximice la degradabilidad del sustrato.
3. Determinar las propiedades fisicoquímicas de las mezclas de compost maduro con el fin de comparar los resultados con un producto comercial y establecer la formulación que genere las mejores propiedades para emplearse como abono.

III. JUSTIFICACIÓN

En 2016 se produjeron 2.01 billones de toneladas de residuos sólidos urbanos a nivel mundial, generando entre 0.11 y 4.54 kilogramos per cápita al día. Para 2030 se prevé que esta cifra ascienda a 2.59 billones de toneladas, mientras que para 2050 a 3.40 billones de toneladas. La composición global de residuos se divide en 44 % de residuos de materia orgánica y materiales verdes, como césped, hojas, ramas y malezas, mientras que el resto de la matriz está completada por papel y cartón (17 %), plásticos (12 %), vidrio (5 %), metal (4 %), madera (2 %), caucho y cuero (2 %) y otros (14 %). En cuanto al tratamiento y disposición final de los mismos, la mayoría terminan en vertederos, mientras que únicamente el 5.5 % de los residuos son utilizados para el compostaje (Kaza et al., 2018). Los datos relacionados permiten evidenciar el poco aprovechamiento de residuos, lo cual provoca la acumulación en los basureros o rellenos sanitarios. El mal manejo de estos impacta de manera directa al medio ambiente ya que contaminan los océanos, obstruyen los desagües, generan olores desagradables, facilitan la proliferación de enfermedades, debido al favorecimiento de bacterias, y genera gases de efecto invernadero (González, 2019).

A nivel regional de América Latina y El Caribe, en 2016 se generaron 231 millones de toneladas de residuos, siendo el 52 % de tipo alimentarios y vegetales, siguiendo con la misma jerarquía de las composiciones globales de residuos. El 52 % de estos terminan en un relleno sanitario, seguido de un relleno abierto, mientras que menos de 1 % se utiliza para compostaje. Según estudios realizados por Kaza (2018), Guatemala produjo en promedio 0.47 kg de residuo per cápita por día en 2016 y según El Instituto Nacional de Estadística Guatemala (2025), en este mismo año, habitaban 16,268,760 personas en el país. Multiplicando la masa, por la cantidad de habitantes, da como resultado un total de 7,646,317.2 kg por día como población, mientras que, multiplicando este último dato por los 366 días, por ser un año bisiesto, da como resultado un total de 2,798,552,095 kg de residuo al año, equivalentes a 2,798,552.095 toneladas anuales.

Actualmente, el compostaje y la digestión anaeróbica son las técnicas más utilizadas para la gestión de residuos orgánicos. Aprovechando la creciente importancia del compostaje y siendo este una posible solución a la disminución de residuos orgánicos residenciales, el estudio del inóculo sobre el tema representa una posible área creciente de investigación, debido a que la literatura disponible es escasa. Esto podría representar un impacto positivo en el proceso incrementando la eficiencia y disminuyendo el tiempo de producción. Por esta razón, en este trabajo de graduación se hace un estudio exploratorio que analiza el impacto que presenta el agregarle carga microbiana al sistema de compostaje determinando la formulación que genera mayor degradabilidad y las mejores propiedades para emplearse como abono. Esto pretende propiciar otros estudios con diferentes inóculos, desarrollar una línea de compostaje casero e introducir nuevas tecnologías en el país que permitan la gestión adecuada de residuos orgánicos.

IV. MARCO TEÓRICO

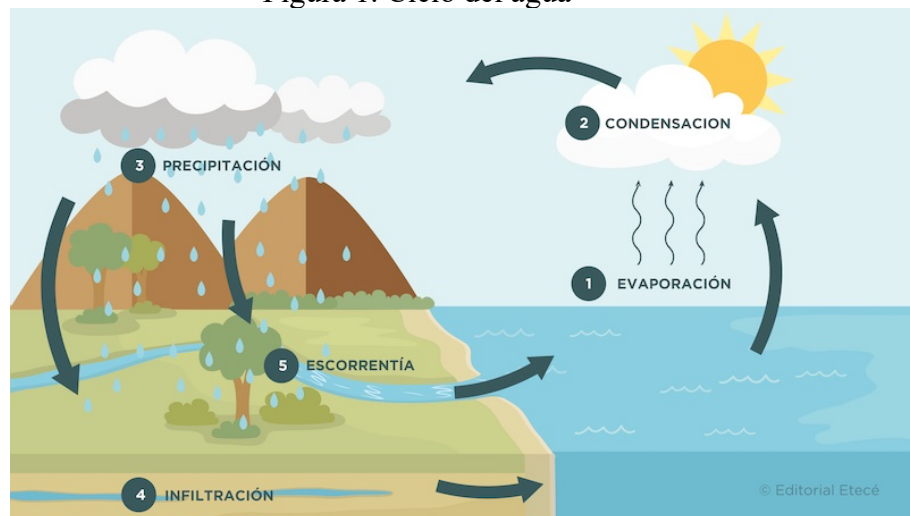
A. Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos son desechos de origen biológico que se derivan de material vegetal o animal que pueden descomponerse de forma natural al transformarse en otro tipo de materia orgánica. Es posible reincorporarlos al suelo aportando y cerrando el ciclo de la materia orgánica (Ministerio del Medio Ambiente de Argentina, 2015). Dicho ciclo abarca distintos subciclos los cuales describen la conservación de la materia a través del ciclo del agua, del carbón y del nitrógeno.

1. El ciclo del agua

El agua es un componente esencial para la vida y la regulación de diversos procesos que ocurren naturalmente como la regulación climática, la agricultura y la formación de cuerpos de agua. Este ciclo inicia con la evaporación de los océanos, ríos y lagos, principalmente por el efecto de la radiación del sol. Continúa con la condensación del vapor formando nubes, las cuales al saturarse se precipitan y vuelven a caer sobre los cuerpos de agua al igual que en los suelos. Finalmente, ocurre el proceso de la escorrentía donde se da la infiltración y el transporte de agua hacia los océanos, ríos y lagos (Rosich et al., 1989).

Figura 1. Ciclo del agua

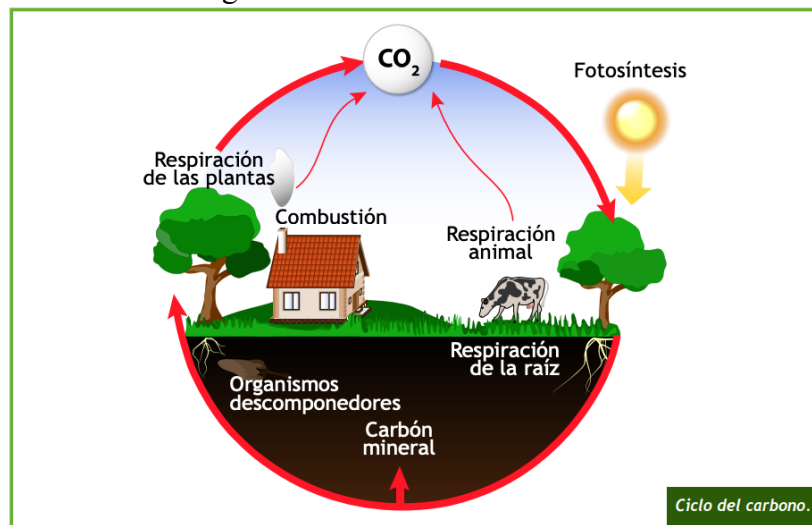


Fuente: Sposob (2025)

2. El ciclo del carbono

El ciclo del carbono inicia con los organismos autótrofos, como las plantas, las cuales utilizan el dióxido de carbono presente en la atmósfera y por medio de la fotosíntesis lo transforman en carbohidratos. Estos carbohidratos son empleados en el proceso de respiración vegetal, donde se libera dióxido de carbono nuevamente. Posteriormente, el carbono se transporta de un nivel trófico a otro por medio de la alimentación desde los herbívoros hasta los carnívoros por la cadena alimenticia. Además, cada uno de los consumidores libera dióxido de carbono durante el proceso de respiración. Por otro lado, cuando un ser vivo muere inicia el proceso de descomposición como resultado de la participación de hongos y bacterias, los cuales transforman la materia orgánica en principales productos finales como agua, sales minerales, dióxido de carbono y humus. Además, a lo largo del tiempo los esqueletos se convierten en rocas carbonatadas mientras que los restos orgánicos quedan enterrados transformándose también en combustibles fósiles como el carbón, petróleo y el gas natural. Asimismo, la combustión de estos combustibles fósiles por parte de la actividad humana libera nuevamente dióxido de carbono a la atmósfera (Rosich et al., 1989).

Figura 2. Ciclo del carbono



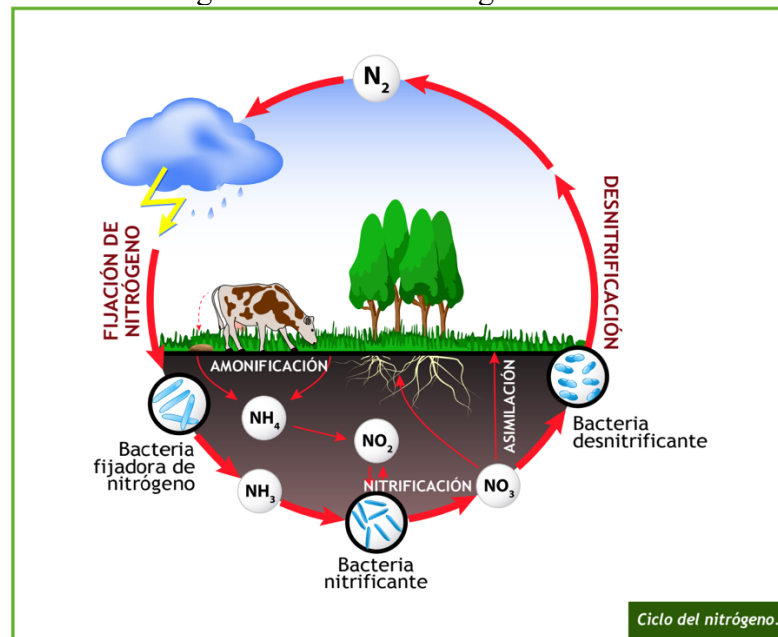
Fuente: López (2013)

3. El ciclo del nitrógeno

Por otro lado, la mayoría del nitrógeno proviene del aire de la atmósfera, el cual está compuesto por un 78 % de nitrógeno molecular, un 21 % de oxígeno y un 1 % entre argón y dióxido de carbono. El ciclo inicia en la fijación del nitrógeno que se da por la acción de las bacterias fijadoras presentes en el suelo. Estas bacterias captan el nitrógeno atmosférico y lo transforman en compuestos inorgánicos como el amoníaco, y posteriormente las bacterias nitrificantes en nitratos. Este último compuesto es absorbido por organismos autótrofos, como plantas y algas, y utilizado para sus procesos vitales. Luego, al igual que en el ciclo del carbono, es absorbido por los

animales herbívoros hasta los carnívoros pasando por la cadena trófica. Posteriormente, los desechos nitrogenados presentes en el excremento de los animales dan lugar a la amonificación de los suelos en donde los microorganismos presentan grupos amina o amida produciendo amonio. Este amonio es transformado nuevamente a nitratos y a nitrógeno molecular por parte de las bacterias nitrificantes, regresando así a la atmósfera.

Figura 3. Ciclo del nitrógeno



Fuente: López (2013)

4. Clasificación de los residuos orgánicos

En cuanto a la clasificación de los residuos, estos pueden ser categorizados en función del sector productivo de donde se originen resultando en dos grandes grupos. Por un lado, están los derivados del sector primario que provienen de actividades como la agricultura, forestales y ganadería. Por otro lado, están los obtenidos del sector secundario y terciario que incluyen los residuos industriales como restos de la industria alimentaria y los lodos orgánicos de plantas de tratamiento de aguas residuales (Navarro et al., 1995).

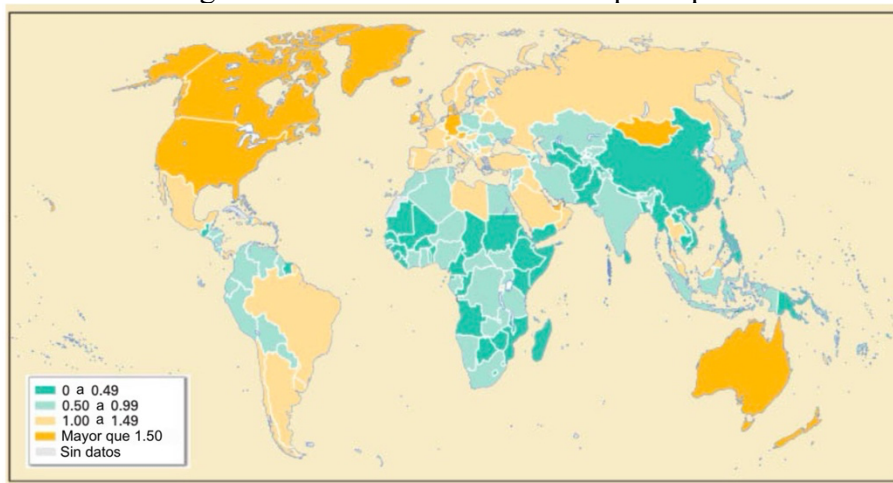
Sin embargo, la Dirección General de Medio Ambiente de 1989 clasificó los residuos de una forma más específica dividiéndolos en residuos agrícolas, de actividades ganaderas, forestales y urbanos (Navarro et al., 1995). Los residuos agrícolas incluyen los restos de cosechas como la paja, las hojas, el bagazo entre otros, siendo estos uno de los desechos más abundantes y de difícil control (Blázquez, s. f.). Por otro lado, están los residuos de actividades ganaderas que se dividen en residuos de cría como excrementos y orina y los desechos de la industria cárnica que incluyen huesos, sangre y pellejos. Por otra parte, están los forestales que abarcan restos de poda,

hojas y ramas. Por último, los residuos urbanos incluyen lodos de depuradoras de aguas residuales y residuos domésticos incluyendo papel y cartón (Navarro et al., 1995). A nivel residencial, los residuos orgánicos domiciliarios son generados en el hogar e incluyen grandes cantidades de restos de frutas y verduras, café, cáscaras de huevo, restos de carnes rojas, pollo y pescado, hojas secas y restos de plantas (Natan, 2022).

5. Generación mundial de residuos orgánicos

La producción de residuos a nivel mundial es una consecuencia natural de la urbanización, el desarrollo económico y el crecimiento poblacional. En promedio, en 2016 se generaron 0.74 kilogramos de residuos per cápita al día. Sin embargo, esta cifra cambia a lo largo de la Tierra fluctuando entre 0.11 a 4.54 kilogramos per cápita al día. Países como Canadá, Estados Unidos, Alaska, Australia, Nueva Zelanda y Mongolia producen más de 1.50 kg al día per cápita mientras que países como Brasil, Uruguay, Argentina, México y Rusia entre 1.00 a 1.49 kg al día per cápita. Países menos desarrollados como Guatemala, Angola, Somalia y otros países del continente africano generan una menor cantidad de desechos oscilando entre 0.49 y 0.99 kg al día per cápita.

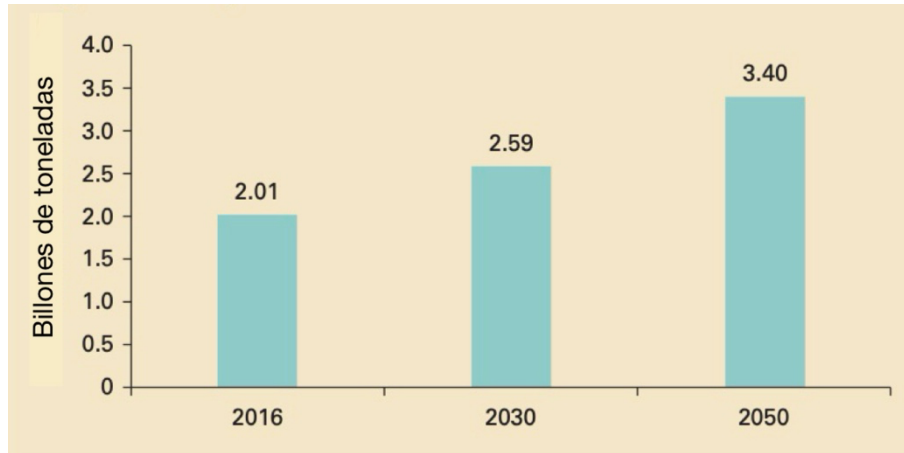
Figura 4. Generación de desechos per cápita



Fuente: Kaza (2018)

Según Kaza (2018) en 2016 se generaron 2.01 billones de toneladas de residuos sólidos urbanos y se espera que esta cifra aumente a 2.59 billones de toneladas por año para 2030 y a 3.40 billones de toneladas para 2050. Este crecimiento se debe al crecimiento poblacional, el creciente uso de plásticos, la rápida urbanización y el consumismo (Banco Mundial, 2018).

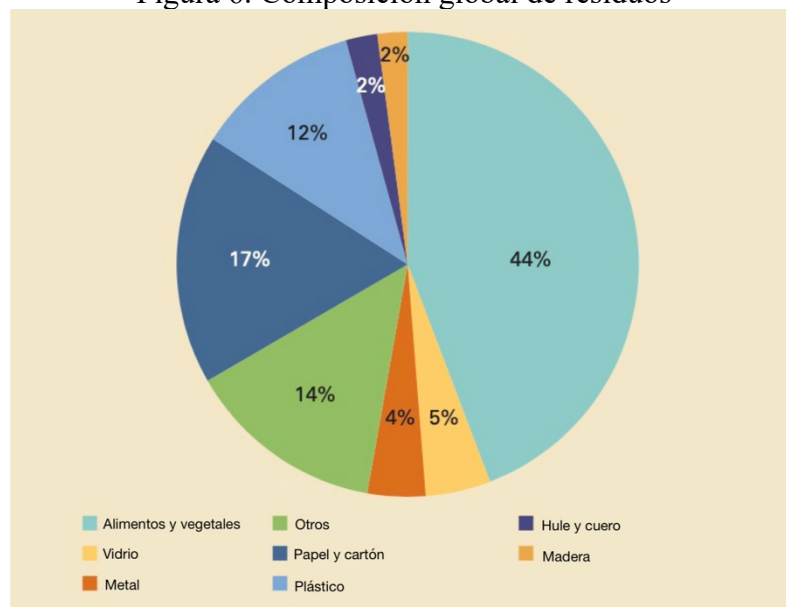
Figura 5. Proyección global de generación de residuos



Fuente: Kaza (2018)

Los residuos alimentarios y vegetales representan el 44% de los desechos sólidos municipales seguidos de plásticos, papel y cartón, metal y vidrio que abarcan el 38 %. El 18 % restante se divide en hule, cuero y madera. La gestión de residuos suele estar a cargo de las autoridades locales que disponen de recursos y capacidades de planificación limitadas por lo que las tasas de recolección de residuos varían considerablemente según el nivel de ingresos. Los países con ingresos altos y medianos-altos suelen ofrecer un servicio de recolección de residuos de entre el 90 al 100 %. Dentro de este rango se encuentran los países de Norte América, Europa y Asia Central. Países de la región de América Latina y El Caribe este porcentaje desciende al 84 %, en el Medio Oriente y el Norte de África a 82 %, en Asia del Este y Pacífico al 71 % y al Sur de Asia y en África subsahariana al 44 % (Kaza, 2018)

Figura 6. Composición global de residuos

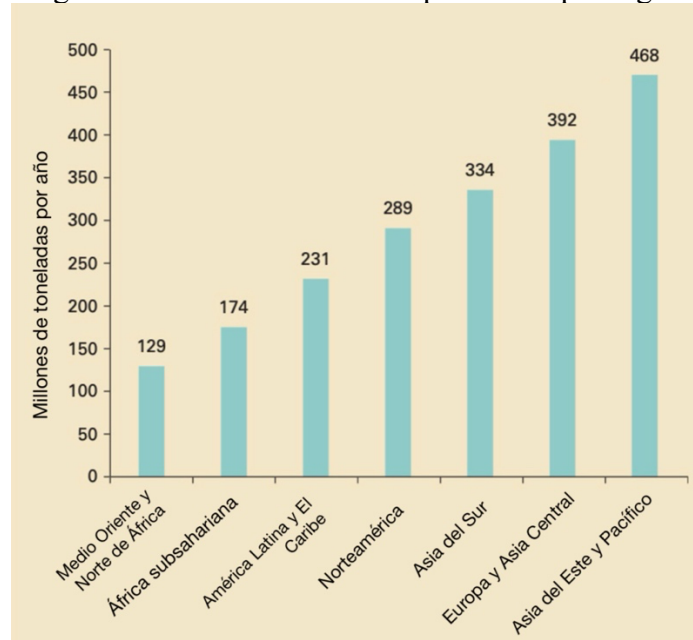


Fuente: Kaza (2018)

6. Generación regional y nacional

A nivel regional, la generación de los desechos sólidos también va en aumento puesto que en 2018 se generaron 231 millones de toneladas de desechos en América Latina y el Caribe con un promedio de 0.99 kg per cápita por día. El rango en esta región oscila entre 3.28 kg per cápita diario hasta 0.46 kg. En Puerto Rico una persona diariamente genera aproximadamente 3.28 kg de desechos; México 1.16 kg; Panamá 1.03; Costa Rica 0.86 kg; El Salvador 0.77 kg y Guatemala 0.46 kg (González, 2019). Al igual que en las proyecciones mundiales, se prevé que para 2030 la región de América Latina y El Caribe generan 290 millones de toneladas mientras que para 2050 ascienda a 369 millones de toneladas (Kaza, 2018).

Figura 7. Cantidad de desecho producido por región



Fuente: Kaza (2018)

En Guatemala no se dispone de cifras oficiales y exactas sobre la cantidad de residuos generados de forma anual, sin embargo, según González (2019), en el 2019 se generaron aproximadamente 3 millones de toneladas, equivalentes a 7,700 toneladas diarias. De este total, un 65 % eran de tipo biológico lo que representa 1,950,000 toneladas anuales de las cuales únicamente 87,750 toneladas, equivalentes al 4.5 %, fueron aprovechadas y convertidas en compost (González, 2019).

7. Impactos del mal manejo

Los residuos mal gestionados representan un gran impacto en el mundo tanto a nivel ambiental como también para la salud. Estos pueden llegar a contaminar océanos y cuerpos de agua al filtrarse disminuyendo el oxígeno disuelto presente en estos causando una mayor demanda bioquímica de oxígeno DBO. Esto puede llevar a asfixiar

la vida marina, a la creación de zonas muertas por la hipoxia y la generación de gases de efecto invernadero como el metano, dióxido de carbono y óxido de nitrógeno, el cual es 300 veces más contaminante que el dióxido de carbono, por la descomposición anaeróbica. Se les llama zonas muertas puesto que pocos organismos son capaces de sobrevivir a las condiciones presentes y como consecuencia los animales crecen menos, presentan problemas reproductivos y enfermedades afectando a las comunidades por la falta de pesca y a los ecosistemas (Virginia Institute of Marine Science, s. f.).

Estas zonas muertas se generan de forma natural a la medida que un exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, provenientes de aguas residuales entran al agua de las costas, contribuyendo a la fertilización y floración de las algas. Cuando las algas mueren se convierten en una fuente principal de alimento para las bacterias que al descomponerlas consumen el oxígeno disuelto en el agua. Si el agua está estratificada, organizada en capas según su temperatura y densidad, el oxígeno de la superficie no es capaz de llegar a las capas más profundas, resultando en bajos niveles de oxígeno. Dicha estratificación es más común en las aguas profundas puesto que las capas de agua mantienen diferentes temperaturas, salinidades y presiones por lo que las zonas muertas son más comunes en los océanos. Sin embargo, las aguas poco profundas tienen menor riesgo de la estratificación, y en consecuencia de la hipoxia, ya que estas se mezclan más fácilmente por los vientos y las mareas (Virginia Institute of Marine Science, s. f.).

Según Natan (2019), los residuos orgánicos pueden llegar a transportar contaminantes y patógenos, proliferando las plagas y enfermedades. Puesto que los residuos atraen y favorecen la reproducción de insectos, cucarachas y moscas estos pueden afectar la salud de las poblaciones al transmitir las bacterias, virus y enfermedades que puedan presentar los animales carroñeros (Ministerio de Salud de Perú, 2019). Se ha evidenciado que cerca de las zonas donde se acumulan los residuos se incrementa la presencia de enfermedades como las parasitosis intestinales que son infecciones causadas por protozoarios y helmintos que afectan la funcionalidad del intestino delgado y/o grueso, la diarrea, la amebiasis causada por el parásito *Entamoeba histolytica* y la cólera. Además, de infecciones respiratorias agudas (Celia, 2020).

Por otro lado, los residuos mal gestionados también afectan el medio ambiente al contaminar los suelos a causa de la escorrentía de los lixiviados generados. Estos son sustancias líquidas presentes principalmente en los vertederos de color negro o amarillo que desprenden un olor desagradable. En su mayoría están compuestos por materia orgánica como carbohidratos y proteínas, nutrientes inorgánicos como el amonio, nitratos y nitrilos, fósforo, potasio y sales como el sodio. Asimismo, pueden presentar en menor proporción compuestos altamente tóxicos generados por la descomposición anaerobia, como el cadmio, plomo o el mercurio (Dávila-Sámano et al., 2021). Los efectos de los lixiviados filtrados en el suelo son los cambios significativos en las propiedades físicas, químicas, estructurales, hidro-mecánicas, mineralógicas y la contaminación de las aguas subterráneas presentando una alta fuente de toxicidad causando un alto riesgo de contagio de enfermedades cancerígenas (Batchelor & Park, 2002).

Los gases de efecto invernadero presentes en la descomposición de los residuos orgánicos son el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso. Sin embargo, la generación de dióxido de carbono es considerada de origen biogénico puesto que existe una producción natural debida a los procesos biológicos realizados por los animales y las plantas al momento de la respiración y descomposición de los mismos (Peñalosa, 2022). Según Rojas (2014), a nivel global, el sector de residuos o desechos contribuye en aproximadamente el 3 al 4 % de todas las emisiones generadas por las actividades humanas. Aquí se incluyen las emisiones del metanol, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y amoníaco. Los gases de efecto invernadero mencionados son producidos por la mala disposición de los residuos como los rellenos sanitarios, la incineración no controlada, manejo inadecuado de los lixiviados y la disposición en cuerpos de agua (Eggleston et al., 2006).

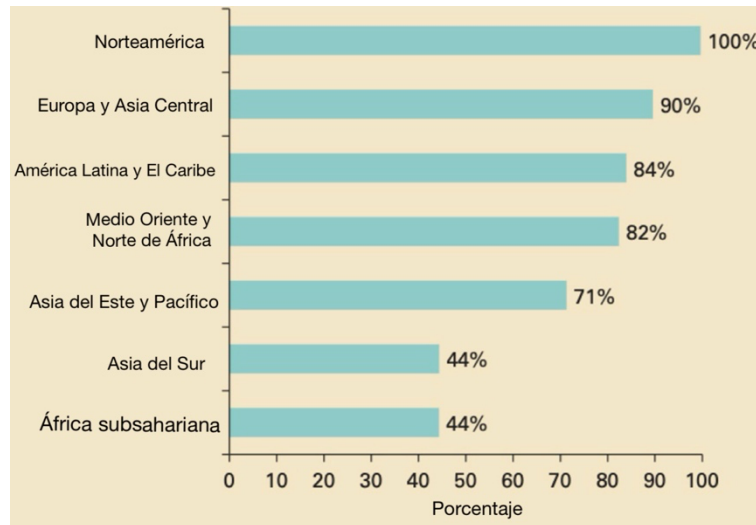
B. Tratamiento de residuos orgánicos

1. Gestión y prácticas actuales de la disposición

A nivel mundial y general, los residuos de todo tipo son desechados en un 37 % en vertederos, 33 % en cielo abierto, 19 % son sometidos a la recuperación de materiales por medio de prácticas como el compostaje o el reciclaje y un 11 % son tratados por medio de la incineración. La eliminación o los tratamientos adecuados de residuos por medio de vertederos controlados se da, en su mayoría, en países con un alto Ingreso Nacional Bruto, como Canadá, Australia y Alemania y también en países con un Ingreso Nacional Bruto medio alto como China, Argentina y Malasia. Mientras que países con un bajo Ingreso Nacional Bruto descartan el 93 % de los residuos en vertederos de cielo abierto, los países con un alto Ingreso Nacional Bruto únicamente un 2 % (Kaza, 2018).

La tasa de recolección de los residuos domésticos y los residuos sólidos urbanos ronda en un 39 % en los países con ingresos bajos, un 51 % en países con ingresos medianos-bajos y arriba del 90 % en países con un alto ingreso económico. Países de Norte América registran una tasa de recolección del 100 %, los de Europa y Asia Central un 90 %, América Latina y el Caribe un 84 %, Medio Oriente y el Norte de África un 82 %, Asia Oriental y Pacífico un 71 % y las regiones del Sur de Asia y África Subsahariana un 44 % (Kaza, 2018).

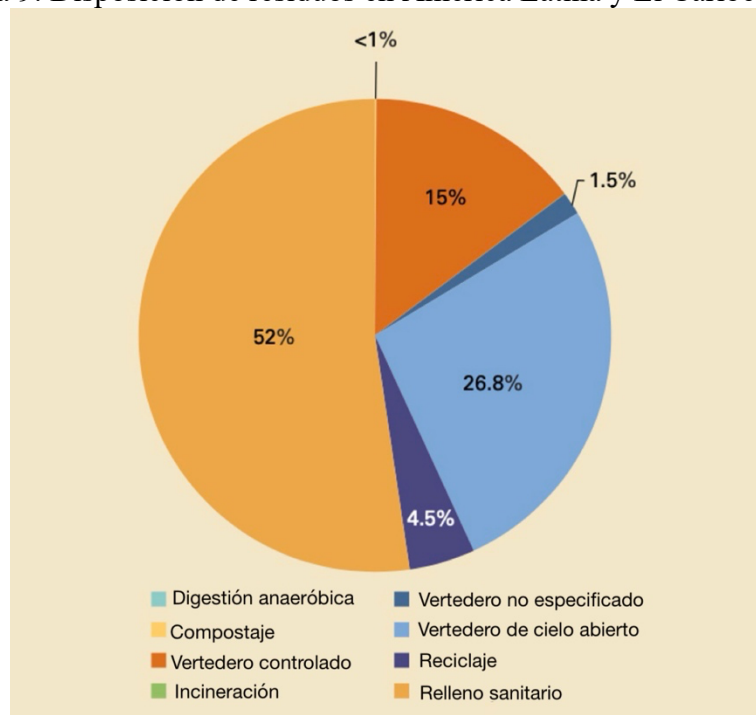
Figura 8. Tasa de recolección de basura por región



Fuente: Kaza (2018)

En América Latina y El Caribe, se desechan el 52 % de los residuos en rellenos sanitarios, un 26.8 % en vertederos de cielo abierto, un 15 % en un vertedero controlado, un 4.5 % se recicla, un 1.5 % en un tipo de vertedero no especificado y menos del 1 % se utiliza para compost. El resto, con menos del 1 % cada uno, se divide en digestión anaeróbica e incineración (Kaza, 2018).

Figura 9. Disposición de residuos en América Latina y El Caribe



Fuente: Kaza (2018)

Los rellenos sanitarios son espacios previamente destinados para desechar todo tipo de basura que en algunos casos se utiliza un recubrimiento impermeable para evitar la

contaminación del suelo por medio de la lixiviación de contaminantes producidos. Estos deberían de estar ubicados lejos de zonas habitadas, de agua potable y de áreas de cultivo. Luego de que la basura sea volcada al vertedero, se compacta para que ocupe el menor espacio posible. Como consecuencia, los residuos tardan décadas en descomponerse puesto que los niveles de humedad y oxígeno son muy bajos. Dentro de los principales efectos negativos está el cambio climático puesto que generan gases de efecto invernadero como el metano y el dióxido de carbono. Por otro lado, pueden producir incendios o explosiones. Una combustión espontánea e incontrolada se puede propagar por el gran volumen de los gases producidos y contaminar el aire, los sistemas acuíferos y a las poblaciones y animales que habiten en cercanías del relleno sanitario. Además, llegan a afectar la fauna puesto que algunos pájaros se alimentan de los vertederos, siendo inevitable que ingieran materiales dañinos como el plástico, aluminio, entre otros. Estos pueden ser mortales (Senent, 2012).

2. Alternativas

Dentro los países con la mejor gestión de residuos se encuentra Corea del Sur, que utiliza los residuos orgánicos para transformarlos en fertilizantes y alimentos para animales. Además, producen biogás y aceite biológico. Por otro lado, Suiza es conocido como uno de los países con mejor manejo de residuos sólidos por medio del reciclaje a través de un sistema de multas. Los habitantes tienen la obligación de separar los desechos en varias categorías, de no ser así, son sancionados por cada kilogramo de residuos no reciclables (Vilet, 2022). Por último, Suecia también es conocido como un ejemplo de gestión ambiental. Su principal táctica es la valorización energética de los residuos en donde la mayoría de los desechos son convertidos en energía utilizable, principalmente, electricidad y sistema de calefacción urbana por medio de la incineración controlada (Söderman, 2003).

Otra de las estrategias reconocidas y utilizadas por este país, es el compostaje. Este devuelve los nutrientes al suelo, enriquece el ecosistema y reduce la necesidad de fertilizantes químicos que, a largo plazo, dañan los suelos. A diferencia de los vertederos, el compostaje anaeróbico, con suficiente oxígeno, no libera metano que es uno de los gases de efecto invernadero que acelera el cambio climático, aumentando la temperatura de la Tierra, aumentando sequillas y poniendo en riesgo la flora y la fauna (Hartlén, 1996). Sin embargo, Suecia busca expandir el uso de máquinas compostadoras en hogares, empresas y municipios, para así incrementar la eficiencia y reducir aún más el volumen de residuos que terminan en vertederos (Green Planet Solution, 2025).

C. Compostaje

1. Definición

Según Albanesi et al. (2012), la palabra compost se originó del francés “composte” que a su vez proviene de la palabra latín “componere” que en español significa “juntar”. Es por esto por lo que el compost puede ser considerado como la junta de varios residuos orgánicos que, por medio de un proceso de descomposición, se obtiene abono orgánico utilizado para mejorar la fertilidad y estructura del suelo. Por otro lado, el

Ministerio de Ambiente de Argentina (2022) afirma que el compostaje es una práctica en donde se propicia la transformación biológica de los restos vegetales en abono. Sin embargo, una de las definiciones más completas es la propuesta por Haug (1993). Esta indica que el compostaje es la descomposición biológica y la estabilización de sustancias orgánicas, bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termofílicas como resultado del calor generado de forma biológica, para la producción final de un producto que es estable, libre de patógenos y semillas de plantas y que a su vez puede aplicarse beneficiosamente a la tierra.

2. Beneficios

Los beneficios del compostaje incluyen la mejora de propiedades físicas del suelo como el aumento de la capacidad de retención de la humedad, mejora de la aireación, reduce el riesgo de la erosión, así como la evaporación del agua. Además, mejora las propiedades químicas puesto que aporta macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, aporta organismos como bacterias y hongos los cuales pueden tener la capacidad de transformar los compuestos insolubles del suelo en nutrientes para las plantas, aumenta la capacidad del intercambio iónico y regula el pH del suelo (Román et al., 2013). Por otro lado, presenta beneficios económicos puesto que no es necesario adquirir productos como fertilizantes químicos.

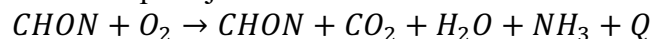
3. Descomposición aeróbica

La descomposición puede ser tanto con presencia de oxígeno, aeróbica, como con la ausencia de este, anaeróbica. El proceso de compostaje aeróbico produce dióxido de carbono, agua y calor mientras que el proceso anaeróbico produce metano, dióxido de carbono y muchos metabolitos intermedios como ácidos orgánicos y alcoholes de bajo peso molecular. También, el proceso anaeróbico tiene un mayor potencial de olor debido a la naturaleza de los intermediarios. Por estas razones, la mayoría de los sistemas de compostaje son aeróbicos (Haug, 1993).

4. Etapas del proceso

Puesto que el compost es el producto de transformaciones mediante microorganismos del material orgánico, los carbohidratos son atacados fácilmente por estos y componen la base de las transformaciones presentes durante el proceso. A menor peso molecular, la descomposición microbiana se da con mayor facilidad. Por lo que, compuestos con otras estructuras, más pesadas, como grasas, ceras o ligninas tardan más en descomponerse. Estas transformaciones se pueden simplificar tomando en cuenta que la descomposición de la materia orgánica se representa con la ecuación siguiente.

Ecuación 1. Proceso de compostaje



(de Bertoldi et al., 1987)

Donde:

$CHON$ = Elementos más comunes en los microorganismos vivos (carbono, nitrógeno, oxígeno y nitrógeno)

O_2 = Oxígeno

CO_2 = Dióxido de carbono

H_2O = Agua

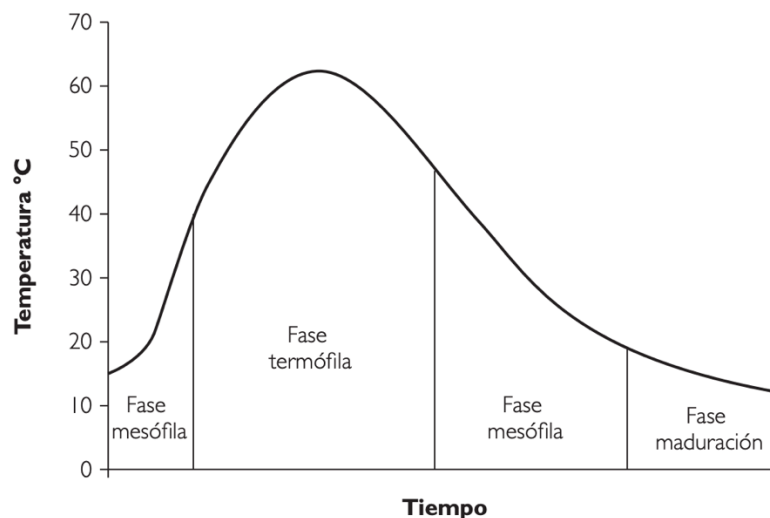
Q = Calor

Este proceso se divide en cuatro etapas principales: mesófila, termófila, una segunda etapa mesófila y la etapa final de maduración. En la etapa inicial, mesófila, cuando el material aumenta su temperatura a aproximadamente 35 °C debido a una alta actividad microbiana. En esta los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de carbono y nitrógeno generando calor. (Román et al., 2013). En esta además se oxidan compuestos carbonados por bacterias y hongos conocidos como microflora mesófila y también la oxidación de compuestos reducidos de azufre. La duración de la misma depende de factores como condiciones de humedad y aireación (Albanesi et al., 2012).

La siguiente etapa es la termófila en donde la temperatura asciende en rangos de entre 45-70°C. En esta la microflora mesófila es sustituida por la termófila, por medio de bacterias, facilitando la degradación de fuentes más robustas de carbono como lo son la celulosa o la lignina. Esta etapa es crucial puesto que en esta se eliminan patógenos mesófilos, hongos, esporas, , larvas, bacterias y contaminantes de origen fecal como la *Escherichia coli* y *Salmonella spp*, que pueden afectar el resto del proceso. La segunda etapa mesófila comienza con la disminución de temperatura a 35 °C a causa de las fuentes agotadas de carbono y nitrógeno. En esta continúa la degradación de biopolímeros como la celulosa por los microorganismos mesófilos desarrollados nuevamente (Albanesi et al., 2012).

La etapa final, es la de maduración. En esta la temperatura descende hasta estar cerca de la ambiente. A la vez, se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización que producen sustancias húmicas y se degradan las sustancias fitotóxicas. El compost es maduro, microbiológicamente, por el descenso de la actividad microbiana (Albanesi et al., 2012).

Figura 10. Etapas del compostaje



Fuente: Albanesi et al. (2012)

5. Materiales adecuados y no adecuados

Los materiales que pueden ser utilizados en el compostaje se dividen en materiales verdes y materiales marrones. Los verdes son ricos en nitrógeno y tienen un alto contenido de humedad mientras que los marrones son ricos en carbono y aportan estructura y la base. Los verdes incluyen cáscaras y restos de frutas y verduras, desechos de jardín frescos como césped u hojas verdes. Los marrones incluyen hojas secas de árboles y arbustos, palos, ramas y cáscaras de huevo. Por otro lado, los materiales que no pueden ser compostados son los huesos, grasas y restos de carnes rojas y pollo, espinas y restos de pescados y mariscos, productos lácteos, restos de alimentos cocidos, papel higiénico, toallas sanitarias, tampones, pañales y otros productos de limpieza. Además, los medicamentos, las colillas de cigarro y las cenizas tampoco se pueden compostar. Finalmente, se deben de evitar los plásticos, metales, vidrios y tetrabrik (Natan, 2019).

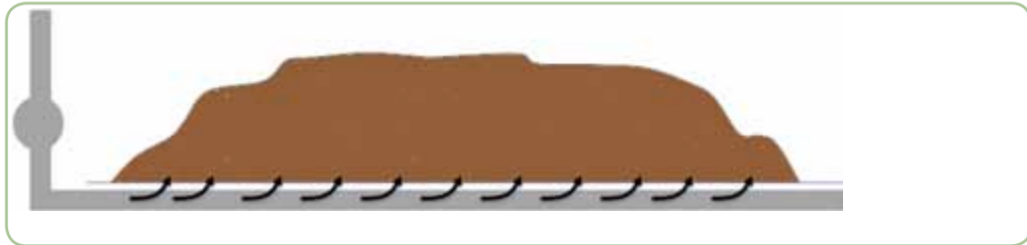
Para lograr un equilibrio entre los materiales marrones con los verdes, la proporción recomendada es de 2:1 o 3:1. Según (Escobar, 2012), la proporción 3:1 es la más eficiente puesto que es la que más acelera la descomposición al tener más carbono en el sistema de compostaje puesto que es una fuente de energía para los microorganismos. Sin embargo, una exceso de carbono o de nitrógeno puede relanzar el proceso (Méndez-Matías, 2018).

6. Composteras y tipos de compost

Los métodos de compost pueden dividirse en dos grandes categorías; abiertos y cerrados. Los métodos abiertos incluyen pilas estáticas y pilas de volteo que a su vez pueden dividirse en el flujo de aire forzado o natural. Los cerrados se dividen en contenedores o túneles. Los sistemas abiertos son utilizados para un volumen de 1 m³ o mayor. A nivel mundial, este tipo de pilas contienen un alto nivel de tecnificación como sistema de aireación forzada y sistema de recolección de lixiviados. Además los

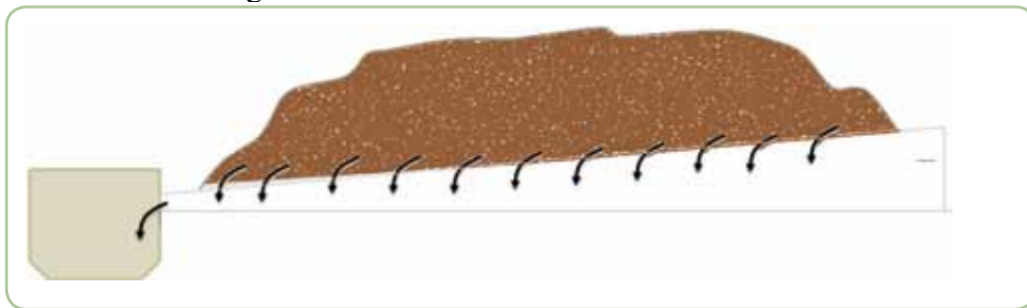
sistemas pueden tener incorporado un volteo mecanizado por medio de un volteador lateral de tornillo o una pala frontal. A nivel industrial estas pilas pueden alcanzar una altura de hasta tres metros (Román et al., 2013).

Figura 11. Sistema de aireación forzada



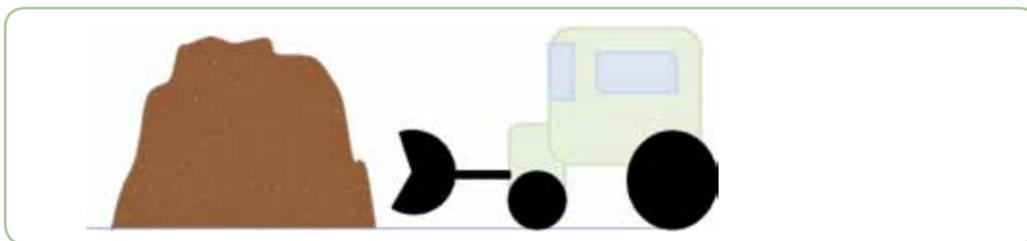
Fuente: Román et al., (2013)

Figura 12. Sistema de recolección de lixiviados



Fuente: Román et al., (2013)

Figura 13. Volteo mecanizado

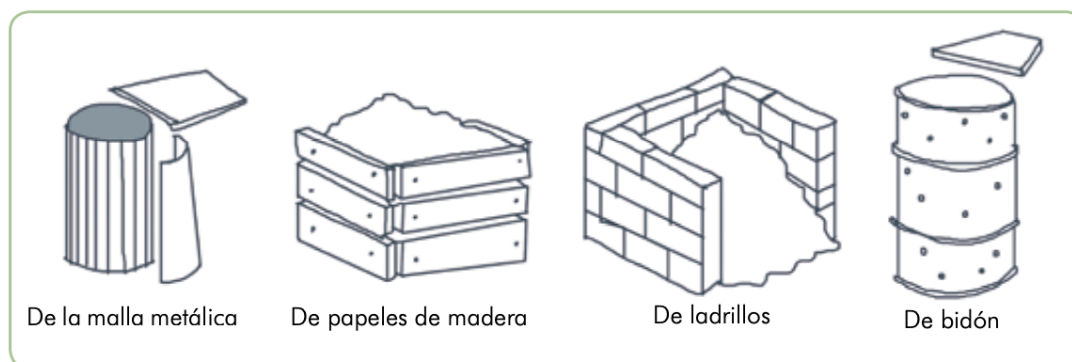


Fuente: Román et al., (2013)

El volteo en las pilas abiertas generalmente, se realiza una vez por semana durante las primeras tres a cuatro semanas, luego debe de ser quincenal. Sin embargo, la frecuencia depende de factores como el olor, aspecto visual y la temperatura. Para propiciar la circulación de aire en estas pilas de gran tamaño y volumen se utiliza una técnica llamada chimenea en la que se coloca uno o varios troncos o ramas grandes de forma vertical cuando esta está siendo formada y se retiran a lo largo del proceso. Estos funcionan como una chimenea en donde el aire puede circular (Román et al., 2013).

Por otro lado los sistemas cerrados son utilizados a nivel doméstico. En estos se facilita el volteo puesto que el volumen no es tan grande como en los sistemas abiertos. Una de las desventajas de este método es el aumento de la temperatura por lo que se hace uso de la tierra para disminuirla. Los tipos de recipientes más utilizados son los de malla metálica, tablas de madera, ladrillos y de bidón. En el área de América Latina y El Caribe, los bidones plásticos de 220 litros son comúnmente utilizados. La selección del recipiente depende de la disponibilidad, cantidad de material a compostar y el espacio (Román et al., 2013).

Figura 14. Tipos de recipientes utilizados para sistemas cerrados



Fuente: Román et al., (2013)

Los sistemas cerrados también pueden clasificarse dependiendo de la orientación, horizontal o vertical, y el tipo de proceso, estático o dinámico. Los recipientes verticales son continuos y los horizontales discontinuos. Las composteras verticales o continuas son llamadas de esta forma puesto que el recipiente se apoya sobre su base y el material fresco se añade en la parte superior de forma continua mientras que el compostaje se extrae en la parte inferior de la misma forma. Una de las ventajas de este arreglo es que necesita poca inversión y son ideales para espacios pequeños puesto que el diámetro suele ser de 60 cm. Mientras que una de las desventajas es que se pueden crear zonas anaeróbicas puesto que el material se compacta y la humedad no es uniforme (Román et al., 2013).

Román et al., (2013) también afirma que el recipiente de la disposición horizontal se apoya sobre su eje longitudinal, generalmente de 90 cm. Este proceso es discontinuo puesto que se coloca todo el material fresco que se desea descomponer y al finalizar el proceso de compostaje se retira el producto maduro. Una de las ventajas es que se puede lograr una mejor distribución de humedad puesto que evita la compactación del material por su facilidad de volteo. Sin embargo, estos sistemas requieren de una mayor inversión. En general, las composteras deben de poseer agujeros en la parte inferior para que los lixiviados puedan ser desechados. No deben de ser herméticas para que el aire pueda circular y propiciar un proceso aeróbico. Idealmente, debe de encontrarse en un lugar bajo la sombra para evitar el calentamiento y temperaturas excesivas (Natan, 2019).

Existen varios tipos de compostaje, está el tradicional, vermicompostaje o lombricompost y el Bocashi. El tradicional consiste en juntar materiales verdes, marrones y tierra mezclados entre sí para la descomposición aeróbica (Albanesi et al., 2012). En el vermicompost o lombricompost es el obtenido por medio de la crianza y el manejo de lombrices, usualmente rojas californianas, a través del consumo del sustrato y la defecación de las mismas. Dentro de las principales ventajas de este tipo es que aumenta el nivel de materia orgánica en el suelo. Además, se obtiene más lixiviado que puede ser utilizado como abono líquido y fertilizante natural para cultivos. Sin embargo, presenta desventajas como el alargamiento del tiempo de proceso por las bajas temperaturas presentes, un mayor control de las variables y la susceptibilidad a plagas por parte de las hormigas que se alimentan de los huevos de las lombrices (Navarro, 2023).

Por otro lado, el Bocashi es un proceso anaeróbico que utiliza materiales como estiércol seco, paja, cascarilla de arroz, carbón vegetal, polvo de roca, tierra, levadura, melaza y agua. Lo que diferencia este tipo de proceso de los otros es que puede administrar todo tipo de residuos alimenticios como carne blanca, roja y pescado, lácteos, alimentos cocidos, cítricos y huesos de tamaño pequeño. Puesto que el compostaje se da sin oxígeno, los microorganismos fermentativos como los lactobacilos y las levaduras descomponen los azúcares y carbohidratos simples convirtiéndolos en compost maduro en un plazo de 15 a 20 días (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de México, s. f.).

7. Factores que influyen en el proceso

Las variables que deben de ser monitoreadas durante el proceso son la temperatura, el oxígeno, humedad, pH y relación carbono-nitrógeno. Otros aspectos importantes son la conductividad eléctrica, la cantidad de nutrientes totales, tamaño de partícula, porosidad y la capacidad de retención de agua. Además, parámetros biológicos como la capacidad de degradabilidad, la liberación de potasio y la actividad microbiana y enzimática (Albanesi, 2012).

La temperatura es uno de los más importantes puesto que esta indica la actividad microbiana presente en el proceso. Al tener un aumento de temperatura los procesos metabólicos se agilizan y la velocidad de la descomposición también. La temperatura de la fase mesófila ronda alrededor de 40 °C y es cuando la actividad microbiana aumenta. En la etapa termófila, la temperatura puede llegar a valores de 60-70 °C puesto que la actividad microbiana está en su punto más alto. Por último, la fase final en donde la temperatura es cercana a la ambiental por la disminución de la actividad. Sin embargo, en temperaturas menores de 20 °C, las reacciones de transformación se ven afectadas puesto que se ralentiza la actividad (Bohórquez, 2019).

El oxígeno es un aspecto muy importante puesto que, como fue mencionado anteriormente, los microorganismos presentes en este proceso son aerobios por lo que el volteo manual o mecánico es indispensable ya sea de la aplicación de aire forzado o de forma natural. Los efectos de un flujo bajo de aireación son la reducción del

crecimiento de los microorganismos, la velocidad de transformación se ve disminuida y la generación de olores desagradables aumenta puesto que se propician los microorganismos anaerobios. El volteo manual es eficiente para material fresco de aproximadamente una tonelada sin embargo, para masas mayores se utiliza maquinaria especializada. Esta variable debe de ser tomada en cuenta desde el inicio del proceso puesto que la baja disponibilidad de oxígeno puede resultar en un exceso de humedad que puede favorecer al compactamiento (Bohórquez, 2019).

Bohórquez (2019) también indica que la humedad debería de estar entre un 40 a 60 % a lo largo del proceso puesto que el aumento de esta crea condiciones anaerobias retrasando la transformación de los restos y nuevamente aumentando la producción de los olores desagradables mientras que la reducción detiene las reacciones oxidativas de los microorganismos. Esta puede ser modificada agregando material fresco con mayor contenido de humedad para aumentar este porcentaje o agregando materiales con bajo contenido de humedad como hojas secas para disminuirlo. Además, el pH influye de forma difecta las reacciones bioquímicas. El pH ideal debe de ser neutro de 7, sin embargo, este rango puede variar de 4.5 a 8.5. Si este valor es menor a 4.5, se obtienen un exceso de ácidos orgánicos y puede agregarse material rico en nitrógeno, mientras que si es mayor a 8.5 existe un exceso de nitrógeno por lo que se puede agregar material seco (Román et al., 2013).

Asímismo, la relación carbono-nitrógeno influye en la degradación de los residuos de forma eficiente. Al inicio del proceso, una relación apropiada debe de ser de 25 a 35. Esto quiere decir de 25 a 35 unidades de carbono y 1 de nitrógeno. Si esta aumenta a valores por encima de 40, la actividad microbiana se ve afectada por la escasez de nitrógeno el cual es indispensable para la biosíntesis de aminoácidos que son los constituyentes principales de las proteínas. Por otra parte, si esta es menor a 20 en las primeras etapas del proceso, este se llevará a cabo en menos tiempo, sin embargo, se liberará nitrógeno al ambiente en forma de amoníaco. A lo largo de las etapas de compostaje este debe de estar en un rango de entre 35 a 11. Los valores típicos de de relación C/N de algunos materiales que se utilizan para la producción de abono orgánico vacilan desde 6.38 hasta 7 (Bohórquez, 2019).

Figura 15. Relación C/N de materiales utilizados para abono orgánico

Producto	Relación C/N
Cascarilla de arroz	66
Aserrín	638
Seudotallo de plátano	58
Bagazo de caña de azúcar	104
Restos de hortalizas	37
Estiércol porcino	10
Estiércol bovino	25
Gallinaza camada	18
Gallinaza pura	7

Fuente: Bohórquez (2019)

8. Emisiones de gases de efecto invernadero en el proceso

Las emisiones de gases de efecto invernadero en vertederos y rellenos sanitarios son predominantes, generando grandes cantidades de metano, el cual es 28 veces más dañino que el dióxido de carbono. Además, en la digestión anaeróbica, transformando residuos en biogas, produce metano el cual puede ser capturado y emplearse como energía. Por otro lado, el proceso de compostaje genera menos gases de efecto invernadero por tonelada de residuo gestionado que las prácticas mencionadas con anterioridad (Nordahl et al., 2023).

Los principales gases emitidos en el proceso de compostaje son el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y el amoníaco. El dióxido de carbono es considerado biogénico puesto que proviene de fuentes biológicas por lo que es considerado neutro porque se encontraba en el ciclo de carbono y vuelve a él por medio de la absorción de plantas. El metano se genera únicamente en procesos anaeróbicos donde no se propicia una cantidad suficiente de aire para evitar una falta de oxígeno. Por otro lado, el óxido nitroso es generado por procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación. Por último, el amoníaco llega a producirse previo a que las proteínas presentes en la mezcla fresca para abono sean oxidadas (Nordahl et al., 2023).

D. Inóculos en el compostaje

1. Impacto del inóculo

Un aumento en la carga microbiana en el compostaje puede reducir la fase inicial de los microorganismos conocida como la etapa lag en donde las bacterias empiezan a adaptarse a las condiciones ambientales en las que se encuentran previo al crecimiento microbiano. Además, puede generar enzimas acelerando la descomposición aumentando la eficiencia y reduciendo el tiempo de producción, reduciendo así costos productivos. Según Babett et al., (2022) los estiércol utilizados, de bovino, avícola, porcino y de burro, mezclados con hongos ligninolíticos y celulolíticos como *Trichoderma harzianum*, *T.virede*, *Aspergillus niger*, entre otros acortan el tiempo de maduración puesto que los bacilos presentes producen enzimas que degradan fácilmente la celulosa, el almidón, los lípidos y las proteínas. Además, el uso de inóculos aumenta la temperatura, reduce la relación carbono-nitrógeno, aumenta la cantidad de macronutrientes y también el índice de germinación (Babett et al., 2022). Por otro lado, el uso de microorganismos como el *Bacillus subtilis* BIU/1, *Bacillus subtilis* D3L/1 y *pseudomonas sp. RAT/5* cada uno con sustratos orgánicos como frutas, vegetales, hojas, heno, periódico, paja de trigo y cáscaras de arroz resultó en una reducción del tiempo de compostaje a 75 días produciendo un abono orgánico estable y alto en nutrientes (Pan et al., 2011).

2. Estiércol de caballo y vaca como inóculo

El estiércol de caballo es una fuente alta de materia orgánica al igual que el nitrógeno. Su composición depende mucho de la alimentación y el metabolismo del caballo, pero en general contiene fibra vegetal no digerida y microorganismos.

Chastain, (2022) indica que el porcentaje de humedad varía de entre 58.5 % a 77.0 %. La relación carbono-nitrógeno reportada fue de 27.5:1 y la materia orgánica en base seca se obtuvo entre 84.2 % y 94.7 % mientras que el carbono total presente fue del 43.8 % al 49.2 % de la materia seca. El pH varió entre 6.87 y 8.23. Contenía un 1.02-2.04 % de nitrógeno, 0.59-1.86 % de fósforo y un 1.05-1.98 % de potasio. Además, contiene en menores proporciones calcio, magnesio, azufre, zinc, cobre, manganeso, hierro y sodio (Chastain, 2022).

Al igual que el excremento de caballo, el de vaca también depende de la alimentación del animal y de su metabolismo. El porcentaje de humedad es de 87.3 %, está compuesto por 0.49 % de nitrógeno, 0.20 % de fósforo y 0.40 % de potasio. La relación carbono-nitrógeno varía entre 15:1 y 25:1 (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, s. f.). El pH de estiércol varía entre 7.0 a 7.3. Finalmente, también se encuentran compuestos como calcio, azufre, sodio, magnesio, cobre, zinc, manganeso, hierro y boro en pequeñas cantidades (Meat & Livestock Australia, s. f.).

E. Impactos y aplicaciones del compostaje

Los impactos ambientales incluye la disminución de la erosión, mejora la salud del suelo, aumenta la capacidad de retención y disminuye la contaminación provocada por residuos orgánicos que de no ser así dañarían los suelos, mares entre otros (Bohórquez, 2019). En el aspecto social, el abono orgánico puede generar empleo, mejorar la calidad de vida al disminuir olores indeseados y disminuir la cantidad de residuos orgánicos que son desechados en vertederos o rellenos sanitarios (Román et al., 2013). Además, reduce la dependencia y el uso de fertilizantes o productos externos (Albanesi et al., 2012).

Las aplicaciones del compost incluye la horticultura, hortalizas, cultivos frutales, jardines y macetas. Además se usa en para fertilizar las gramíneas que incluyen cereales como el trigo, el maíz y el arroz. También es utilizado en cultivos como cacao, cítricos y maracuyá (Román et al., 2013).

Finalmente, dos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS, pueden ser vinculados al compostaje. El primero es el ODS número 11, Ciudades y Comunidades Sostenibles. Este busca reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, prestando una mayor atención a la calidad del aire y la gestión de desechos. Además, el ODS número 12, Producción y Consumo Responsables. En específico, la meta 12.2 que espera una gestión sostenible y uso eficiente de los recursos naturales, la 12.4 de gestión ecológicamente racional de desechos y reducción de su liberación al aire, agua y suelo y la 12.5 de reducción considerable de la generación de desechos mediante la prevención, reducción, reciclaje y reutilización (Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo, s. f.).

V. ANTECEDENTES

En 2012, se realizó un trabajo de investigación en la Universidad técnica de Ambato, en la ciudad de Ecuador ejecutado por (Quinatoa, 2012). En este se realizó un compostaje aeróbico con tres inóculos biológicos. Como resultado, el compost con inóculo de Microorganismos Eficientes Autóctonos (EMA's) acortó el tiempo de obtención de 140 días a 114 días reduciendo un 18.6 % en tiempo.

En 2021, se realizó un trabajo publicado por la Universidad autónoma del Estado de México, realizado por (Tapia, 2019). En este, se elaboraron abonos tipo bocashi utilizando estiércol de elefante y estiércol de caballo como materia prima mezclados con carbón vegetal, ceniza, melaza, salvado y agua. Como resultado, el abono con estiércol de caballo mostró una mejor consistencia y textura para su manejo, una alta capacidad de retención de humedad y un aumento en el contenido de nutrientes disponibles después de la fermentación.

En 2019, la Universidad de La Salle publicó un libro llamado El Proceso de Compostaje escrito por Bohórquez. En este se indica que la relación carbono-nitrógeno debería de oscilar entre 25-35 unidades de carbono por 1 de nitrógeno al inicio del proceso de compostaje para que la degradación del material empleado sea eficiente. Además, si este valor sobrepasa las 40 unidades de carbono la actividad microbiana puede ser afectada y limitada por la falta de nitrógeno. También afirma que para con compost maduro la relación C/N debe de estar entre 11-15:1.

En 2013, la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación (FAO) publicó un Manual de Compostaje del Agricultor escrito por Román et al. Este indica que el porcentaje de humedad debe de ser menor a 70 %, de lo contrario, el agua puede saturar los poros del sustrato afectando la oxigenación. Además, debe de ser mayor al 20% puesto que, al tener valores menores las reacciones oxidativas de los microorganismos se detienen afectando la actividad microbiana.

El Manual de Compostaje del Agricultor también indica que el pH puede variar y oscilar entre 4.5 a 8.5 a lo largo del proceso de compostaje, sin embargo, la mayor actividad microbiana se da en un pH de 6.0 a 7.5. Este no debe de bajar de 4.5 puesto que propicia la formación excesiva de ácidos orgánicos y no debe de sobrepasar de 8.5 ya que es un indicador de que hay un exceso de nitrógeno (Román et al., 2013)

Empresas como Agro Terra y la Compañía Agroindustrial Espiga producen y comercializan gallinaza mientras que el Grupo Central Agrícola utilizan gallinaza, cerdaza, pasto de corte y grasas no especificadas para producir biogás con el fin de producir energía a un flujo de 500 a 600 kilovatios hora (Bolaños, 2018).

Origen de los excrementos

El excremento de vaca utilizado en este estudio se obtuvo de vacas de raza sebucaña que se mantuvieron en pastoreo libre, cuya alimentación consistió en zacate estrella, pasto mombaza y tusa de maíz. El excremento de caballo se obtuvo de caballos de raza española

que se mantuvieron estabulados, cuya alimentación consistió en concentrado marca Omalina 200, heno ovido y alfalfa. De manera esporádica, ambos animales consumieron sal mineral especial para ganado. La alimentación de los animales fue brindada por la Finca Villa María ubicados en Santa Rosa de Lima. La alimentación suministrada a los animales fue proporcionada por la Finca Villa María ubicados en Santa Rosa de Lima, la cual entregó los insumos alimenticios conforme la recomendación veterinaria.

VI. METODOLOGÍA

A. Materiales y equipo

- Guantes de látex
- Guantes térmicos
- Gafas de seguridad
- Mascarilla
- Estufa
- Mortero
- Cuchillo
- Tiras reactivas de pH
- Trituradora de residuos orgánicos TR 200
- Compostera rotativa de 140 litros con 2 compartimientos
- Termómetro digital de suelo marca REOTEM
- Digestor micro 12 marca JP Selecta
- 12 tubos de digestión
- Destilador Kjeldahl manual marca JP Selecta
- Campana de extracción de gases
- Balanza de precisión marca Ohaus
- Balanza de humedad marca Ohaus
- Balanza de plataforma marca Ohaus
- Horno de mufla marca Heraeus
- 2 cubetas plásticas de 40 litros
- 1 varilla de agitación
- 1 probeta de 100 mL
- Bureta de 50 mL
- 2 Erlenmeyers de 250 mL
- 3 beakers de 250 mL
- 5 beakers de 40 mL
- 1 pipeta de 10 mL
- 1 pipeta de 1 mL
- 1 micropipeta de 0.5 mL
- Crisol de porcelana
- Tamiz de 0.2 mm
- Balón de aforo de 150 mL
- Balón de aforo de 250 mL
- Balón de aforo de 100 mL
- 84 mL de ácido sulfúrico 98 % (p/p)
- 111 g de mezcla de catálisis
 - 100 g de sulfato de potasio
 - 10 g de sulfato de cobre monohidratado

- 1 g de selenio
- 240 mL de hidróxido de sodio 40 % (p/v)
- 120 mL solución de ácido bórico 4 % (p/v)
- Indicador mixto 2:1 Verde de Bromocresol y Rojo de Metilo
- Ácido sulfúrico 0.1 N
- Agua potable
- Agua destilada
- Materiales ricos en carbono por compartimiento
 - 1.00 kg de hojas secas
 - 1.00 kg de tierra
 - 0.30 kg de heno
- Materiales ricos en nitrógeno por compartimiento
 - 0.26 kg de restos de plátano
 - 0.26 kg de restos de manzana
 - 0.26 kg de restos de papa
 - 0.13 kg de restos de lechuga
 - 0.13 kg de restos de zucchini
 - 0.13 kg de restos de pepino
 - 0.13 kg de restos de repollo
- Sólidos de control por compartimiento
 - 1 trozo de bolsa biodegradable
 - 1 hueso de aguacate
 - 1 trozo de zanahoria
- Inóculos
 - 0.52 kg de estiércol de vaca
 - 0.52 kg de estiércol de caballo

B. Preparación de los materiales

1. Recolectar los materiales ricos en carbono, materiales ricos en nitrógeno y los inóculos.
2. Cortar los materiales en 3 cm con un cuchillo.

C. Preparación de las mezclas de compost

Procedimiento basado en lo realizado por Román et al. (2013), Tapia (2019) y Quinatoa (2012):

1. En una cubeta de 40 L pesar:
 - 1.00 kg de hojas secas
 - 1.00 kg de tierra
 - 0.30 kg de heno

- 0.26 kg de restos de plátano
 - 0.26 kg de restos de manzana
 - 0.26 kg de restos de papa
 - 0.13 kg de restos de lechuga
 - 0.13 kg de restos de zucchini
 - 0.13 kg de restos de pepino
 - 0.13 kg de restos de repollo
 - 0.52 kg de estiércol de caballo
2. Triturar la mezcla con la trituradora de residuos orgánicos TR 200.
 3. Colocar la mezcla triturada en un compartimiento de la compostera.
 4. Pesar los sólidos de control: 1 trozo de bolsa biodegradable, 1 hueso de aguacate y 1 trozo de zanahoria.
 5. Colocarlos dentro del compartimiento de la compostera.
 6. Agregar 100 mL de agua al compartimiento.
 7. En una cubeta de 40 L pesar:
 - 1.00 kg de hojas secas
 - 1.00 kg de tierra
 - 0.30 kg de heno
 - 0.26 kg de restos de plátano
 - 0.26 kg de restos de manzana
 - 0.26 kg de restos de papa
 - 0.13 kg de restos de lechuga
 - 0.13 kg de restos de zucchini
 - 0.13 kg de restos de pepino
 - 0.13 kg de restos de repollo
 - 0.52 kg de estiércol de vaca
 8. Triturar la mezcla con la trituradora de residuos orgánicos TR 200.
 9. Colocar la mezcla triturada en un compartimiento de la compostera.
 10. Pesar los sólidos de control: 1 trozo de bolsa biodegradable, 1 hueso de aguacate y 1 trozo de zanahoria.
 11. Colocarlos dentro del compartimiento de la compostera.
 12. Agregar 100 mL de agua al compartimiento.
 13. Rotar la compostera por 2.5 minutos en una dirección y 2.5 minutos en la otra.

D. Determinación de nitrógeno método de micro-Kjeldahl

Procedimiento basado en lo reportado por Panreac AppliChem (s. f.) realizado por Agrolaboratorio Ceres:

- Preparación de las soluciones
 - Mezcla catalizadora
 1. Pesar 100 g de sulfato de potasio.

2. Pesar 10 g de sulfato de cobre monohidratado
3. Pesar 1 g de selenio en la campana de extracción de gases utilizando mascarilla y guantes.
4. Mezclar los tres reactivos en un mortero.
5. Almacenar en un frasco de vidrio con tapa.
- Hidróxido de sodio 40 % (p/v)
 1. Pesar 60 g de hidróxido de sodio.
 2. Medir 80 mL de agua destilada con una probeta y agregarla a un beaker de 250 mL
 3. Agregar los 60 g de hidróxido de sodio lentamente y agitar de forma constante con una varilla de agitación.
 4. Enfriar el beaker con un baño de hielo hasta que esté a temperatura ambiente.
 5. Transferir la solución a un balón de aforo de 150 mL y aforar con agua destilada.
- Ácido bórico 4 % (p/v)
 1. Pesar 10 g de ácido bórico.
 2. Colocarlo en un beaker de 250 mL
 3. Calentar a 80 °C 150 mL de agua destilada y añadirla al beaker.
 4. Agitar hasta dilución completa con una varilla de agitación.
 5. Dejar enfriar el beaker a temperatura ambiente.
 6. Trasvasar la solución a un balón aforado de 250 mL y aforar con agua destilada.
- Ácido sulfúrico 0.1 N
 1. Medir 0.3 mL de ácido sulfúrico al 98 % (p/p) con una micropipeta.
 2. Agregar 80 mL de agua destilada a un beaker de 250 mL
 3. Añadir el ácido sulfúrico al beaker lentamente y bajo agitación con una varilla.
 4. Dejar enfriar hasta que llegue a temperatura ambiente.
 5. Trasvasar la solución a un balón de aforo de 100 mL y aforar con agua destilada.
- Determinación de nitrógeno
 1. Pesar 1 g de la mezcla de compost.
 2. Transferirlo a un tubo de digestión.
 3. Repetir hasta completar 10 tubos.
 4. Utilizar los 2 tubos sobrantes como blancos.
 5. Pesar y añadir 2 g de mezcla de catálisis a cada uno de los tubos de digestión.
 6. Agregar 7 mL de ácido sulfúrico al 98 % (p/p) a cada uno de los tubos y agitarlos.

7. Colocar los tubos de digestión en el digestor y taparlos.
8. Encender la campana de extracción de gases.
9. Encender el digestor y digerir la muestra durante 3 horas a una temperatura de 380 °C.
10. Posterior a las 3 horas, apagar el digestor y dejar enfriar la batería de tubos hasta que estén a temperatura ambiente.
11. Añadir 50 mL de agua destilada a cada uno de los tubos.
12. Con la pipeta agregar 10 mL de la solución de ácido bórico con el indicador en un Erlenmeyer de 250 mL.
13. Colocar el Erlenmeyer con la solución en la salida del condensador del destilador manual asegurando este esté inmerso en el ácido bórico.
14. Colocar 1 tubo de digestión en el destilador y agregar 20 mL de hidróxido de sodio.
15. Encender el destilador y destilar hasta obtener entre 80-100 mL de destilado.
16. Al terminar la operación sacar el tubo de digestión con guantes térmicos.
17. Repetir la destilación para el resto de los tubos con muestra.
18. Titular el destilado obtenido con ácido sulfúrico 0.1 N hasta obtener un viraje de color de azul a rojo.
19. Calcular el nitrógeno total presente en la muestra utilizando la ecuación:

Ecuación 2. Porcentaje de nitrógeno total.

$$\text{Nitrógeno total (\%)} = \frac{(a - b) * N * 0.014}{P} * 100$$

Donde:

a = Ácido sulfúrico requerido para valorar la muestra (mL)

b = Ácido sulfúrico requerido para valorar el blanco (mL)

P = Peso de muestra analizada (g)

N = Normalidad del ácido sulfúrico

E. Determinación de materia orgánica método de incineración seca

Procedimiento basado en lo realizado por López (1977) ejecutado por Agrolaboratorio Ceres:

1. Pesar 80 g de muestra del abono orgánico.
2. Secar la muestra a temperatura ambiente durante hasta que esta se encuentre suelta y quebradiza al punto que se pueda ser desmenuzada fácilmente con la mano.
3. Pasar la muestra por un tamiz de 0.2 mm.
4. Pesar y registrar el peso de un crisol de porcelana.
5. Pesar 10 g de muestra tamizada y colocarla en el crisol.

6. Secar el crisol con la muestra a 110 °C durante 2 horas con una estufa y registrar el peso.
7. Llevar el crisol al horno de mufla e incinerar la muestra a 430 °C por 8 horas.
8. Posterior a las 8 horas, dejar enfriar el crisol hasta que se encuentre a temperatura ambiente.
9. Pesar el crisol con las cenizas.
10. Determinar la pérdida por ignición con la siguiente ecuación.

Ecuación 3. Pérdida por ignición.

$$Pérdida_{ignición} = m_{crisol+muestra\ seca} - m_{crisol+cenizas}$$

Donde:

$m_{crisol+muestra\ seca}$ = Masa del crisol con la muestra seca a 110°C

$m_{crisol+cenizas}$ = Masa del crisol con las cenizas después de 430°C

11. Calcular el porcentaje de materia orgánica con la ecuación:

Ecuación 4. Porcentaje de materia orgánica

$$\%MO = \left(\frac{Pérdida_{ignición}}{Masa_{tierra\ seca}} \right) * 100$$

Donde:

$\%MO$ = Porcentaje de materia orgánica

$Pérdida_{ignición}$ = Pérdida de masa por ignición

$Masa_{muestra\ seca}$ = Masa de la muestra seca

12. Repetir la incineración hasta completar los 80 g de la muestra de abono.

F. Determinación de relación C/N

Procedimiento basado en lo realizado por Mellado & Gabriel (2023) ejecutado por Agrolaboratorio Ceres:

1. Calcular la relación C/N utilizando la ecuación:

Ecuación 5. Relación carbono-nitrógeno.

$$C/N = \frac{\left(\frac{MO}{1.72} \right)}{N}$$

Donde:

C/N = Relación carbono-nitrógeno

MO = Materia orgánica

N = Nitrógeno

G. Determinación de porcentaje de humedad

Procedimiento basado en lo realizado por Chávez (2016):

1. Extraer 5 g de la mezcla de compost con inóculo de excremento de caballo y colocarlo en un beaker de 250 mL.
2. Colocar en la toma de muestras de la balanza de humedad.
3. Ejecutar el análisis en la balanza y registrar el resultado.
4. Desechar la muestra
5. Repetir los pasos para determinar el porcentaje de humedad de la mezcla de compost con inóculo de excremento de vaca.

H. Determinación de pH

Procedimiento basado en lo realizado por Beretta et al. (2015):

1. Pesar 10 g de la mezcla de compost con inóculo de excremento de caballo y colocarlo en un beaker de 250 mL.
2. Agregar 50 mL de agua destilada.
3. Agitar la mezcla vigorosamente con una varilla de agitación durante 5 minutos.
4. Dejar reposar la mezcla durante 10 minutos.
5. Sumergir una tira de pH en la mezcla acuosa.
6. Retirar la tira y esperar aproximadamente 20 segundos.
7. Comparar el color resultante con la escala de referencia de las tiras de pH.
8. Repetir los pasos para determinar el pH de la mezcla de compost con inóculo de excremento de vaca.

I. Determinación de temperatura

Procedimiento basado en lo indicado por Bohórquez (2019):

1. Encender el termómetro de suelo y esperar a que la temperatura registrada se estabilice.
2. Introducir la sonda del termómetro a cada uno de los compartimientos de la compostera.
3. Registrar las temperaturas.

J. Pesaje de sólidos de control

1. Extraer el trozo de bolsa biodegradable, el hueso de aguacate y el trozo de zanahoria del compost con inóculo de caballo utilizando guantes y colocarlos en beakers separados.
2. Pesar cada uno y registrar el resultado.
3. Regresarlos a la compostera utilizar guantes y asegurar que se encuentren completos.
4. Repetir los pasos anteriores para el compost con inóculo de vaca.

K. Monitoreo de variables

Procedimiento basado en lo realizado por Román et al. (2013):

- Frecuencia de volteo
 - Rotar la compostera por 2.5 minutos en una dirección y 2.5 minutos en la otra.
 - Semana 1-4 cada 3 días
 - Semana 5-9 cada 5 días
 - Semana 10-12 suspender el volteo
- Frecuencia de agua
 - Semana 1 800 mL
 - Semana 2-6 150 mL por semana
 - Semana 7-11 75 mL por semana
 - Semana 12 suspender el riego
- Mediciones periódicas
 - Relación C/N
 - Cada 2 semanas
 - Porcentaje de humedad
 - Cada 4 días
 - Temperatura
 - Semana 1-4 cada 4 días
 - Semana 5-12 cada 7 días
 - Sólidos de control
 - Cada 2 semanas

L. Análisis de resultados

1. Analizar la relación C/N, el porcentaje de humedad y el pH de cada compost final.
2. Comparar los valores con los registrados por el producto comercial.
3. Determinar la formulación que produzca las mejores propiedades para utilizarse como abono.

VII. RESULTADOS

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos iniciales de la mezcla de compost con inóculo de estiércol de caballo

Propiedad fisicoquímica	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Relación C/N	25.29	4.7	0.19
Porcentaje de humedad en base húmeda	68.33±0.01 %	0.21±0.11 %	0.31±0.15
pH	7±0.5	0	0

Este cuadro muestra los parámetros fisicoquímicos iniciales para la mezcla de abono orgánico con inóculo de estiércol de caballo. Para esto se determinó la relación carbono-nitrógeno, el porcentaje de humedad en base húmeda y el pH. El resto de las mediciones obtenidas a lo largo de las 12 semanas del proceso de compostaje se encuentran en el apartado de anexos.

Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos iniciales de la mezcla de compost con inóculo de estiércol de vaca

Propiedad fisicoquímica	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Relación C/N	26.96	8.08	0.30
Porcentaje de humedad en base húmeda	65.43±0.01 %	0.33±0.01 %	1.01±0.51
pH	7±0.5	0	0

Este cuadro muestra los parámetros fisicoquímicos iniciales para la mezcla de abono orgánico con inóculo de estiércol de vaca. Para esto se determinó la relación carbono-nitrógeno, el porcentaje de humedad en base húmeda y el pH. El resto de las mediciones obtenidas a lo largo de las 12 semanas del proceso de compostaje se encuentran en el apartado de anexos.

Cuadro 3. Descomposición del trozo de zanahoria utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de caballo

Semana	Masa (±0.01g)	Porcentaje de degradabilidad (±0.03 %)
1	406.2	0.00
3	385.92	4.99
5	224.37	44.76
6	218.6	46.18

9	209.8	48.35
11	189.2	53.42
12	180.4	55.59

El cuadro anterior muestra los porcentajes de degradabilidad del trozo de zanahoria presente en la mezcla de compost con estiércol de caballo. Este fue determinado por medio de la pérdida de masa a lo largo de las semanas de producción. El comportamiento gráfico se encuentra en la Figura 16.

Cuadro 4. Descomposición del trozo del hueso de aguacate utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de caballo

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)
1	35.7	0.00 \pm 0.4
3	33.8	5.32 \pm 0.4
5	32.7	8.40 \pm 0.4
6	32.1	10.08 \pm 0.4
9	29.8	16.53 \pm 0.4
11	25.3	29.13 \pm 0.3
12	22.1	38.10 \pm 0.3

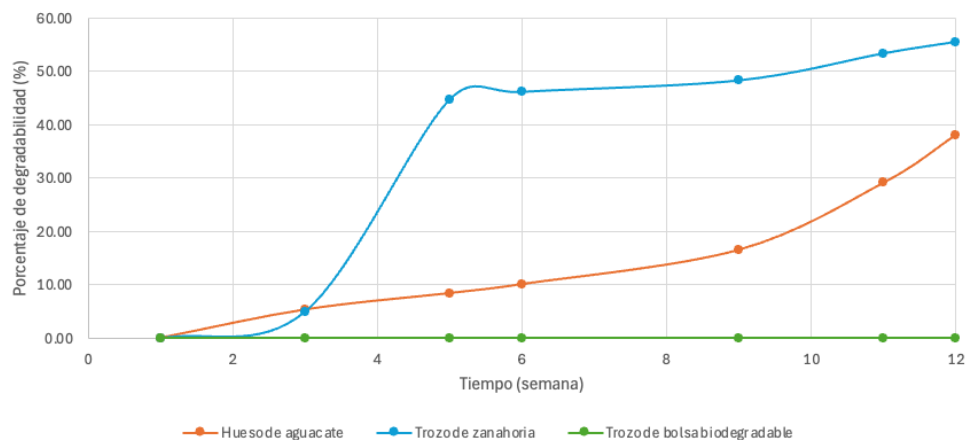
El cuadro anterior muestra los porcentajes de degradabilidad del hueso de aguacate presente en la mezcla de compost con estiércol de caballo. Este fue determinado por medio de la pérdida de masa a lo largo de las semanas de producción. El comportamiento gráfico se encuentra en la Figura 16.

Cuadro 5. Descomposición del trozo de bolsa identificada como biodegradable utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de caballo

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)
1	1.0	0
3	1.0	0
5	1.0	0
6	1.0	0
9	1.0	0
11	1.0	0
12	1.0	0

El cuadro anterior muestra los porcentajes de degradabilidad del trozo de bolsa identificada como biodegradable presente en la mezcla de compost con estiércol de caballo. Este fue determinado por medio de la pérdida de masa a lo largo de las semanas de producción. El comportamiento gráfico se encuentra en la Figura 16.

Figura 16. Descomposición de los sólidos de control en la mezcla de compost con estiércol de caballo



La figura anterior muestra el comportamiento de los porcentajes de degradabilidad de los tres sólidos de control presentes en la mezcla de compost con estiércol de caballo a lo largo de las semanas de producción.

Cuadro 6. Descomposición del trozo de zanahoria utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de vaca

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)
1	310.4	0.00 ± 0.5
3	293.6	5.41 ± 0.4
5	171.7	44.68 ± 0.4
6	163.4	47.36 ± 0.4
9	153.9	50.42 ± 0.4
11	138.6	55.35 ± 0.4
12	135.8	56.25 ± 0.4

El cuadro anterior muestra los porcentajes de degradabilidad del trozo de zanahoria presente en la mezcla de compost con estiércol de vaca. Este fue determinado por medio de la pérdida de masa a lo largo de las semanas de producción. El comportamiento gráfico se encuentra en la Figura 17.

Cuadro 7. Descomposición del trozo del hueso de aguacate utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de vaca

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)
1	33.0	0.00 ± 0.4
3	29.9	9.39 ± 0.4
5	25.4	23.03 ± 0.4

6	25.00	24.24 ±0.4
9	22.3	32.42 ±0.4
11	17.9	45.76 ±0.3
12	15.6	52.73 ±0.3

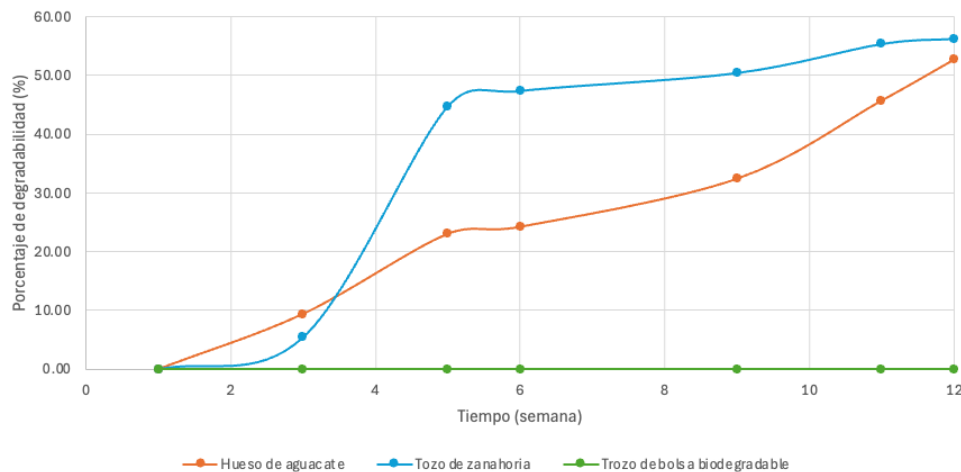
El cuadro anterior muestra los porcentajes de degradabilidad del hueso de aguacate presente en la mezcla de compost con estiércol de vaca. Este fue determinado por medio de la pérdida de masa a lo largo de las semanas de producción. El comportamiento gráfico se encuentra en la Figura 17.

Cuadro 8. Descomposición del trozo de bolsa identificada como biodegradable utilizado como sólido de control en la mezcla de compost con estiércol de vaca

Semana	Masa (±0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)
1	1.0	0
3	1.0	0
5	1.0	0
6	1.0	0
9	1.0	0
11	1.0	0
12	1.0	0

El cuadro anterior muestra los porcentajes de degradabilidad del trozo de bolsa identificada como biodegradable presente en la mezcla de compost con estiércol de vaca. Este fue determinado por medio de la pérdida de masa a lo largo de las semanas de producción. El comportamiento gráfico se encuentra en la Figura 17.

Figura 17. Descomposición de los sólidos de control en la mezcla de compost con estiércol de vaca



La figura anterior muestra el comportamiento de los porcentajes de degradabilidad de los tres sólidos de control presentes en la mezcla de compost con estiércol de vaca a lo largo de las semanas de producción.

Cuadro 9. Propiedades fisicoquímicas de la mezcla de compost maduro con estiércol de caballo

Propiedad fisicoquímica	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Relación C/N	11.38	0.24	0.02
Porcentaje de humedad en base húmeda	45.61±0.01 %	0.02±0.01 %	0.03 ±0.02
pH	7	0	0

El cuadro anterior muestra las propiedades fisicoquímicas del compost maduro para la mezcla con inóculo de estiércol de caballo. El resto de las mediciones obtenidas a lo largo de las 12 semanas del proceso de compostaje se encuentran en el apartado de anexos.

Cuadro 10. Propiedades fisicoquímicas de la mezcla de compost maduro con estiércol de vaca

Propiedad fisicoquímica	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Relación C/N	9.44	0.05	0.3
Porcentaje de humedad en base húmeda	45.64±0.01 %	0.13±0.06 %	0.28±0.14 %
pH	7	0	0

El cuadro anterior muestra las propiedades fisicoquímicas del compost maduro para la mezcla con inóculo de estiércol de vaca. El resto de las mediciones obtenidas a lo largo de las 12 semanas del proceso de compostaje se encuentran en el apartado de anexos.

Cuadro 11. Prueba t de Student para las propiedades fisicoquímicas entre el compost con estiércol de caballo y el compost comercial

	Relación C/N		Porcentaje de humedad en base húmeda		pH	
	Compost producto comercial	Compost con estiércol de caballo	Compost producto comercial	Compost con estiércol de caballo	Compost producto comercial	Compost con estiércol de caballo
Media	11.77	11.38	45.23	45.61	7	7
Desviación estándar	1.87	0.24	0.56	0.02	0	0
Tamaño de muestra	2.00	2.00	3	3	3	3
Valor t	0.29		-1.17		-	-
Valor p	0.80		0.31		-	-
Decisión	No hay diferencia significativa		No hay diferencia significativa		No es posible determinar el valor t ni el p	

El cuadro anterior muestra los datos calculados y utilizados para realizar la prueba t de Student. En este caso se compararon las propiedades fisicoquímicas del compost maduro con excremento de caballo y las del producto comercial.

Cuadro 12. Prueba t de Student para las propiedades fisicoquímicas entre el compost con estiércol de vaca y el compost comercial

	Relación C/N		Porcentaje de humedad en base húmeda		pH	
	Compost producto comercial	Compost con estiércol de vaca	Compost producto comercial	Compost con estiércol de vaca	Compost producto comercial	Compost con estiércol de vaca
Media	11.77	9.44	45.23	45.64	7	7
Desviación estándar	1.87	0.05	0.56	0.13	0	0
Tamaño de muestra	2.00	2.00	3	3.00	3	3
Valor t	1.76		-1.24		-	-
Valor p	0.22		0.28		-	-
Decisión	No hay diferencia significativa		No hay diferencia significativa		No es posible determinar el valor t ni el p	

El cuadro anterior muestra los datos calculados y utilizados para realizar la prueba t de Student. En este caso se compararon las propiedades fisicoquímicas del compost maduro con excremento de vaca y las del producto comercial.

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó una comparación a nivel laboratorio del efecto del inóculo de origen animal utilizando excremento de caballo y de vaca por separado en la producción de compost utilizando residuos residenciales como restos de frutas y verduras, de jardinería y agricultura como hojas secas, tierra y heno. Esto se logró por medio de la determinación de los parámetros fisicoquímicos iniciales de las dos mezclas mediante la medición de la relación carbono-nitrógeno, pH y porcentaje de humedad para definir el inicio de la reacción de degradación. Además, se midió la descomposición de tres sólidos de control; trozo de zanahoria, hueso de aguacate y trozo de bolsa identificada como biodegradable con el propósito de determinar el que maximice la degradabilidad del sustrato. Luego, se determinaron las propiedades fisicoquímicas del compost maduro y se compararon con las de un producto comercial para establecer la formulación que genere mejores propiedades.

El diseño experimental fue comparativo, para evaluar el efecto de dos inóculos en el proceso de compostaje a través de la determinación de propiedades fisicoquímicas: relación carbono-nitrógeno, porcentaje de humedad en base húmeda y pH. Estos indicadores se utilizaron puesto que permiten identificar el inicio del proceso de degradación, así como reconocer la etapa de maduración. Asimismo, dichas propiedades se compararon con un producto comercial para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas por medio de la prueba t de Student.

Las dos mezclas fueron elaboradas con los mismos materiales ricos en carbono como nitrógeno. Las proporciones utilizadas fueron de 2.54 partes de materiales cafés, ricos en carbono, por 1 parte de materiales verdes, ricos en nitrógeno. Según Cornell Waste Management Institute (2015) esta relación másica debe de estar entre 2 a 3:1 para asegurar un balance entre. Las mezclas se diferenciaron únicamente por el tipo de inóculo: estiércol de caballo y estiércol de vaca. Las proporciones de inóculo utilizadas fueron del 11.3 % (m/m) con respecto a la masa total de la mezcla para compost tanto para la mezcla con inóculo de estiércol de caballo como de vaca. La literatura no reporta porcentajes estándar de inóculo, sin embargo, Tapia (2019) utilizó un 10 % de estiércol de elefante con respecto a la masa total de la mezcla en su estudio sobre los abonos orgánicos como mejoradores de suelo. El compost inicial observado fue una mezcla heterogénea de color café en donde era posible identificar los restos de los materiales utilizados. Su textura era grumosa y húmeda.

La elección de los inóculos se basó en criterios de disponibilidad local y de las características que pueden influir en el proceso de compostaje. En Guatemala, tanto es estiércol de caballo como el de vaca son de fácil acceso debido a la ganadería equina y bovina en zonas rurales. Por otro lado, en Guatemala, una gran proporción de los residuos orgánicos se desechan sin ningún tipo de aprovechamiento, especialmente en áreas rurales o periurbanas donde no existen sistemas formales de gestión (Kaza et al., 2018). Dentro de estos residuos, el estiércol de caballo y de vaca son particularmente abundantes y, sin embargo, carecen de un uso definido. Incluso en el caso de la gallinaza y la cerdaza, la información técnica documentada es limitada, su uso es conocido principalmente por su

comercialización como abonos. La alimentación de los animales influyó en el efecto que tuvo su estiércol en el compostaje, las vacas consumieron principalmente pasto seco, zacate estrella, pasto mombaza y tusa de maíz, lo que aumenta el contenido de fibra en su estiércol. Por otro lado, los caballos recibieron una dieta controlada a base de concentrado Omalina 200, heno ovilla y alfalfa, lo que genera un estiércol con menor fibra.

Además, se utilizaron tres sólidos de control que permanecieron dentro de la compostera durante todo el proceso: un trozo de zanahoria, un hueso de aguacate y un trozo de bolsa identificada como biodegradable. A lo largo de las semanas se fue registrando la variación de su masa, lo que permitió calcular el porcentaje de descomposición. Estos resultados se usaron para comparar el comportamiento de ambas mezclas y establecer cuál de ellas favoreció una mayor degradabilidad del sustrato.

Se eligieron estos tres sólidos de control puesto que tienen diferentes características, naturalidad y dureza. El hueso de aguacate es compacto y duro, representa compuestos de difícil descomposición y contiene un porcentaje de humedad de 20.5 %, el cual es más bajo que la zanahoria (Sánchez & Loarca, s. f.). El trozo de zanahoria contiene mayor porcentaje de humedad de entre 84.0-91.0 %, es más blando que el hueso de aguacate y representa una mayor degradabilidad (Saavedra & Kehr, s. f.). Finalmente, el trozo de bolsa identificada como biodegradable es fabricado con resinas biobasadas y compostables como el ácido poliláctico PLA, polihidroxialcanoatos PHA, almidón termoplástico TPS y celulosa regenerada (Biorgani, 2023). Este se incorporó con el objetivo de comprobar si las condiciones alcanzadas durante el proceso fueron suficientes para degradar materiales de origen biológico.

Un plástico biodegradable orgánico debe de cumplir con normas como la UNE-EN 13432:2001 establecida por la Asociación Española de Normalización (s. f.) en donde se describen los requisitos de los envases y embalajes valorizables por medio del compostaje y la biodegradación. Además, la ASTM D6400 define los estándares que deben de cumplir los plásticos para poder ser etiquetados como compostables en un proceso aeróbico en facilidades municipales o industriales (American Society for Testing and Materials, 2022). Dentro de estos requisitos, el bioplástico debe de ser fabricado con resinas biobasadas mencionadas con anterioridad, además, no debe de ser un plástico oxodegradable puesto que estos se descomponen en microplásticos que luego son liberados al medio ambiente perjudicándolo, pero en especial a los océanos (Schirn, 2024).

Además, para poder ser identificado como biodegradable deben de pasar pruebas como la biodegradación o mineralización. Esta consiste en que el menos el 90 % del carbono orgánico debe de convertirse en dióxido de carbono en un plazo máximo de 6 meses en condiciones de compostaje industrial en donde la temperatura máxima sea de aproximadamente 58 ± 2 °C. Además, tras 3 meses de compostaje industrial, el bioplástico debe de fragmentarse en partículas de aproximadamente 2mm (Mohee et al., 2008).

La relación carbono-nitrógeno se determinó mediante el método de Micro-Kjeldahl para el nitrógeno y el método de incineración seca para la materia orgánica, ya que son técnicas ampliamente utilizadas en estudios de compostaje y en literatura como El Manual de Compostaje del Agricultor publicado por la Organización de las Naciones Unidas para

la Agricultura y la Alimentación (Román et al., 2013). El porcentaje de humedad se determinó con una balanza de humedad puesto que permitió cuantificar directamente el agua contenida en las muestras a través de la pérdida de masa por secado. El pH se midió con tiras reactivas debido a su practicidad. Además, la temperatura se midió con un termómetro de suelo, ya que este parámetro permite identificar las distintas etapas del compostaje.

El volteo de la compostera se realizó cada tres días durante las primeras cuatro semanas para asegurar. Una adecuada aireación en las primeras etapas, cada cinco días entre la semana cinco a la nueve para mantener el suministro de oxígeno en la fase media y se suspendió en las últimas dos semanas para favorecer la estabilización. La relación carbono-nitrógeno se midió cada dos semanas, puesto que su variación es más lenta y no requiere de un seguimiento tan frecuente al igual que los sólidos de control. El porcentaje de humedad se registró cada cuatro días para asegurar que no se saliera del rango adecuado para la actividad microbiana.

Para determinar las propiedades fisicoquímicas iniciales de las mezclas se calculó la relación carbono-nitrógeno, la cual para el abono con inóculo de estiércol de caballo fue de 25.29:1 en promedio, como se puede observar en el Cuadro 1. Según Bohórquez (2019), este valor debería de estar entre 25-35 unidades de carbono por 1 de nitrógeno para que la degradación de los residuos empleados sea eficiente. Además, asegura que si dicha relación sobrepasa el valor 40:1 la actividad microbiana puede encontrarse en peligro puesto que es limitada por la falta de nitrógeno. Este compuesto es indispensable para que los microorganismos que descomponen la materia orgánica ya que lo necesitan para producir aminoácidos y luego proteínas (Román et al., 2013). Como consecuencia, el compost tiende a enfriarse y hace que el proceso sea más lento. Por otro lado, una baja relación C/N acelera el proceso al calentar la mezcla, pero valores menores a 20:1 también son perjudiciales puesto que liberan el nitrógeno en forma de amoníaco a la atmósfera, contaminando el medio ambiente y liberando gases de efecto invernadero.

La relación C/N para el abono con inóculo de estiércol de vaca para la semana 1 fue de 26.96:1 encontrándose dentro del rango sugerido por Bohórquez (2019). Sin embargo, como se observa en el Cuadro 2, este valor promedio tuvo una desviación estándar mayor siendo de 8.08 comparada con el 4.70 de la mezcla con estiércol de caballo. Al ser una medida estadística de dispersión, esta indica que los datos medidos presentan una mayor variabilidad y están más dispersos alrededor de la media. En el Cuadro 8 se observan los valores tomados para este promedio siendo de 21.24 y 32.67. El 21.24 se sale del rango mencionado con anterioridad, lo que sugiere que la muestra no se encontraba del todo homogenizada.

En términos de promedio, la relación carbono-nitrógeno fue mayor a la del compost con estiércol de caballo lo que pudo haber sido afectado por la alimentación de los animales. Las vacas de las que se tomó el inóculo se encontraban en pastoreo libre, sin recibir ningún tipo de alimentación suplementaria y sin intervención en su dieta por parte de los cuidadores, con excepción de la administración esporádica de sal mineral especial para bovinos. Además, los inóculos fueron recolectados en el mes de marzo, cuando la temperatura ambiental es elevada en Santa Rosa y la máxima oscila entre 28 y 30 °C. Estas

se alimentan de en su mayoría de zacate estrella, pasto mombaza y tusa de maíz que en esa época se encontraban secos. Al ser una dieta más fibrosa se puede explicar el incremento de la relación C/N del estiércol comparándola con el estiércol de caballo.

Por otro lado, los caballos de los que se obtuvo el inóculo se alimentan exclusivamente con concentrado, heno ovido y alfalfa, completando su dieta con sal mineral de forma esporádica. Los alimentos se almacenan y suministran bajo sombra, de modo que no se secan. El estiércol de estos animales se recolectó en la misma época que el de las vacas. Esta dieta más estable, controlada y con mayor aporte de proteína, explica que la relación C/N de la mezcla de abono con estiércol de caballo sea menor que al de la mezcla con estiércol de vaca y por qué tenga una menor desviación estándar.

El porcentaje de humedad también fue tomado en cuenta para los parámetros fisicoquímicos iniciales de las mezclas. Esta fue de 68.33 ± 0.01 % para el compost con estiércol de caballo y 65.43 ± 0.01 % para el de vaca como se observa en el Cuadro 1 y en el Cuadro 2. Según Chastain, (2022) el porcentaje de humedad del estiércol de caballo oscila entre el 58.5-87.0 % mientras que el de vaca entre el 45.2-84.1 %. Sin embargo, la mezcla contenía restos de alimentos con alto contenido de humedad como el plátano (~80 %), manzana (~85 %), papa (~80 %), lechuga (~97 %), zucchini (~86 %), pepino (~75 %) y repollo (~91 %) y materiales con bajo contenido de humedad como hojas secas (~10 %), tierra (~20 %) y heno (~15 %) (Tirado et al., 2015). Al encontrarse mezclados, el porcentaje de humedad varió entre 68.33 y 65.43 %, esta diferencia también puede ser atribuida a la recolección del inóculo y a la diferencia de las condiciones del mismo. El estiércol de caballo se encontró bajo sombra mientras que el de vaca estaba expuesto a las condiciones ambientales.

La actividad microbiana también se ve afectada por la humedad puesto que al ser seres vivos, utilizan el agua como medio de transporte de los nutrientes por medio de la membrana celular. Autores como Román et al., (2013) indican que este valor debería de ser menor al 70 % puesto que, de no ser así al agua puede llegar a saturar los poros del sustrato y afectar la oxigenación por medio de la aireación del material. Esto puede dar lugar a zonas de anaerobiosis en donde se produzca y libere metano. Además, Bohórquez (2019) señala que esta falta de oxígeno retrasa la transformación de los restos y aumenta la generación de olores indeseados. Por otro lado, un contenido de humedad por debajo del 20 % detiene las reacciones oxidativas de los microorganismos y como consecuencia la actividad microbiana, desacelerando también el proceso. Habiendo mencionado esto, los promedios de porcentaje de humedad para ambas mezclas se encuentran dentro de los rangos esperados. Además, la desviación estándar para la mezcla de abono con estiércol de caballo y de vaca son valores pequeños de 0.21 y 0.33 % respectivamente.

Además, como se observa en el Cuadro 1 y en el Cuadro 2, la pH fue de 7 para el inicio de la reacción de degradación. Este valor depende de los materiales utilizados y puede llegar a variar durante el proceso desde 4.5 a 8.5, sin embargo, la mayor actividad microbiana se da entre 6.0 a 7.5 mientras que la actividad fúngica se produce a 5.5-8.0 (Román et al., 2013). El mismo autor resalta que un pH menor a 4.5 propicia los excesos de ácidos orgánicos, que pueden desequilibrar el proceso al afectar de forma negativa los microorganismos y favorecer la producción de amoníaco. Además, valores por arriba de

8.5 indican una cantidad excesiva de nitrógeno, que como fue mencionado con anterioridad perjudican el compostaje. Puesto que las propiedades fisicoquímicas promedio se encontraban dentro del rango recomendado, se puede afirmar que el proceso se desarrolló de manera correcta al inicio sin la generación de olores desagradables.

Por otro lado, se midió la degradabilidad del sustrato por medio de el porcentaje de degradación de tres sólidos de control. El primer sólido de control analizado fue un trozo de zanahoria. Las zanahorias contienen un porcentaje de humedad de entre 84 y 91%, una densidad de 1.02-1.04 g/cm³ y una dureza de entre 20-45 N (Saavedra & Kehr, s. f.). Además, su estructura es parenquimática, lo que significa que almacenan agua, sus paredes celulares son delgadas y es un tejido sencillo (Pombal, s. f.). Además, al empezar a deshidratarse, los huecos que contenían agua se convierten en microcanales por donde pasan el oxígeno, los microorganismos y las enzimas por lo que las zanahorias son más susceptibles al deterioro y a la degradación.

Por otro lado, el hueso de aguacate Hass contiene un porcentaje de humedad del 20.45 % aproximadamente, una densidad de similar a la de la zanahoria, por encima de 1.00 g/cm³ y una dureza de 2,352 N aproximadamente (Sánchez & Loarca, s. f.). Además, contiene paredes celulares muy gruesas y lignificadas en donde la lignina otorga rigidez, resistencia y dureza. Además contiene capas de esclerénquima que es un tejido vegetal que aporta soporte y estructura (Pombal, s. f.). Es por esto que presenta una descomposición más lenta comparada con tejidos blandos como los de la zanahoria. También, el bajo porcentaje de humedad comparado con el de la zanahoria limita la actividad microbiana afectando en su pérdida de masa.

Este comportamiento se puede ver de forma gráfica en la Figura 16. En el Cuadro 3 se ve como el trozo de zanahoria en la mezcla de compost con estiércol de caballo se degrada de 0.00 % a 4.99 % desde la semana 1 a la 3. Continuando con el proceso, de la semana 3 a la 5, se ve como este porcentaje aumenta repentinamente. Según la Figura 18, este periodo está en fase termófila, en donde la actividad microbiana es la máxima debido a las altas temperaturas que este caso fue de entre 43-50.7 °C. Luego de la fase termófila, el porcentaje de degradabilidad sigue aumentando pero a una tasa menor, pasando de 46.18 % a 48.35 % en dos semanas de la fase mesófila en donde la temperatura vuelve a disminuir progresivamente. Finalmente, en la fase de maduración, la degradación fue del 2.17 %. Esto se debe a que el compost llega a valores de temperatura cercanos a la ambiental, en este caso a 25.4 °C.

Por otro lado, el porcentaje de degradación del hueso de aguacate tuvo un aumento constante desde la semana 1 hasta la 5. Para este sólido no se observó una disminución repentina de masa en la fase termófila que se dio entre la semana 2.5 a la 5. De la semana 3 a la 5 el porcentaje aumentó de 5.32 % a 8.40 %. Sin embargo, la principal diferencia de porcentajes se observó entre la semana 9 a la 11 donde ascendió de 16.53 % a 29.13 %. Esto puede estar relacionado por la debilitación de la pared celular del hueso de aguacate en las semanas previas. Finalmente, en la etapa de maduración, siguió aumentando exponencialmente hasta llegar a 38.10 %. El comportamiento de la figura 16 sugiere que este se pudo haber seguido degradándose si el tiempo de compostaje fuera mayor a las 12 semanas.

El tercer sólido de control utilizado fue un trozo de bolsa biodegradable. Esta bolsa Biorgani, está fabricada con resinas biobasadas y compostables (Biorgani, 2023). Las resinas biobasadas son aquellas que su materia prima proviene de recursos renovables de origen biológico como el ácido poliláctico PLA, polihidroxialcanoatos PHA, almidón termoplástico TPS, celulosa regenerada, entre otros (Muñoz, 2016). Según Biorgani (2023), el material de la bolsa está hecho de materiales renovables y cuenta con vertificados de biodegradabilidad y compostabilidad, sin embargo, no se detallan los certificados mencionados. Según se ve en la Figura 16 y el Cuadro 5, la descomposición de este sólido de control fue de 0 %. Esto sugiere que las condiciones del entorno compostable no fueron las correctas para este tipo de material. Al ser a nivel laboratorio, las temperaturas no excedieron de 51 °C por lo que es posible que los microorganismos que degradan los bioplásticos se encontraban en pequeñas cantidades. Estos microorganismos incluyen las bacterias termofílicas, *Bacillus*, *Thermys* y *Thermomonospora*, que degradan de forma más eficiente en temperaturas a aproximadamente 60 °C, los hongos filamentosos como *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. Estos microorganismos contienen enlaces éster que son susceptibles a la hidrólisis enzimática produciendo esterases y lipasas que son grupos de enzimas capaces de romper el polímero en monómeros, moléculas más pequeñas y simples (Manger, s. f.).

Los porcentaje de degradabilidad de los sólidos de control presentes en el abono orgánico con estiércol de vaca siguieron una tendencia similar. Como se observa en la Figura 17, el trozo de zanahoria obtuvo un mayor porcentaje mientras que el hueso de aguacate tuvo uno menor y el trozo de bolsa biodegradable no tuvo ningún tipo de degradación. En el cuadro 6 se observa que el porcentaje de degradación del trozo de zanahoria en las primeras semanas aumento de 0.00 % a 5.41 %, similar al reportado en la mezcla con excremento de caballo. Del mismo modo, de la semana 3 a la semana 5 se observó un aumento súbito de 5.41 % a 44.68 %. Como se observa en la Figura 19, estas semanas se encuentren dentro de la etapa termófila donde la actividad microbiana es mayor. El comportamiento del porcentaje de degradabilidad siguió de la misma forma que en la otra mezcla, aumentando a una tasa menor. Sin embargo, el porcentaje final fue mayor en este caso siendo de 56.25 %. Esto puede deberse a que el excremento de vaca, probablemente, contiene una mayor variedad de microorganismos que el de caballo, a consecuencia de la alimentación de los animales descrita previamente.

El hueso de aguacate presentó un mayor porcentaje de degradabilidad desde el inicio pasando de 0.00 % a 9.39 % entre la semana 1 a la 3, siendo un 4.07 % mayor al de la otra mezcla. Asimismo, de la semana 6 a 9, incrementó de 24.24 % a 32.42 %. Este periodo corresponde a la fase mesófila de la Figura 19. Esto indica que, al variar únicamente el inóculo, el excremento de vaca pudo contener pequeñas cantidades de microorganismos que degradan los carbohidratos presentes en el hueso de aguacate. Según (Álvarez, 1993), algunos hongos presentan un hongo llamado *Neocallimastix frontalis* el cual produce enzimas hidrolíticas que pueden romper los enlaces de carbohidratos con mayor facilidad (Pearce & Bauchop, 1985). Esto facilita el deterioro de la pared celular, permitiendo que los microorganismos entren al hueso de forma más rápida y directa. Además, al debilitar la pared celular se disminuye la resistencia y la dureza del sólido. Este hongo pudo haber sido excretado por los animales y al utilizarlo para una de las mezclas, generó un mayor

porcentaje de degradación, alcanzado un porcentaje de 52.73 %. Finalmente, la bolsa biodegradable, al igual que en la mezcla con estiércol de caballo, no presentó ningún cambio de masa por lo que resultó en un porcentaje de degradabilidad a lo largo de 12 semanas de 0.00 %.

Por otro lado, el Cuadro 27 presenta los valores promedio de la relación carbono-nitrógeno de todo el proceso del compost con estiércol de caballo. En este se observa que la relación va disminuyendo progresivamente a lo largo del tiempo hasta llegar a la semana 6 donde este dato desciende hasta 10.08:1. Como fue mencionado anteriormente, una relación C/N por debajo de 10:1 representa una liberación excesiva de nitrógeno en forma de amoníaco, emitiendo olores desagradables y contaminando el ambiente. Es por esto que Brust, (2019) asegura que el rango ideal de esta propiedad es de entre 10 a 20 unidades de carbono por una de nitrógeno. Además, Bohórquez (2019), indica que este va bajando a lo largo que el compost pasa por sus etapas mencionadas con anterioridad. Debido a que la relación se encontraba muy cercana a niveles bajos de los rangos sugeridos, se agregaron 0.5 kg de hojas secas al compartimiento que contenía el abono con estiércol de caballo y también al de vaca. Para el caso del compost con estiércol de vaca, la relación descendió a 8.66. Para la semana 9 dicha relación había subido a 18.33 y 17.31 para el abono con estiércol caballo y vaca, correspondientemente.

Además, el porcentaje de humedad fue disminuyendo progresivamente para ambas mezclas. Como se observa en el Cuadro 13 y el 14, cada semana la cantidad de agua iba disminuyendo hasta llegar a valores cercanos de 50 %. Por otro lado, en el Cuadro 15 y 16 se observa que el pH se mantuvo estable en un valor de 7 a lo largo del proces. Este pH neutro sugiere que los ácidos orgánicos, como el láctico y el áctico, no estén presentes y si llegaran a estar, se encuentran en concentraciones muy pequeñas. Según Sundberg et al. (2013), este pH neutro también se traduce en la disminución de olores y se da por una buena aireación y estructura del sustrato utilizado. Así se favorecen las condiciones aerobias y disminuye la probabilidad de crear zonas anaerobias que dan paso a amoníaco.

Finalmente, después de 12 semanas del proceso de compostaje, se determinaron las propiedades físicoquímicas del producto maduro. En el Cuadro 9 se observa que para el abono con estiércol de caballo se obtuvo una relación C/N de 11.38 como promedio con una desviación estandar mínima de 0.24, significando que de las dos muestras realizadas, se obtuvieron valores similares, siendo de 11.21 y 11.55 como se puede observar en el Cuadro 27. Además, el porcentaje de humedad final fue de 45.61 % con una desviación de 0.02 %. Por último, el pH fue de 7. Estos valores se encuentran dentro de los rangos mencionados con anterioridad.

Para poder comparar las propiedades físicoquímicas finales del compost con estiércol de caballo con las del producto comercial se realizó una prueba t de Student. Esta es una prueba estadística de hipótesis utilizada para definir si la diferencia entre las medias de dos grupos es estadísticamente significativa (Hurtado & Silvente, 2012). En esta prueba se calcula un valor t el cual representa cuántas veces más grande es la diferencia observada que la variación normal de los datos. Para poder calcular dicho valor se utilizan la media, la desviación estándar y el tamaño de muestra de los dos grupos analizados. Efron (1969) afirma que un valor t grande en magnitud indica que la diferencia observada es mayor de

lo que se esperaría mientras que un valor cercano a cero indica que la diferencia observada es pequeña en relación con la variabilidad. Con este se puede calcular el valor p que mide la probabilidad de obtener un diferencial igual o más extremo que el observado si en realidad no existe ninguna diferencia real. Un valor P pequeño sugiere que la probabilidad de obtener ese resultado es poco probable si no hubiese diferencia real por lo que si habría evidencia significativa para concluir que las medias son estadísticamente significativas. Por otro lado, si p es grande significa que el resultado obtenido es probable incluso si no hay diferencia real por lo que no se puede afirmar que existe una diferencia significativa (Efron, 1969).

Los resultados de la prueba t de Student, para comparar el compost con estiércol de caballo con las del producto comercial, se encuentran en el Cuadro 11. En este se exponen las propiedades finales mencionadas con anterioridad y las del producto comercial. Para las propiedades de relación carbono-nitrógeno y porcentaje de humedad no existe una diferencia significativa puesto que el valor p es mayor al nivel de significancia, 0.05, utilizado por lo que estadísticamente se considera que presenten un comportamiento equivalente en ambos parámetros. Sin embargo, como fue mencionado con anterioridad, el pH se mantuvo en 7 por lo que no fue posible determinar ninguna variabilidad por lo que no fue posible realizar una prueba estadística y se concluye que ambos compost son equivalentes en cuando a esta propiedad.

Por otro lado, el cuadro 10 muestra las propiedades fisicoquímicas finales del compost con estiércol de vaca. La relación C/N fue de 9.44 en promedio con un valor alto de desviación estándar de 0.05 significando que los datos utilizados para el promedio no fueron dispersos. Además, el porcentaje de humedad final fue de 45.64 % con una pequeña desviación de 0.13 %. Al igual que para el compost maduro con excremento de caballo, el pH del de vaca fue de 7. Se realizó la misma prueba t de student para poder determinar si existía diferencia significativa de las propiedades y valores mencionados que con los del producto comercial Para la relación carbono-nitrógeno y el porcentaje de humedad se concluyó que no existe evidencia significativa y que para el pH, por lo poder realizar dicha prueba y por no mostrar ninguna variación, no es posible determinar el valor de t ni de p.

A pesar de que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las propiedades del compost con inóculo de excremento de vaca y el comercial, se observa en el Cuadro 28, la relación C/N de la semana 6 se encuentra por debajo del rango sugerido de También afirma que para con compost maduro la relación C/N debe de estar entre 11-15:1 y en este caso se obtuvo 6.33:1 por lo que no debe de ser empleado como abono orgánico ya que puede contener un exceso de nitrógeno y como consecuencia amoníaco. Además, Azis et al., (2023) indica que la liberación del amoníaco y posibles emisiones de óxido nitroso pueden generar olores desagradables. Además afirma que el abono producido puede contener fitotoxinas que son tóxicas para algunas plantas y que pueden inhibir el crecimiento o matarlas (Azis et al., 2023).

Si bien los análisis estadísticos de prueba t de Student no detectaron diferencias significativas con el producto comercial, los resultados evidencian la necesidad de ampliar la escala estadística del estudio para confirmar si las diferencias observadas en la relación

carbono-nitrógeno son consistentes y establecer con mayor certeza la validez del uso del compost con estiércol de vaca frente al producto comercial.

Finalmente, en el cuadro 27 se puede observar que desde la semana 11, la relación C/N de la mezcla de compost con estiércol de caballo se mantuvo en valores similares que los de la semana 12 de aproximadamente 11.5. Significando que el tiempo de producción de esta mezcla fue de 11 semanas y no de 12. Es decir que se finalizó en un 8.33 % menos de tiempo que el previsto. Tomando en cuenta los resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas finales de esta mezcla y los resultados de la prueba t, se puede afirmar que ambas formulaciones generan las mejores propiedades para emplearse como abono. Sin embargo, el compost con inóculo de estiércol de caballo presentó un menor tiempo de producción. Es importante mencionar que el tiempo del proceso de compostaje de 12 semanas fue determinado por el monitoreo de parámetros como la relación carbono-nitrógeno, el potencial de hidrógeno pH, el porcentaje de humedad y la temperatura.

Este comportamiento es similar al reportado por Quinatoa (2012) quien utilizó Microorganismos Eficientes Autóctonos (EMA's) conformados por bacterias ácido lácticas, fotosintéticas, levaduras y hongos de fermento para la estandarización del proceso de compostaje con fines de lucro. Esta adición permitió disminuir los 140 días de fermentación en 114, reduciéndolo así en un 18.6 % (Quinatoa, 2012).

IX. CONCLUSIONES

1. Se determinaron los parámetros fisicoquímicos iniciales de las dos mezclas de compost, Para la mezcla con estiércol de caballo se obtuvo una relación carbono-nitrógeno de 25.29, un porcentaje de humedad del 68.33 ± 0.01 % y un pH de 7 ± 0.5 . Para la mezcla con estiércol de vaca la relación C/N fue de 26.96, el porcentaje de humedad de 65.43 ± 0.01 % y un pH de 7 ± 0.5 definiendo así el inicio de la reacción de degradación. Para ambas mezclas la relación carbono-nitrógeno coincidió con los rangos descritos por Bohórquez (2019) mientras que los valores de porcentaje de humedad y pH se encontraron dentro de los intervalos indicados por Román et al. (2013).
2. Se midió la descomposición de tres sólidos de control, resultando en 55.59 ± 0.03 % para el trozo de zanahoria, 38.10 ± 0.03 % para el hueso de aguacate y un 0% para el trozo de bolsa biodegradable para la mezcla de compost con estiércol de caballo. Para el abono con estiércol de vaca los valores fueron 56.25 ± 0.04 %, 52.73 ± 0.03 % y 0 % en el mismo orden de sólidos. Esto permitió determinar que la mezcla con excremento de vaca maximizó la degradabilidad del sustrato.
3. Se determinaron las propiedades fisicoquímicas finales del compost maduro con excremento de caballo como una relación C/N de 11.38, un porcentaje de humedad de 45.61 ± 0.01 % y un pH 7. Para el compost maduro con excremento de vaca fueron de 9.44, 45.64 ± 0.01 % y 7, en el mismo orden. En los dos compost maduros, los valores de porcentaje de humedad y pH se encontraron dentro de los intervalos indicados por Román et al. (2013). En el compost con estiércol de caballo, la relación C/N coincidió con los rangos descritos por Bohórquez (2019), mientras que en el de vaca se ubicó por debajo del rango recomendado. Estadísticamente y comparando los resultados con un producto comercial, ambas formulaciones generan las mejores propiedades para emplearse como abono. Sin embargo, el compost con inóculo de excremento de caballo completó su maduración una semana antes de lo previsto, equivalente a una reducción del 8.33 % en el tiempo total.

X. RECOMENDACIONES

1. Estudiar el efecto de otros inóculos que contengan enzimas y microorganismos capaces de digerir las bioresinas.
2. Realizar pruebas microbiológicas para conocer la carga microbiana presente en cada etapa del compostaje.
3. Producir el compost en grandes cantidades con el fin de propiciar un aumento de temperatura por arriba de los 60 °C que permita el desarrollo de microorganismos termófilos y así evaluar la descomposición de las bioresinas.
4. Monitorear las emisiones de gases para tener una caracterización más completa.
5. Evaluar las aplicaciones específicas de las características del compost producido para verificar su efectividad experimental.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- ¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible?* (s. f.). Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/produccion-consumo-responsables>
- Albanesi, Anriquez, Barbaro, Basil, Branzini, Contardi, Curvetto, De Errasti, Domínguez, Eyra, Fernández, Garay, González, Gonzáles, R., Grego, Karlanian, Kowaljow, Laos, Lavado, . . . Genga. (2012). *Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso*. Orientación Gráfica. <http://rid.unrn.edu.ar:8080/bitstream/20.500.12049/70/2/Compostaje-parciales.pdf>
- Álvarez, J. E., Gaviria, J. M., & Gómez, F. G. (1993). Hongos anaeróbicos del rumen. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 1(2), 111-128.
- Babett, Jenó, Nagy, Lakatos, & Varga. (2022). *Influence of microbial inoculants on co-composting of lignocellulosic crop residues with farm animal manure: A review*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721021502>
- Batchelor, B. and Park, J.Y., A multi-component numerical leach model coupled with a general chemical speciation code, *Water Research*, 36(1), pp. 156-166, 2002. DOI: 10.1016/S0043-1354(01)00207-X.
- Beretta, A., Bassahun, D., Musselli, R., & Torres, D. (2015). Medición de pH del suelo con papel reactivo. *Agrociencia (Uruguay)*, 19(2), 68-74.
- Biorgani. (s. f.). *Primer detergente con empaque 100% compostable en la región*. Biorgani. <https://biorgani.tech/home/f/primer-detergente-biodegradable-en-la-regi%C3%B3n>
- Blázquez, M. (s. f.). *Los residuos agrícolas y de origen animal*. Junta de Andalucía. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/educacion_ambiental/EducacionIV/publicaciones/rua15.pdf
- Bohórquez, W. (2019). *El proceso de compostaje* (1.ª ed.). Universidad de la Salle. <https://doi.org/10.19052/978-958-5486-67-6>
- Bolaños, R. M. (2018). *Con inversión de Q35 millones, empieza a operar planta de biogás para producir energía con desechos agropecuarios e industriales*. Prensa Libre. <https://www.prensalibre.com/economia/con-inversion-de-q35-millones-empieza-a-operar-planta-de-biogas-para-producir-energia-con-desechos-agropecuarios-e-industriales/>

- Brust, G. E. (2019). *Management Strategies for Organic Vegetable Fertility*. En *Elsevier eBooks* (pp. 193-212). <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B978012812060600009X?via%3Dihub>
- Celia Viviana, A. C. (2020). *Estudio de bacterias causantes de infecciones intestinales en productos orgánicos en los mercados de Riobamba* (Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Chimborazo 2020).
- Chastain. (2022). *Composition of Equine Manure as Influenced by Stall Management*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/6/823>
- Chávez, L. J. (2016). *Cuantificación del porcentaje de humedad y cenizas contenidos en los residuos sólidos urbanos de la parroquia de Limoncocha*.
- Composting*. Cornell Waste Management Institute. (2015). <https://cwmi.css.cornell.edu/composting.htm>
- Dávila-Sámamo, A. R., Castillo-Suárez, L. A., Linares-Hernández, I., & Martínez-Miranda, V. (2021). Gestión de los residuos sólidos urbanos y su efecto en el aire, agua y suelo. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(15), 45-69.
- de Bertoldi, M.; Ferranti M.P.; L'Hermite P. y Zucconi F. 1987. *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science, Londres. 870 pp
- Dead zones*. (s. f.). Virginia Institute Of Marine Science. https://www.vims.edu/research/topics/dead_zones/
- Determinación de Nitrógeno por el Método Kjeldahl*. (s. f.). Panreac AppliChem. https://www.itwreagents.com/uploads/20180122/A173_ES.pdf
- Economía Circular. (2015). *Residuos orgánicos - economía circular*. Ministerio del Medio Ambiente de Argentina. <https://economiecircular.mma.gob.cl/residuos-organicos/>
- Efron, B. (1969). Student's t-test under symmetry conditions. *Journal of the American Statistical Association*, 64(328), 1278-1302.
- Eggleston, Simon, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, y Kiyoto Tanabe. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, Volumen 5 Desechos. IPCC, 2006.
- El futuro de la gestión de los desechos sólidos*. (2018). Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste->

[management#:~:text=No%20hay%20tiempo%20que%20perder,momento%20de%20actuar%20es%20ahora.](#)

Emissivity Coefficients of Common Materials: Data & Reference Guide. (2025). The Engineering Tool Box. https://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html

Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje. (s. f.). Asociación Española de Normalización. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465>

Escobar, F., Sánchez Ponce, J., & Azero, M. (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.

Fertilización uso de estiércol. (s. f.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/d741ab6c-3fec-45b0-8f5d-318a1812949d/content>

Hartlén, J. (1996). Waste management in Sweden. *Waste Management*, 16(5-6), 385-388. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(96\)00085-2](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(96)00085-2)

Haug, R. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203736234>

Hurtado, M. J. R., & Silvente, V. B. (2012). *Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS.* Caso práctico. *Reire*, 5(2), 83-100.

Incropera, DeWitt, Bergman, & Lavine. (1976). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6.^a ed.). <https://hyominsite.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/fundamentals-of-heat-and-mass-transfer-6th-edition.pdf>

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050.* World Bank Publications.

Keener, Ekinci, Elwell, & Michel. (2000). *Principles of Composting Process Optimization.* https://www.researchgate.net/publication/357303353_Principles_of_Composting_Process_Optimization

La acumulación de residuos sólidos puede generar afectaciones a la salud de la población. (2021). Ministerio de Salud de Perú.

<https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/49954-la-acumulacion-de-residuos-solidos-puede-generar-afectaciones-a-la-salud-de-lapoblacion>

- López Cancio, J. A. (1977). *Factor de conversión para el cálculo de la materia orgánica en suelos de la isla de Gran Canaria, España*. Turrialba; Vol. 27, no. 3.
- López, S. (2013). *La materia y sus propiedades CICLOS DE LA MATERIA*. Elbibliote. https://elbibliote.com/libro-pegia/manual_csnaturales/5grado/capitulo1/pdf/5.1.4.pdf
- Manger, C. (s. f.-c). *European Bioplastics E.V.* European Bioplastics e.V. <https://www.european-bioplastics.org/>
- Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos - Elaboración Bocashi*. (2a. C.). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737323/8_Elaboracion_de_Bocashi.pdf
- Manure valuation pro forma*. (s.f.). Meat & Livestock Australia. https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/research-and-development/program-areas/feeding-finishing-and-nutrition/manure-handbook/a4-nutrient-content-proforma-2016_07_28.pdf
- Mellado, B., & Gabriel, G. (2023). Desarrollo de una Aplicación para el cálculo de la Relación Carbono-Nitrógeno de una masa compostable. *Tesina de grado*. Mendoza, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias
- Méndez-Matías, A., Robles, C., Ruiz-Vega, J., & Castañeda-Hidalgo, E. (2018). Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(2), 271-280.
- Mohee, R., Unmar, G. D., Mudhoo, A., & Khadoo, P. (2008). Biodegradability of biodegradable/degradable plastic materials under aerobic and anaerobic conditions. *Waste Management*, 28(9), 1624-1629.
- Muñoz Dominguez, E. (2016). *Fabricación y caracterización de green composites con bioresina y tejido de fibra natural de lino mediante moldeo por transferencia de resina*. Universidad Politécnica de València.
- Natan, P. (2019). *Manual de compostaje domiciliario*. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. <https://www.ambiente.gba.gob.ar/sites/default/files/Manual%20de%20compostaje%20domiciliario%20-%201.pdf>

- Navarro, J., Moral Herrero, R., Gómez, I., & Mataix, J. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. Documento - Universidad de Alicante. <https://observatorio-cientifico.ua.es/documentos/631fe093b9f2ad6505ff1212?lang=de>
- Navarro. (2023). *Guía para la producción de lombricompost*. Asociación Nacional del Café - ANACAFÉ. <https://www.anacafe.org/uploads/file/56fbddb9b6db40c182e9886b85f5583c/Guia-produccion-lombricompost.pdf>
- Nordahl, S. L., Preble, C. V., Kirchstetter, T. W., & Scown, C. D. (2023). Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting. *Environmental Science & Technology*, 57(6), 2235-2247. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05846>
- Pan, I., Dam, B., & Sen, S. K. (2011). *Composting of common organic wastes using microbial inoculants*. *3 Biotech*, 2(2), 127-134. <https://doi.org/10.1007/s13205-011-0033-5>
- Peñalosa Bernal, J. P. (2022). *Evaluación del proceso de transformación de los residuos orgánicos a través de la paca biodigestora y su emisión de GEI, en cuatro zonas de vida ubicadas en el departamento de Antioquia en Colombia*.
- Pombal, M. M. P. M. (s. f.). *Tejidos vegetales. Parénquima. Atlas de Histología Vegetal y Animal*. Universidade de Vigo. https://mmegias.webs.uvigo.es/1-vegetal/guiada_v_parenquima.php
- Promedios mensuales y anuales de Radiación Solar*. (s. f.). Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología E Hidrología - INSIVUMEH. https://insivumeh.gob.gt/meteorologia/old_data/ESTACIONES_old/GUATEMALA/Insivumeh/Radiacion%20Solar%20Insivumeh.htm
- Proyecciones*. (2025). Instituto Nacional de Estadística Guatemala. <https://www.ine.gob.gt/proyecciones/>
- Quinatoa. (2012). *Estandarización del proceso de producción de compost con fines comerciales utilizando tres fuentes de inóculo con la Asociación Santa Catalina del Cantón Pillaro*. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/addf6b34-4110-4c0d-a1e1-036bc8b70928>
- Rojas, Pablo. (2014). *Residuos sólidos y calentamiento global Parte 1*. CEGESTI. Exito empresarial, No 254, 2014: 1-3.
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>

- Saavedra, & Kehr. (s. f.). *Zanahoria*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/423f6293-6b1d-46a4-824d-99f6257ca741/content>
- Sánchez & Loarca. (s. f.). *Caracterización química, fisicoquímica y nutracéutica de la semilla del aguacate (Persea americana Mill) para el uso en la industria*. Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume7/7/10/49.pdf>
- Schirn, A. (2024). *ASTM D6954-24: Plastic Biodegradability*. American National Standards Institute. <https://blog.ansi.org/ansi/astm-d6954-24-plastic-biodegradability/>
- Senent Aparicio, J. M. (2012). Predicción de lixiviados en vertederos de residuos sólidos urbanos en ambientes semiáridos: aplicación del modelo HELP en el vertedero de Fuente Álamo (Murcia). *Proyecto de investigación*.
- Söderman, M. L. (2003). Recovering energy from waste in Sweden—a systems engineering study. *Resources, Conservation and Recycling*, 38(2), 89-121.
- Sposob, G. (2025). *Ciclo del Agua - Qué es, etapas y características*. Concepto. <https://concepto.de/ciclo-del-agua/>
- Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities*. (2022). American Society For Testing And Materials. <https://store.astm.org/d6400-21.html>
- Sundberg, Yu, Franke-Whittle, Kauppi, Smårs, Insam, Romantschuk, & Jönsson. (2013). *Effects of pH and microbial composition on odour in food waste composting*. Science Direct. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12004564>
- Tapia, K. (2019). *Abonos orgánicos como mejoradores de suelo: Análisis de estiércol de elefante y estiércol de caballo*. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México.
- Tirado, D. F., Montero, P. M., & Acevedo, D. (2015). Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. *Información tecnológica*, 26(2), 03-10.
- Vilet, V. (2022). Países con la mejor gestión de residuos y sus estrategias » Proyectos llave en mano para el. *Proyectos llave en mano para el tratamiento y reciclado de residuos*. - *GTA Ambiental*. <https://gtaambiental.com/estrategias-paises-mejor-gestion-residuos/>
- Why Organic Waste Is the Next Environmental Crisis in Sweden. (2025). *Green Planet Solution*. <https://thegreenplanetsolutions.com/blog/why-organic-waste-is-the->

[next-environmental-crisis-in-sweden-and-how-composting-machines-can-help/](#)

XII. ANEXOS

A. Datos originales

Cuadro 13. Porcentaje de humedad del compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo

Semana	Porcentaje de humedad en base húmeda ($\pm 0.01\%$)
1	68.33 %
	68.54 %
	68.12 %
	65.25 %
	65.30 %
	65.50 %
2	63.67 %
	62.21 %
	62.33 %
	60.31 %
	60.20 %
	59.98 %
3	59.05 %
	59.03 %
	58.97 %
4	58.26 %
	58.19 %
	58.24 %
5	57.10 %
	57.91 %
	57.77 %
	56.49 %
	56.32 %
	56.51 %
6	55.32 %
	55.29 %
	55.34 %
	54.12 %

	54.15 %
	54.08 %
8	52.63 %
	52.59 %
	52.68 %
9	50.72 %
	50.82 %
	50.80 %
	47.72 %
	47.82 %
10	47.80 %
	47.27 %
	47.20 %
	47.22 %
	46.42 %
	46.30 %
11	45.97 %
	45.62 %
	45.59 %
	45.61 %

El cuadro anterior muestra los valores de porcentaje de humedad en triplicado obtenidos por semana para el abono orgánico con inóculo de estiércol de caballo.

Cuadro 14. Porcentaje de humedad del compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo

Semana	Porcentaje de humedad en base húmeda ($\pm 0.01\%$)
1	65.89 %
	65.72 %
	64.67 %
	54.58 %
	56.26 %
	55.37 %
2	53.34 %
	52.31 %
	53.44 %
	52.81 %

	51.38 %
	52.67 %
3	47.89 %
	50.98 %
	49.73 %
4	48.95 %
	49.01 %
	48.87 %
5	49.37 %
	48.93 %
	48.81 %
	58.77 %
	58.62 %
	58.81 %
6	58.85 %
	58.73 %
	58.89 %
	58.73 %
	58.52 %
	58.68 %
8	57.65 %
	56.38 %
	56.70 %
9	49.93 %
	49.98 %
	50.89 %
	47.39 %
	46.98 %
	46.89 %
10	47.15 %
	46.63 %
	46.72 %
	46.33 %
	46.51 %
	46.28 %
11	45.49 %
	45.73 %
	45.69 %

El cuadro anterior muestra los valores de porcentaje de humedad en triplicado obtenidos por semana para el abono orgánico con inóculo de estiércol de vaca.

Cuadro 15. pH del compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo

Semana	pH (± 0.5)
1	7
3	7
5	7
6	7
9	7
11	7
12	7

El cuadro anterior demuestra los valores de pH registrados por semana para el abono orgánico con inóculo de caballo.

Cuadro 16. pH del compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo

Semana	pH (± 0.5)
1	7
3	7
5	7
6	7
9	7
11	7
12	7

El cuadro anterior demuestra los valores de pH registrados por semana para el abono orgánico con inóculo de vaca.

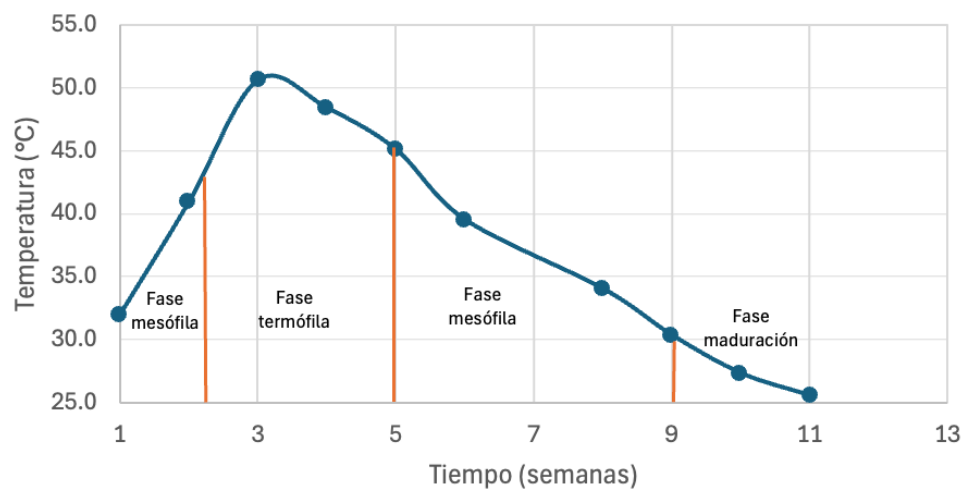
Cuadro 17. Temperatura del compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo

Semana	Temperatura (± 0.01 °C)
1	31.5
	32.0
	32.0
	32.6
	32.0
	31.8

2	40.5
	40.3
	40.2
	41.6
	41.7
	41.5
3	50.7
	50.7
	50.6
4	48.4
	48.3
	48.6
5	45.0
	45.1
	44.9
	45.0
	45.3
	45.4
6	39.5
	39.6
	39.5
8	33.9
	34.1
	34.1
9	30.5
	30.1
	30.4
10	28.8
	29.0
	28.7
	25.9
	25.7
	25.7
11	25.5
	25.4
	25.7

El cuadro anterior detalla las temperaturas del abono orgánico con estiércol de caballo registradas a lo largo tiempo de compostaje.

Figura 18. Temperatura del abono orgánico con excremento de caballo como inóculo a lo largo del tiempo



Fuente: Elaboración propia

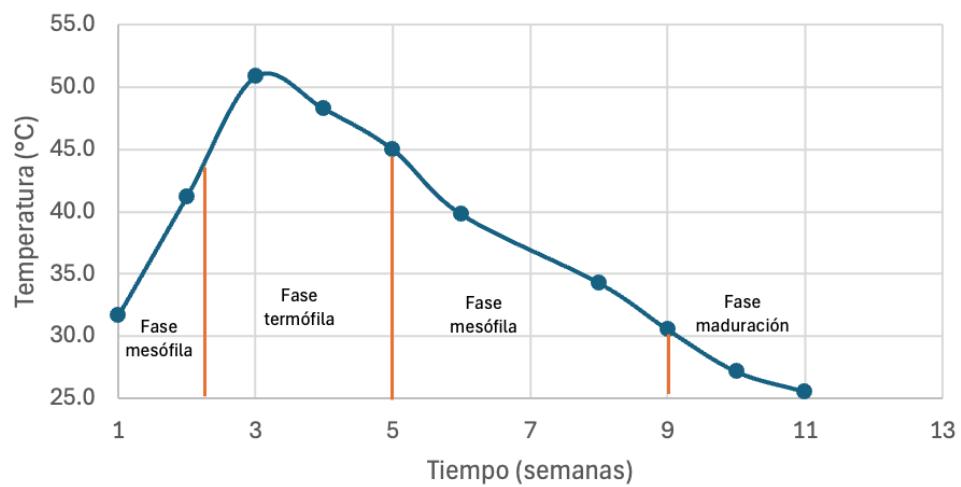
Cuadro 18. Temperatura del compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo

Semana	Temperatura (± 0.01 °C)
1	30.9
	30.7
	30.9
	32.5
	32.2
	32.6
2	40.7
	40.9
	40.8
	41.5
	41.8
	41.6
3	50.9
	50.7
	51.0
4	48.0
	48.5
	48.3
5	45.2
	45.3
	45.2

	44.7
	44.8
	44.9
6	39.6
	39.9
	39.9
8	34.2
	34.5
	34.2
9	30.6
	30.7
	30.4
10	28.9
	28.6
	28.6
	25.6
	25.5
	25.9
11	25.8
	25.3
	25.6

El cuadro anterior detalla las temperaturas del abono orgánico con estiércol de vaca registradas a lo largo tiempo de compostaje.

Figura 19. Temperatura del abono orgánico con excremento de vaca como inóculo a lo largo del tiempo



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 19. Masa del trozo de zanahoria en el compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo

Semana	Masa (± 0.01 g)
1	406.2
3	385.92
5	224.37
6	218.6
9	209.8
11	189.2
12	180.4

El cuadro muestra la masa del sólido de control, trozo de zanahoria, presente en el abono orgánico con estiércol de caballo.

Cuadro 20. Masa del trozo de zanahoria en el compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo

Semana	Masa (± 0.01 g)
1	310.4
3	293.6
5	171.7
6	163.4
9	153.9
11	138.6
12	135.8

El cuadro muestra la masa del sólido de control, trozo de zanahoria, presente en el abono orgánico con estiércol de vaca.

Cuadro 21. Masa del hueso de aguacate en el compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo

Semana	Masa (± 0.01 g)
1	35.7
3	33.8
5	32.7

6	32.1
9	29.8
11	25.3
12	22.1

El cuadro muestra la masa del sólido de control, hueso de aguacate, presente en el abono orgánico con estiércol de caballo.

Cuadro 22. Masa del hueso de aguacate en el compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo

Semana	Masa (±0.01 g)
1	33.0
3	29.9
5	25.4
6	25.00
9	22.3
11	17.9
12	15.6

El cuadro muestra la masa del sólido de control, hueso de aguacate, presente en el abono orgánico con estiércol de vaca.

Cuadro 23. Masa del trozo de bolsa biodegradable en el compost con inóculo de estiércol de caballo a lo largo del tiempo

Semana	Masa (±0.01 g)
1	1.0
3	1.0
5	1.0
6	1.0
9	1.0
11	1.0
12	1.0

El cuadro muestra la masa del sólido de control, trozo de bolsa biodegradable, presente en el abono orgánico con estiércol de caballo.

Cuadro 24. Masa del trozo de bolsa biodegradable en el compost con inóculo de vaca de vaca a lo largo del tiempo

Semana	Masa (± 0.01 g)
1	1.0
3	1.0
5	1.0
6	1.0
9	1.0
11	1.0
12	1.0

El cuadro muestra la masa del sólido de control, trozo de bolsa biodegradable, presente en el abono orgánico con estiércol de vaca.

Cuadro 25. Porcentaje de humedad del producto comercial

Porcentaje de humedad (± 0.01 %)
45.57%
45.53%
44.58%

El cuadro anterior muestra los porcentajes de humedad obtenidos para el producto comercial.

Cuadro 26. pH del producto comercial

pH (± 0.5)
7

El cuadro anterior muestra el pH obtenido para el producto comercial.

B. Datos calculados

Cuadro 27. Relación C/N del compost con inóculo con estiércol de caballo a lo largo del tiempo

Semana	Relación C/N
1	21.96
	28.61
3	20.47
	21.13
5	19.82
	17.44
6	8.05
	12.11
9	15.33
	21.32
11	13.20
	10.72
12	11.21
	11.55

El cuadro anterior muestra la relación C/N del abono orgánico con estiércol de caballo a lo largo del tiempo obtenido por Agrolaboratorio Ceres.

Cuadro 28. Relación C/N del compost con inóculo de estiércol de vaca a lo largo del tiempo

Semana	Relación C/N
1	21.24
	32.67
3	21.98
	24.48
5	27.18
	20.38
6	10.99
	6.33
9	20.54
	14.07
11	10.91
	16.23

12	9.40
	9.47

El cuadro anterior muestra la relación C/N del abono orgánico con estiércol de vaca a lo largo del tiempo obtenido por Agrolaboratorio Ceres.

Cuadro 29. Relación C/N del producto comercial

Relación C/N
10.44
13.09

El cuadro anterior muestra la relación C/N del producto comercial obtenido por Agrolaboratorio Ceres.

Cuadro 30. Porcentaje de degradabilidad del trozo de zanahoria en el compost con estiércol de caballo

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (± 0.03 %)
1	406.2	0.00
3	385.92	4.99
5	224.37	44.76
6	218.6	46.18
9	209.8	48.35
11	189.2	53.42
12	180.4	55.59

El cuadro muestra el porcentaje de degradabilidad del sólido de control, trozo de zanahoria, en el abono orgánico con estiércol de caballo a lo largo del tiempo.

Cuadro 31. Porcentaje de degradabilidad del trozo de zanahoria en el compost con estiércol de vaca

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)
1	310.4	0.00 \pm 0.05
3	293.6	5.41 \pm 0.04
5	171.7	44.68 \pm 0.04
6	163.4	47.36 \pm 0.04

9	153.9	50.42±0.04
11	138.6	55.35±0.04
12	135.8	56.25±0.04

El cuadro muestra el porcentaje de degradabilidad del sólido de control, trozo de zanahoria, en el abono orgánico con estiércol de vaca a lo largo del tiempo.

Cuadro 32. Porcentaje de degradabilidad del hueso de aguacate en el compost con estiércol de caballo

Semana	Masa (±0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)
1	35.7	0.00±0.4
3	33.8	5.32±0.4
5	32.7	8.40±0.4
6	32.1	10.08±0.4
9	29.8	16.53±0.4
11	25.3	29.13±0.3
12	22.1	38.10±0.3

El cuadro muestra el porcentaje de degradabilidad del sólido de control, hueso de aguacate, en el abono orgánico con estiércol de caballo a lo largo del tiempo.

Cuadro 33. Porcentaje de degradabilidad del hueso de aguacate en el compost con estiércol de vaca

Semana	Masa (±0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)
1	33.0	0.00±0.4
3	29.9	9.39±0.4
5	25.4	23.03±0.4
6	25.00	24.24±0.4
9	22.3	32.42±0.4
11	17.9	45.76±0.3
12	15.6	52.73±0.3

El cuadro muestra el porcentaje de degradabilidad del sólido de control, hueso de aguacate, en el abono orgánico con estiércol de vaca a lo largo del tiempo.

Cuadro 34. Porcentaje de degradabilidad del trozo de bolsa biodegradable en el compost con estiércol de caballo

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (± 14.1 %)
1	1.0	0
3	1.0	0
5	1.0	0
6	1.0	0
9	1.0	0
11	1.0	0
12	1.0	0

El cuadro muestra el porcentaje de degradabilidad del sólido de control, trozo de bolsa biodegradable, en el abono orgánico con estiércol de caballo a lo largo del tiempo.

Cuadro 35. Porcentaje de degradabilidad del trozo de bolsa biodegradable en el compost con estiércol de vaca

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (± 14.1 %)
1	1.0	0
3	1.0	0
5	1.0	0
6	1.0	0
9	1.0	0
11	1.0	0
12	1.0	0

El cuadro muestra el porcentaje de degradabilidad del sólido de control, trozo de bolsa biodegradable, en el abono orgánico con estiércol de vaca a lo largo del tiempo.

Cuadro 36. Balance de masa para la mezcla de compost con inóculo de estiércol de caballo

Descripción	Masa (± 0.01 kg)
Mezcla de compost inicial	4.12

Mezcla de compost chipeado	3.94
Pérdidas	0.18

El cuadro anterior muestra el balance de masa del abono orgánico con estiércol de caballo para el proceso de chipeado.

Cuadro 37. Balance de masa para la mezcla de compost con inóculo de estiércol de vaca

Descripción	Masa (±0.01 kg)
Mezcla de compost inicial	4.12
Mezcla de compost chipeado	3.93
Pérdidas	0.19

El cuadro anterior muestra el balance de masa del abono orgánico con estiércol de vaca para el proceso de chipeado.

Cuadro 38. Balance de masa para el proceso de compostaje con inóculo de caballo

Descripción	Masa (±0.01 kg)
Contenido inicial de agua en la mezcla	2.69
Contenido de agua total	4.69
Materia seca inicial	1.25
Contenido final de agua	0.90
Masa seca final	1.07
Muestras retiradas	1.68
Contenido de agua en la masa retirada para las muestras	0.96
Materia seca en la masa retirada para las muestras	0.72
Agua evaporada	2.83
Materia orgánica inicial	1.06
Materia orgánica final	0.28
Materia orgánica no degradada	0.78
Carbono perdido	0.39
Dióxido de carbono	1.44
Compost final	1.97
Oxígeno del aire	1.99

El cuadro anterior muestra los cálculos realizados para el balance de masa del proceso de compostaje con inóculo de caballo.

Cuadro 39. Balance de masa para el proceso de compostaje con inóculo de vaca

Descripción	Masa (±0.01 kg)
Contenido inicial de agua en la mezcla	2.57
Contenido de agua total	4.57
Materia seca inicial	1.36
Contenido final de agua	0.92
Masa seca final	1.10
Muestras retiradas	1.68
Contenido de agua en la masa retirada para las muestras	0.93
Materia seca en la masa retirada para las muestras	0.75
Agua evaporada	2.72
Materia orgánica inicial	1.15
Materia orgánica final	0.28
Materia orgánica no degradada	0.87
Carbono perdido	0.44
Dióxido de carbono	1.60
Compost final	2.02
Oxígeno del aire	2.08

El cuadro anterior muestra los cálculos realizados para el balance de masa del proceso de compostaje con inóculo de vaca.

Cuadro 40. Balance de energía para el proceso de compostaje con inóculo de caballo

Semana	Temperatura promedio (±0.01 °C)	Promedio mensual de radiación solar (cal/cm²/min)	Q solar (cal/min)	Q convección (cal/min)	Q rad (cal/min)	Q almacenado (cal/min)
1	31.83	0.41	9202	18.54	1271	7912
	32.13	0.41	9202	19.42	1333	7849
2	40.33	0.41	9202	43.42	3106	6053
	41.60	0.41	9202	47.13	3392	5762
3	50.7	0.41	9202	73.67	5547	3581
4	48.4	0.41	9202	67.14	4999	4136
5	45.0	0.38	8528	57.08	4179	4293
	45.2	0.38	8528	57.77	4234	4237
6	39.5	0.38	8528	41.08	2927	5561

8	34.0	0.38	8528	24.98	1731	6772
9	30.3	0.29	6509	14.15	963	5532
10	28.8	0.29	6509	9.76	659	5840
	25.8	0.29	6509	0.78	52	6456
11	25.5	0.29	6509	0.10	6	6502

El cuadro anterior muestra los cálculos realizados para el balance de energía del proceso de compostaje con inóculo de caballo a lo largo del tiempo. Los promedios mensuales de radiación solar fueron tomados de (INSIVUMEH, s. f.)

Cuadro 41. Balance de energía para el proceso de compostaje con inóculo de caballo en Sistema Internacional

Semana	Temperatura promedio (± 0.01 °C)	Promedio mensual de radiación solar (cal/cm ² /min)	Q solar (W)	Q convección (W)	Q rad (W)	Q almacenado (W)
1	31.83	0.41	641.67	1.2929	88.63	551.7
	32.13	0.41	641.67	1.3541	92.97	547.3
2	40.33	0.41	641.67	3.0280	216.58	422.1
	41.60	0.41	641.67	3.2866	236.56	401.8
3	50.67	0.41	641.67	5.1375	386.79	249.7
4	48.43	0.41	641.67	4.6816	348.59	288.4
5	45.00	0.38	594.72	3.9807	291.40	299.3
	45.23	0.38	594.72	4.0283	295.23	295.5
6	39.53	0.38	594.72	2.8647	204.09	387.8
8	34.03	0.38	594.72	1.7420	120.74	472.2
9	30.33	0.29	453.87	0.9867	67.13	385.7
10	28.83	0.29	453.87	0.6805	45.95	407.2
	25.77	0.29	453.87	0.0544	3.62	450.2
11	25.53	0.29	453.87	0.0068	0.45	453.4

El cuadro anterior muestra los cálculos realizados para el balance de energía del proceso de compostaje con inóculo de caballo a lo largo del tiempo en Sistema Internacional. Los promedios mensuales de radiación solar fueron tomados de (INSIVUMEH, s. f.)

Cuadro 42. Balance de energía para el proceso de compostaje con inóculo de vaca

Semana	Temperatura promedio (± 0.01 °C)	Promedio mensual de radiación solar (cal/cm ² /min)	Q solar (cal/min)	Q convección (cal/min)	Q rad (cal/min)	Q almacenado (cal/min)
1	30.83	0.41	9202	15.61	1065	8121
	32.43	0.41	9202	20.30	1396	7786
2	40.80	0.41	9202	44.79	3211	5946
	41.63	0.41	9202	47.23	3400	5755
3	50.9	0.41	9202	74.26	5596	3531
4	48.3	0.41	9202	66.65	4958	4177
5	45.2	0.38	8528	57.77	4234	4237
	44.8	0.38	8528	56.50	4132	4340
6	39.8	0.38	8528	41.86	2986	5500
8	34.3	0.38	8528	25.76	1788	6715
9	30.6	0.29	6509	14.83	1010	5483
10	28.7	0.29	6509	9.37	632	5867
	25.7	0.29	6509	0.49	32	6476
11	25.6	0.29	6509	0.20	13	6495

El cuadro anterior muestra los cálculos realizados para el balance de energía del proceso de compostaje con inóculo de vaca a lo largo del tiempo. Los promedios mensuales de radiación solar fueron tomados de (INSIVUMEH, s. f.)

Cuadro 43. Balance de energía para el proceso de compostaje con inóculo de vaca en Sistema Internacional

Semana	Temperatura promedio (± 0.01 °C)	Promedio mensual de radiación solar (cal/cm ² /min)	Q solar (W)	Q convección (W)	Q rad (W)	Q almacenado (W)
1	30.83	0.41	641.67	1.0887	74.26	566.3
	32.43	0.41	641.67	1.4154	97.32	542.9
2	40.80	0.41	641.67	3.1233	223.91	414.6
	41.63	0.41	641.67	3.2934	237.09	401.3
3	50.87	0.41	641.67	5.1783	390.25	246.2

4	48.27	0.41	641.67	4.6475	345.77	291.3
5	45.23	0.38	594.72	4.0283	295.23	295.5
	44.80	0.38	594.72	3.9399	288.13	302.7
6	39.80	0.38	594.72	2.9192	208.24	383.6
8	34.30	0.38	594.72	1.7964	124.68	468.2
9	30.57	0.29	453.87	1.0343	70.46	382.4
10	28.70	0.29	453.87	0.6532	44.09	409.1
	25.67	0.29	453.87	0.0340	2.26	451.6
11	25.57	0.29	453.87	0.0136	0.90	452.9

El cuadro anterior muestra los cálculos realizados para el balance de energía del proceso de compostaje con inóculo de vaca a lo largo del tiempo en Sistema Internacional. Los promedios mensuales de radiación solar fueron tomados de (INSIVUMEH, s. f.)

Cuadro 44. Prueba t de Student para las características fisicoquímicas del compost con estiércol de caballo comparadas con la del producto comercial

	Relación C/N		Porcentaje de humedad en base húmeda	
	Compost producto comercial	Compost con estiércol de caballo	Compost producto comercial	Compost con estiércol de caballo
Media	11.77	11.38	45.23	45.61
Desviación estándar	1.87	0.24	0.56	0.02
Tamaño de muestra	2.00	2.00	3	3
Valor t	0.29		-1.17	
Valor $p \geq \alpha$	0.80		0.31	
Decisión	No hay diferencia significativa		No hay diferencia significativa	

El cuadro anterior muestra los cálculos realizados para determinar el valor t y el valor p para la prueba t de Student comparando las propiedades fisicoquímicas del compost con estiércol de caballo con las del compost de producto comercial.

Cuadro 45. Prueba t de Student para las características fisicoquímicas del compost con estiércol de vaca comparadas con la del producto comercial

	Relación C/N		Porcentaje de humedad en base húmeda	
	Compost producto comercial	Compost con estiércol de caballo	Compost producto comercial	Compost con estiércol de caballo
Media	11.77	9.44	45.23	45.64
Desviación estándar	1.87	0.05	0.56	0.13
Tamaño de muestra	2.00	2.00	3	3.00
Valor t	1.76		-1.24	
Valor p	0.22		0.28	
Decisión	No hay diferencia significativa		No hay diferencia significativa	

El cuadro anterior muestra los cálculos realizados para determinar el valor t y el valor p para la prueba t de Student comparando las propiedades fisicoquímicas del compost con estiércol de vaca con las del compost de producto comercial.

Cuadro 46. Reducción porcentual del tiempo de maduración del estiércol de caballo

Tiempo de maduración experimental (semanas)	Tiempo de maduración teórico (semanas)	Porcentaje de reducción (%)
11	12	8.33

El cuadro anterior muestra el tiempo de maduración experimental del compost con inóculo de estiércol de caballo y el tiempo de maduración teórico junto con el porcentaje de reducción.

C. Cálculos de muestra

Cálculo 1. Balance de masa de la chipeadora

$$m_{entradas} = m_{salidas}$$

$$m_{mezcla\ entrada} = m_{mezcla\ chipeada} + m_{pérdidas}$$

$$m_{mezcla\ entrada} = m_{cubeta+mezcla} - m_{cubeta}$$

$$m_{mezcla\ entrada} = 5.46\ kg - 1.34\ kg = 4.12\ kg$$

$$m_{chipeada} = 3.94\ kg$$

$$m_{pérdidas} = m_{chipeada} - m_{mezcla\ entrada}$$

$$m_{pérdidas} = 3.94\ kg - 4.12\ kg$$

$$m_{pérdidas} = 0.18\ kg$$

Este cálculo se realizó para determinar la masa de la mezcla con inóculo de excremento de caballo que entró a la compostera posterior a que fuera triturada. De la misma manera se realizó para la mezcla con inóculo de excremento de vaca. Los datos se ven en el Cuadro 36 y 37.

Cálculo 2. Balance de masa general del proceso de compostaje

Contenido de agua y materia seca inicial

$$m_{agua\ inicial\ en\ la\ mezcla} = m_{chipeada} * \% \text{ de humedad}_{inicial}$$

$$m_{agua\ inicial\ en\ la\ mezcla} = 3.94\ kg * 68.33\%$$

$$m_{agua\ inicial\ en\ la\ mezcla} = 2.69\ kg$$

$$m_{materia\ seca\ inicial} = m_{chipeada} * (1 - \% \text{ de humedad}_{inicial})$$

$$m_{materia\ seca\ inicial} = 3.94\ kg * (1 - 68.33\%)$$

$$m_{materia\ seca\ inicial} = 1.25\ kg$$

$$m_{agua\ total} = m_{agua} + m_{agua\ inicial\ en\ la\ mezcla}$$

$$m_{agua\ total} = (2.00 + 2.69)\ kg$$

$$m_{agua\ total} = 4.69\ kg$$

Contenido de agua y materia seca final

$$m_{agua\ final\ en\ la\ mezcla} = m_{compost} * \% \text{ de humedad}_{final}$$

$$m_{agua\ final\ en\ la\ mezcla} = 1.97\ kg * 45.61\%$$

$$m_{agua\ final\ en\ la\ mezcla} = 0.90\ kg$$

$$m_{\text{materia seca final}} = m_{\text{compost}} * (1 - \% \text{ de humedad}_{\text{final}})$$

$$m_{\text{materia seca final}} = 1.97 \text{ kg} * (1 - 45.61\%)$$

$$m_{\text{materia seca final}} = 1.07 \text{ kg}$$

Contenido de agua y materia seca en las muestras

$$\% \text{ de humedad}_{\text{muestras}} = \frac{\% \text{ humedad}_{\text{inicial}} + \% \text{ humedad}_{\text{final}}}{2}$$

$$\% \text{ de humedad}_{\text{muestras}} = \frac{68.33\% - 45.61\%}{2}$$

$$\% \text{ de humedad}_{\text{muestras}} = 56.97\%$$

$$m_{\text{agua,muestras}} = m_{\text{muestras}} * \% \text{ de humedad}_{\text{muestras}}$$

$$m_{\text{agua,muestras}} = 1.68 \text{ kg} * 56.97\%$$

$$m_{\text{agua,muestras}} = 0.96 \text{ kg}$$

$$m_{\text{materia seca,muestras}} = m_{\text{muestras}} * (1 - \% \text{ de humedad}_{\text{muestras}})$$

$$m_{\text{materia seca,muestras}} = 1.68 \text{ kg} * (1 - 56.97\%)$$

$$m_{\text{materia seca,muestras}} = 0.72 \text{ kg}$$

Agua evaporada

$$m_{\text{agua evaporada}} = m_{\text{agua tota entrada}} - (m_{\text{agua,muestras}} + m_{\text{agua final en la mezcla}})$$

$$m_{\text{agua evaporada}} = 4.69 \text{ kg} - (0.96 \text{ kg} + 0.90 \text{ kg})$$

$$m_{\text{agua evaporada}} = 2.83 \text{ kg}$$

Materia orgánica

$$MO_{\text{inicial}} = m_{\text{materia seca inicial}} * \% MO_{\text{inicial}}$$

$$MO_{\text{inicial}} = 1.25 \text{ kg} * (84.97\%)$$

$$MO_{\text{inicial}} = 1.06 \text{ kg}$$

$$MO_{\text{final}} = m_{\text{materia seca final}} * \% MO_{\text{final}}$$

$$MO_{\text{final}} = 1.07 \text{ kg} * (25.79\%)$$

$$MO_{\text{final}} = 0.28 \text{ kg}$$

$$MO_{\text{degradada}} = MO_{\text{inicial}} - MO_{\text{final}}$$

$$MO_{\text{degradada}} = 1.06 \text{ kg} - 0.28 \text{ kg}$$

$$MO_{\text{degradada}} = 0.78 \text{ kg}$$

Dióxido de carbono emitido

Según Eggleston (2006), la materia orgánica es 50% carbono.

$$m_{\text{C perdido}} = MO_{\text{degradada}} * 50\%$$

$$m_{C \text{ perdido}} = 0.78 \text{ kg} * 50\%$$

$$m_{C \text{ perdido}} = 0.39 \text{ kg C}$$

$$m_{CO_2} = m_{C \text{ perdido}} * \frac{1 \text{ kmol C}}{12 \text{ kg C}} * \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol C}} * \frac{44 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2}$$

$$m_{CO_2} = 0.39 \text{ kg C} * \frac{1 \text{ kmol C}}{12 \text{ kg C}} * \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol C}} * \frac{44 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2}$$

$$m_{CO_2} = 1.43 \text{ kg CO}_2$$

Entradas

$$m_{entradas} = m_{\text{agua inicial en la mezcla}} + m_{\text{mezcla entrada}} + m_{\text{agua}}$$

$$m_{entradas} = 2.69 \text{ kg} + 1.25 \text{ kg} + 2.00 \text{ kg}$$

$$m_{entradas} = 5.94 \text{ kg}$$

Salidas

$$m_{salidas} = m_{\text{compost final}} + m_{\text{muestras}} + m_{\text{agua evaporada}} + m_{CO_2}$$

$$m_{salidas} = 1.97 \text{ kg} + 1.68 \text{ kg} + 2.83 \text{ kg} + 1.43 \text{ kg}$$

$$m_{salidas} = 7.91 \text{ kg}$$

Oxígeno del aire

$$m_{\text{oxígeno del aire}} = m_{salidas} - m_{entradas}$$

$$m_{\text{oxígeno del aire}} = 7.91 \text{ kg} - 5.94 \text{ kg}$$

$$m_{\text{oxígeno del aire}} = 1.97 \text{ kg}$$

Este cálculo se realizó para determinar el balance de masa del proceso de compostaje del compost con estiércol de caballo. De la misma manera se realizó calcular el balance de masa el compost con estiércol de vaca. Los datos se ven en el Cuadro 38 y 39.

Cálculo 3. Balance de energía del proceso de compostaje

$$\varepsilon = \alpha = 0.92 \text{ (The Engineering Tool Box, 2025)}$$

$$C_{p \text{ compost}} = 1.45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} \text{ (Keener et al., 2000)}$$

$$h_{\text{conv natural aire}} = 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \text{ (Incropera et al., 1976)}$$

$$\sigma = 5.67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}^4} \text{ (Incropera et al., 1976)}$$

$$Cp_{compost} = 1.45 \frac{kJ}{kg * K} * \frac{0.239 \frac{cal}{g * ^\circ C}}{1 \frac{kJ}{kg * K}} = 0.346 \frac{cal}{g * ^\circ C}$$

$$h_{conv \text{ natural aire}} = 5 \frac{W}{m^2 * K} * \frac{2.36x10^{-6} \frac{cal}{cm^2 * min * ^\circ C}}{1 \frac{W}{m^2 * K}} = 1.2x10^{-4} \frac{cal}{cm^2 * min * ^\circ C}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= 5.67x10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * 0.239 \frac{\frac{cal}{s}}{\frac{J}{s}} * \frac{1m^2}{10^4 cm^2} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \\ &= 8.13x10^{-11} \frac{cal}{cm^2 * min * K^4} \end{aligned}$$

Dimensiones de la compostera utilizada

$$\text{Alto} = 36 \text{ pulgadas} * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulgada}} = 91.44 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho} = 30 \text{ pulgadas} * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulgada}} = 76.20 \text{ cm}$$

$$\text{Diámetro} = 28 \text{ pulgadas} * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulgada}} = 71.12 \text{ cm}$$

$$\text{Área}_{total} = A_{altura} + A_{lateral}$$

$$\text{Área}_{total} = \pi * D * H + \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$\text{Área}_{total} = \pi * (71.12 \text{ cm}) * (91.44 \text{ cm}) + \pi \left(\frac{71.12 \text{ cm}}{2}\right)^2$$

$$\text{Área}_{total} = 24,395 \text{ cm}^2$$

$$\dot{Q}_{solar} - \dot{Q}_{convección} - \dot{Q}_{radiación} = \dot{Q}_{almacenado}$$

$$\dot{Q}_{solar} = \dot{Q}_{convección} + \dot{Q}_{radiación} + \dot{Q}_{almacenado}$$

$$\dot{Q}_{solar} = q_{solar} * \text{Área}_{total} * \alpha$$

$$\dot{Q}_{solar} = 0.41 \frac{cal}{cm^2 * min} * 24,395 \text{ cm}^2 * 0.92$$

$$\dot{Q}_{solar} = 9,202 \frac{cal}{min}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{convección} &= h * \text{Área}_{total} * (T_{interior} - T_{ambiente}) \\ \dot{Q}_{convección} &= \left(1.2 \times 10^{-4} \frac{cal}{cm^2 * min * ^\circ C}\right) * (24,395 cm^2) * (31.8^\circ C - 25.5^\circ C) \\ \dot{Q}_{convección} &= 18.54 \frac{cal}{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{radiación} &= \varepsilon * \sigma * \text{Área}_{total} * (T_{interior}^4 - T_{ambiente}^4) \\ \dot{Q}_{radiación} &= (0.92) * \left(8.13 \times 10^{-11} \frac{cal}{cm^2 * min * K^4}\right) * (24,395 cm^2) \\ &\quad * ((31.8 + 275.15 K)^4 + (25.5 + 275.15 K)^4) \\ \dot{Q}_{radiación} &= 1,271 \frac{cal}{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{almacenado} &= \dot{Q}_{solar} - \dot{Q}_{convección} - \dot{Q}_{radiación} \\ \dot{Q}_{almacenado} &= 9,202 \frac{cal}{min} - 18.54 \frac{cal}{min} - 1,271 \frac{cal}{min} \\ \dot{Q}_{almacenado} &= 7,912 \frac{cal}{min} \end{aligned}$$

Este cálculo se realizó para determinar el balance de energía en el sistema. Se utilizó la radiación promedio por mes reportado por el INSIVUMEH al igual que la temperatura interna de la compostera y la temperatura ambiente. Este se replicó para el resto de las semanas analizadas para el proceso de compostaje y se realizó de la misma forma para el balance de energía del compost con inóculo de excremento de vaca. Los datos se ven en el Cuadro 40 y 41.

Cálculo 4. Porcentaje de degradabilidad de los sólidos de control

$$m_{semana\ 1} = 406.20\ g$$

$$m_{semana\ 2} = 385.92\ g$$

$$Porcentaje_{degradabilidad} = \left(\frac{m_{semana\ 1} - m_{semana\ 2}}{m_{semana\ 1}}\right) * 100$$

$$Porcentaje_{degradabilidad} = \left(\frac{406.20g - 385.92g}{406.20g}\right) * 100$$

$$Porcentaje_{degradabilidad} = 4.99\%$$

Este cálculo se realizó para el trozo de zanahoria presente en el compost con inóculo de excremento de caballo. De la misma forma se realizó para todos los sólidos de control (hueso de aguacate y trozo de bolsa biodegradable) y para el compost con inóculo de excremento de vaca. Los datos se ven en el Cuadro 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

Cálculo 5. Prueba t de Student

Hipótesis nula

$$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

Hipótesis alternativa

$$H_i: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Si $p < \alpha$ = Rechaza la hipótesis nula H_0 → Hay diferencia significativa

Si $p \geq \alpha$ = No se rechaza la hipótesis nula H_0 → No hay diferencia significativa

$$p = 0.80$$

$$p \geq \alpha$$

No se rechaza la hipótesis nula H_0 → No hay diferencia significativa

Este cálculo se realizó para determinar si existía una diferencia significativa entre los resultados obtenidos de relación C/N final para el compost con inóculo de excremento de caballo comparado con la del compost comercial. De la misma forma se realizó para el porcentaje de humedad y para las propiedades fisicoquímicas del compost con inóculo de estiércol de vaca. Los datos se ven en el Cuadro 9, 10, 11 y 12. La propiedad del pH no mostró variabilidad puesto que todas las muestras fueron idénticas, por lo que no es la prueba t, por lo que ambos compost, son equivalentes en cuanto a pH con el producto comercial.

Cálculo 6. Reducción porcentual del tiempo de maduración del estiércol de caballo

$$\%_{reducción} = \left(\frac{t_{experimental} - t_{teórico}}{t_{teórico}} \right) * 100$$

$$\%_{reducción} = \left(\frac{11 \text{ semanas} - 12 \text{ semanas}}{12 \text{ semanas}} \right) * 100$$

$$\%_{reducción} = 8.33\%$$

El cálculo se realizó para determinar la reducción porcentual del tiempo de maduración del compost con estiércol de caballo. El resultado se encuentra en el Cuadro 46.

D. Análisis estadístico

Ecuación 6. Media

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{N}$$
$$\bar{X} = \frac{68.33\% + 68.54\% + 68.12\%}{3}$$
$$\bar{X} = 68.33\%$$

Donde:

\bar{X} = Media

x_1 = Observación 1

N = Número de observaciones

Este cálculo se realizó para determinar la media de los valores obtenidos para el porcentaje de humedad del compost con estiércol de caballo para la semana 1. De la misma forma se realizó para el resto de las medias calculadas.

Ecuación 7. Incertidumbre de la media.

$$S_{\bar{X}} = \frac{\sqrt{(s_1)^2 + (s_1)^2 + (s_3)^2}}{N}$$
$$S_{\bar{X}} = \frac{\sqrt{(\pm 0.01)^2 + (\pm 0.01)^2 + (\pm 0.01)^2}}{3}$$
$$S_{\bar{X}} = \pm 0.01$$

Donde:

$S_{\bar{X}}$ = Desviación de la media

s_1 = Desviación de la observación 1

N = Número de observaciones

Este cálculo se realizó para determinar la incertidumbre de la media del porcentaje de humedad del compost con estiércol de caballo para la semana 1. De la misma forma se realizó para el resto de las incertidumbres de medias calculadas.

Ecuación 8. Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\sum_1^N \frac{(x_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(68.33\% - 68.33\%)^2 + (68.54\% - 68.33\%)^2 + (68.12\% - 68.33\%)^2}{3 - 1}}$$

$$\sigma = 0.21$$

Donde:

σ = Desviación estándar

N = Número de observaciones

x_i = Observación i

\bar{X} = Media

Este cálculo se realizó para determinar la desviación estándar del porcentaje de humedad del compost con estiércol de caballo para la semana 1. De la misma forma se realizó para el resto de las desviaciones estándar calculadas.

Ecuación 9. Incertidumbre de la desviación estándar

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{2 * N - 1}}$$

$$S_{\sigma} = \frac{0.21}{\sqrt{2 * 3 - 1}}$$

$$S_{\sigma} = \pm 0.11$$

Donde:

S_{σ} = Incertidumbre de la desviación estándar

N = Número de observaciones

Ecuación 10. Coeficiente de variación.

$$C.V. = \frac{\sigma}{\bar{X}} * 100$$

$$C.V. = \frac{0.21}{68.33\%}$$

$$C.V. = 0.31$$

Donde:

$C.V.$ = Coeficiente de variación

σ = Desviación estándar

\bar{X} = Media

Cuadro 47. Estadística descriptiva de la relación C/N del compost con inóculo de estiércol de caballo

Semana	Relación C/N	Media	Desviación estándar	Incertidumbre desviación (\pm)	Coefficiente de variación
1	21.96	25.29	4.70	3.33	0.19
	28.61				
3	20.47	20.80	0.47	0.33	0.02
	21.13				
5	19.82	18.63	1.68	1.19	0.09
	17.44				
6	8.05	10.08	2.87	2.03	0.28
	12.11				
9	15.33	18.33	4.24	3.00	0.23
	21.32				
11	13.20	11.96	1.75	1.24	0.15
	10.72				
12	11.21	11.38	0.24	0.17	0.02
	11.55				

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para los datos obtenidos de relación C/N para el compost con inóculo de estiércol de caballo.

Cuadro 48. Estadística descriptiva de la relación C/N del compost con inóculo de estiércol de vaca

Semana	Relación C/N	Media	Desviación estándar	Incertidumbre desviación (\pm)	Coefficiente de variación
1	21.24	26.96	8.08	5.72	0.30
	32.67				
3	21.98	23.23	1.77	1.25	0.08
	24.48				
5	27.18	23.78	4.81	3.40	0.20
	20.38				
6	10.99	8.66	3.30	2.33	0.38
	6.33				
9	20.54	17.31	4.57	0.11	0.22
	14.07				

11	10.91	13.57	3.76	0.11	0.22
	16.23				
12	9.40	9.44	0.05	0.11	0.22
	9.47				

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para los datos obtenidos de relación C/N para el compost con inóculo de estiércol de vaca.

Cuadro 49. Estadística descriptiva del porcentaje de humedad del compost con inóculo de estiércol de caballo

Semana	Porcentaje de humedad	Media (± 0.01 %)	Desviación estándar (%)	Incertidumbre desviación (\pm)	Coefficiente de variación	Incertidumbre coeficiente de variación (\pm)
1	68.33%	68.33%	0.21	0.11	0.31	0.15
	68.54%					
	68.12%					
	65.25%	65.35%	0.13	0.07	0.20	0.10
	65.30%					
	65.50%					
2	63.67%	62.74%	0.81	0.41	1.29	0.65
	62.21%					
	62.33%					
	60.31%	60.16%	0.17	0.08	0.28	0.14
	60.20%					
	59.98%					
3	59.05%	59.02%	0.04	0.02	0.07	0.04
	59.03%					
	58.97%					
4	58.26%	58.23%	0.04	0.02	0.06	0.03
	58.19%					
	58.24%					
5	57.10%	57.59%	0.43	0.22	0.75	0.38
	57.91%					
	57.77%					
	56.49%	56.44%	0.10	0.05	0.18	0.09
	56.32%					
	56.51%					
6	55.32%	55.32%	0.03	0.01	0.05	0.02
	55.29%					

	55.34%	54.12%	0.04	0.02	0.06	0.03
	54.12%					
	54.15%					
	54.08%					
8	52.63%	52.63%	0.05	0.02	0.09	0.04
	52.59%					
	52.68%					
9	50.72%	50.78%	0.05	0.03	0.10	0.05
	50.82%					
	50.80%					
	47.72%	47.78%	0.05	0.03	0.11	0.06
	47.82%					
	47.80%					
10	47.27%	47.23%	0.04	0.02	0.08	0.04
	47.20%					
	47.22%					
	46.42%	46.23%	0.23	0.12	0.50	0.25
	46.30%					
	45.97%					
11	45.62%	45.61%	0.02	0.01	0.03	0.02
	45.59%					
	45.61%					

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para el porcentaje de humedad del compost con inóculo de excremento de caballo.

Cuadro 50. Estadística descriptiva del porcentaje de humedad del compost con inóculo de estiércol de vaca

Semana	Relación C/N	Media (± 0.01 %)	Desviación estándar (%)	Incertidumbre desviación (\pm)	Coficiente de variación	Incertidumbre coeficiente de variación (\pm)
1	65.89%	65.43%	0.66	0.33	1.01	0.51
	65.72%					
	64.67%					
	54.58%	55.40%	0.84	0.42	1.52	0.76
	56.26%					
	55.37%					
2	53.34%	53.03%	0.63	0.31	1.18	0.59
	52.31%					

	53.44%	52.29%	0.79	0.39	1.51	0.75
	52.81%					
	51.38%					
	52.67%					
3	47.89%	49.53%	1.55	0.78	3.14	1.57
	50.98%					
	49.73%					
4	48.95%	48.94%	0.07	0.04	0.14	0.07
	49.01%					
	48.87%					
5	49.37%	49.04%	0.29	0.15	0.60	0.30
	48.93%					
	48.81%					
	58.77%	58.73%	0.10	0.05	0.17	0.09
	58.62%					
	58.81%					
6	58.85%	58.82%	0.08	0.04	0.14	0.07
	58.73%					
	58.89%					
	58.73%	58.64%	0.11	0.05	0.19	0.09
	58.52%					
	58.68%					
8	57.65%	56.91%	0.66	0.33	1.16	0.58
	56.38%					
	56.70%					
9	49.93%	50.27%	0.54	0.27	1.08	0.54
	49.98%					
	50.89%					
	47.39%	47.09%	0.27	0.13	0.57	0.28
	46.98%					
	46.89%					
10	47.15%	46.83%	0.28	0.14	0.59	0.30
	46.63%					
	46.72%					
	46.33%	46.37%	0.12	0.06	0.26	0.13
	46.51%					
	46.28%					
11	45.49%	45.64%	0.13	0.06	0.28	0.14
	45.73%					

	45.69%					
--	--------	--	--	--	--	--

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para el porcentaje de humedad del compost con inóculo de excremento de vaca.

Cuadro 51. Estadística descriptiva de la temperatura en el compost con inóculo de excremento de caballo

Semana	Temperatura (°C) (± 0.01 °C)	Media (± 0.01 °C)	Desviación estándar (%)	Incertidumbre desviación (\pm)	Coefficiente de variación	Incertidumbre coeficiente de variación (\pm)
1	31.5	31.8	0.29	0.14	0.009	0.005
	32.0					
	32.0					
	32.6	32.1	0.42	0.21	0.013	0.006
	32.0					
	31.8					
2	40.5	40.3	0.15	0.08	0.004	0.002
	40.3					
	40.2					
	41.6	41.6	0.10	0.05	0.002	0.001
	41.7					
	41.5					
3	50.7	50.7	0.06	0.03	0.001	0.001
	50.7					
	50.6					
4	48.4	48.4	0.15	0.08	0.003	0.002
	48.3					
	48.6					
5	45.0	45.0	0.10	0.05	0.002	0.001
	45.1					
	44.9					
	45.0	45.2	0.21	0.10	0.005	0.002
	45.3					
	45.4					
6	39.5	39.5	0.06	0.03	0.001	0.001
	39.6					
	39.5					
8	33.9	34.0	11.55	5.77	0.34	0.170

	34.1					
	34.1					
9	30.5	30.3	20.82	10.41	0.69	0.343
	30.1					
	30.4					
10	28.8	28.8	15.28	7.64	0.53	0.265
	29.0					
	28.7					
	25.9	25.8	11.55	5.77	0.45	0.224
	25.7					
25.7						
11	25.5	25.5	15.28	7.64	0.60	0.299
	25.4					
	25.7					

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para la temperatura del compost con inóculo de excremento de caballo.

Cuadro 52. Estadística descriptiva de la temperatura en el compost con inóculo de excremento de vaca

Semana	Temperatura (± 0.01 °C)	Media (± 0.01 °C)	Desviación estándar (%)	Incertidumbre desviación (\pm)	Coefficiente de variación	Incertidumbre coeficiente de variación (\pm)
1	30.9	30.8	0.12	0.06	0.004	0.002
	30.7					
	30.9					
	32.5	32.4	0.21	0.10	0.006	0.003
	32.2					
	32.6					
2	40.7	40.8	0.10	0.05	0.002	0.001
	40.9					
	40.8					
	41.5	41.6	0.15	0.08	0.004	0.002
	41.8					
	41.6					
3	50.9	50.9	0.15	0.08	0.003	0.002
	50.7					
	51.0					
4	48.0	48.3	0.25	0.13	0.005	0.003
	48.5					

	48.3					
5	45.2	45.2	0.06	0.03	0.001	0.001
	45.3					
	45.2					
	44.7	44.8	0.10	0.05	0.002	0.001
	44.8					
	44.9					
6	39.6	39.8	0.17	0.09	0.004	0.002
	39.9					
	39.9					
8	34.2	34.3	0.17	0.09	0.01	0.003
	34.5					
	34.2					
9	30.6	30.6	0.15	0.08	0.005	0.002
	30.7					
	30.4					
10	28.9	28.7	0.17	0.09	0.01	0.003
	28.6					
	28.6					
	25.6	25.7	0.21	0.10	0.01	0.004
	25.5					
	25.9					
11	25.8	25.6	0.25	0.13	0.01	0.005
	25.3					
	25.6					

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para la temperatura del compost con inóculo de excremento de vaca.

Cuadro 53. Estadística descriptiva del trozo de zanahoria presente en el compost con inóculo de estiércol de caballo

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)	Incertidumbre porcentaje de degradabilidad (\pm)
1	406.2	0.00	0.0348
3	385.92	4.99	0.0340
5	224.37	44.76	0.0281
6	218.6	46.18	0.0280
9	209.8	48.35	0.0277
11	189.2	53.42	0.0272

12	180.4	55.59	0.0269
----	-------	-------	--------

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para el sólido de control, trozo de zanahoria, del compost con inóculo de excremento de caballo.

Cuadro 54. Estadística descriptiva del trozo de zanahoria presente en el compost con inóculo de estiércol de vaca

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)	Incertidumbre porcentaje de degradabilidad (\pm)
1	310.4	0.00	0.045561004
3	293.6	5.41	0.044345183
5	171.7	44.68	0.036816884
6	163.4	47.36	0.03640771
9	153.9	50.42	0.035958997
11	138.6	55.35	0.035282294
12	135.8	56.25	0.035164806

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para el sólido de control, trozo de zanahoria, del compost con inóculo de excremento de vaca.

Cuadro 55. Estadística descriptiva del hueso de aguacate presente en el compost con inóculo de estiércol de caballo

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)	Incertidumbre porcentaje de degradabilidad (\pm)
1	35.7	0.00	0.3961
3	33.8	5.32	0.3857
5	32.7	8.40	0.3799
6	32.1	10.08	0.3767
9	29.8	16.53	0.3649
11	25.3	29.13	0.3433
12	22.1	38.10	0.3294

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para el sólido de control, hueso de aguacate, del compost con inóculo de excremento de caballo.

Cuadro 56. Estadística descriptiva del hueso de aguacate presente en el compost con inóculo de estiércol de vaca

Semana	Masa (± 0.01 g)	Porcentaje de degradabilidad (%)	Incertidumbre porcentaje de degradabilidad (\pm)
1	33.0	0.00	0.428549564
3	29.9	9.39	0.408916441
5	25.4	23.03	0.38239896
6	25.00	24.24	0.380169725
9	22.3	32.42	0.365732381
11	17.9	45.76	0.344739299
12	15.6	52.73	0.335183717

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para el sólido de control, hueso de aguacate, del compost con inóculo de excremento de vaca.

Cuadro 57. Estadística descriptiva del porcentaje de humedad del producto comercial

Porcentaje de humedad (%)	Media (± 0.01 g)	Desviación estándar (%)	Incertidumbre desviación (\pm)	Coefficiente de variación	Incertidumbre coeficiente de variación (\pm)
45.57%	45.23%	0.56	0.28	1.24	0.62
45.53%					
44.58%					

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para el porcentaje de humedad del producto comercial.

Cuadro 58. Estadística descriptiva de la relación C/N del producto comercial

Relación C/N	Media	Desviación estándar	Incertidumbre desviación (\pm)
10.44	11.77	1.87	1.32
13.09			

El cuadro anterior muestra la estadística descriptiva calculada para la relación C/N del producto comercial.

Ecuación 11. Valor t para la prueba t de Student

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

$$t = \frac{11.77 - 11.38}{\sqrt{\frac{(1.87)^2}{2} + \frac{(0.24)^2}{2}}}$$

$$t = 0.29$$

Donde:

t = Valor t

\bar{X} = Media

σ = Desviación estándar

N = Número de la muestra

Esta ecuación se utilizó para calcular el valor t para determinar si había evidencia significativa entre las medias de la relación C/N del compost con inóculo de excremento de caballo y el compost de producto comercial. De la misma forma se realizó para la propiedad fisicoquímica del porcentaje de humedad y para el abono orgánico con excremento de vaca. Los datos se ven en el Cuadro 11 y 12. La propiedad del pH no mostró variabilidad puesto que todas las muestras fueron idénticas, por lo que no es aplicable la prueba t de Student por lo que ambos compost, son equivalentes en cuanto a pH con el producto comercial.

Ecuación 12. Valor P para la prueba t de Student

$$p = 2 * P(T \geq |t|)$$

$$p = 0.80$$

Donde:

p = Valor p

P = Probabilidad teórica

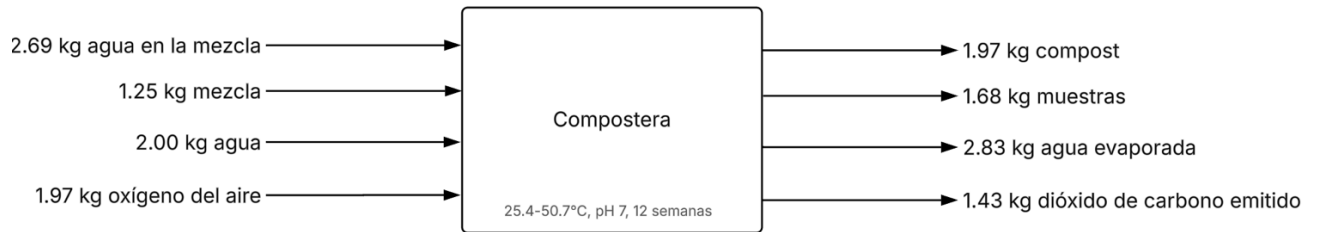
T = Distribución t de Student

t = Estadístico t

Esta ecuación se utilizó para calcular el valor P para las medias de la relación C/N del compost con inóculo de excremento de caballo y el compost de producto comercial. De la misma forma se realizó para la propiedad fisicoquímica del porcentaje de humedad y para el abono orgánico con excremento de vaca. Los datos se ven en el Cuadro 11 y 12. La propiedad del pH no mostró variabilidad puesto que todas las muestras fueron idénticas, por lo que no es aplicable el valor P , por lo que ambos compost, son equivalentes en cuanto a pH con el producto comercial.

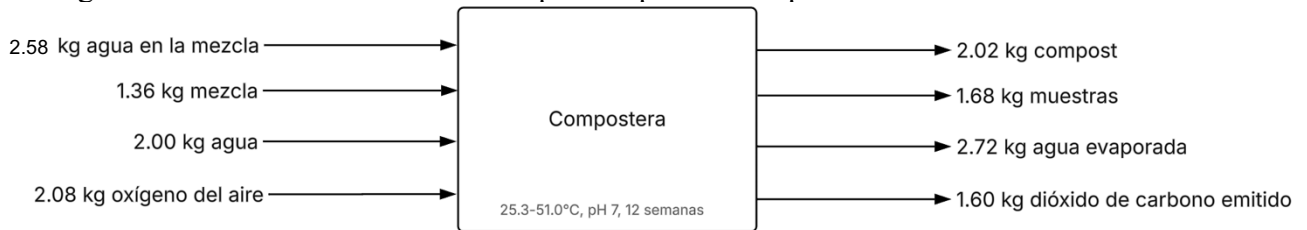
E. Balances de masa y energía

Figura 20. Balance de masa de la compostera para el compost con estiércol de caballo



Se realizó un balance de masa para el compartimiento de la compostera que tenía el compost con inóculo de estiércol de caballo. El tiempo fue de 12 semanas con un rango de temperaturas de entre 25.4-50.7 °C.

Figura 21. Balance de masa de la compostera para el compost con estiércol de vaca



Se realizó un balance de masa para el compartimiento de la compostera que tenía el compost con inóculo de estiércol de vaca. El tiempo fue de 12 semanas con un rango de temperaturas de entre 25.3-51.0 °C.

Figura 22. Balance de energía de la compostera para el compost con estiércol de caballo



Se realizó un balance de energía para el compartimiento de la compostera que tenía el compost con inóculo de estiércol de caballo en la semana 1. El tiempo fue de 12 semanas con un rango de temperaturas de entre 25.4-50.7 °C. Los datos calculados para el resto de las semanas se encuentra en el Cuadro 41.

Figura 23. Balance de energía de la compostera para el compost con estiércol de vaca



Se realizó un balance de energía para el compartimiento de la compostera que tenía el compost con inóculo de estiércol de vaca en la semana 1. El tiempo fue de 12 semanas con un rango de temperaturas de entre 25.3-51.0 °C. Los datos calculados para el resto de las semanas se encuentra en el Cuadro 43.

F. Datos de equipo

Cuadro 59. Datos de la balanza de precisión

Equipo	Balanza de precisión
Marca	OHAUS
Modelo	PA4202
Capacidad máxima	4,200g
Incertidumbre	± 0.01 g

Cuadro 60. Datos de la balanza de humedad

Equipo	Balanza de humedad
Marca	OHAUS
Modelo	MB120
Capacidad máxima	120 g
Incertidumbre	± 1 mg/0.01 %

Cuadro 61. Datos de la balanza de plataforma

Equipo	Balanza de plataforma
Marca	OHAUS
Modelo	D31P150BX
Capacidad máxima	150 kg
Incertidumbre	± 0.01 kg

Cuadro 62. Datos de la trituradora de residuos orgánicos

Equipo	Trituradora de residuos orgánicos
Marca	Trapp
Modelo	TR-200
Rotación	3,600 rpm
Potencia	1.5 CV

Cuadro 63. Datos de la compostera rotativa

Equipo	Compostera rotativa
Alto	91.44 cm
Ancho	76.20 cm
Diámetro	71.12 cm
Capacidad máxima	140 L

Cuadro 64. Datos del termómetro digital

Equipo	Termómetro digital
Marca	REOTEMP
Modelo	K95

Sensor	1,000 Ω clase A RTD
Rango	-50-200°C

Cuadro 65. Datos del digestor

Equipo	Digestor
Marca	JP Selecta
Modelo	DQO 12
Rango de temperatura	45-540°C
Incertidumbre temperatura	$\pm 1^\circ\text{C}$

Cuadro 66. Datos del destilador

Equipo	Destilador
Marca	JP Selecta
Modelo	PRO-NITRO M
Rango de detección	0.2-200 mg de N
Velocidad de destilación	30-40 mL/min

Cuadro 67. Datos del horno mufla

Equipo	Horno mufla
Marca	Heraeus Hanau
Modelo	KR-170
Capacidad	170 L
Temperatura máxima	1200 °C

G. Evidencia fotográfica

Figura 24. Masa inicial de la mezcla de abono orgánico con estiércol de vaca previo a ser triturado



Fuente: Propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 25. Trituradora utilizada para chipear el compost



Fuente: Propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 26. Masa del sólido de control, hueso de aguacate



Fuente: Propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

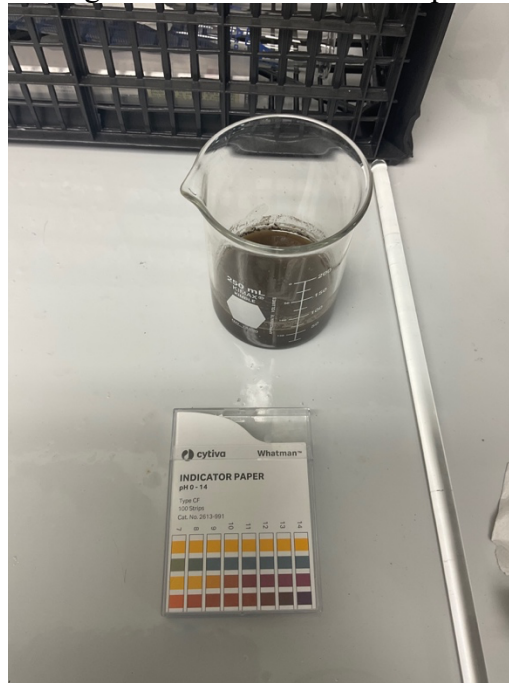
Figura 27. Sólidos de control, trozos de zanahoria utilizados



Fuente: Propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 28. Tiras reactivas de pH



Fuente: Propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 29. Balanza de humedad utilizada



Fuente: Propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 30. Bolsa identificada como biodegradable



Fuente: Propia

Realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 31. Compostera utilizada



Fuente: Compost Urbano (2023)

H. Registro de relación C/N

Figura 32. Relación C/N del compost producto comercial – Medición 1

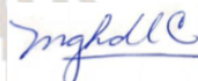
R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 1 de 2

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0345-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 28-05-2025
Fecha de recepción:	23/05/2025	Fecha de emisión:	30/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Producto 1	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	1.68
M.O. (%)	30.18
C/N	10.44

Ref: 25-0582

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 33. Relación C/N del compost producto comercial – Medición 2

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 2 de 2

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0346-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 28-05-2025
Fecha de recepción:	23/05/2025	Fecha de emisión:	30/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del ítem: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Producto 2	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	1.43
M.O. (%)	32.16
C/N	13.09

Ref: 25-0583

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
 Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
 Especialista en Análisis de suelos, plantas y
 Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
 El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 34. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 1 – Medición 1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 3 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0145-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 12-03-2025
Fecha de recepción:	6/03/2025	Fecha de emisión:	14/03/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Cultivo:	Caballo 1	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	1.68
M.O. (%)	63.47
C/N	21.96

Ref: 25-0228

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 35. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 1 – Medición
2

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 4 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0146-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 12-03-2025
Fecha de recepción:	6/03/2025	Fecha de emisión:	14/03/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del ítem: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo. Información proporcionada por el interesado.	
Cultivo:	Caballo 2		

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	1.72
M.O. (%)	84.74
C/N	28.61

Ref: 25-0229

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 36. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 1 – Medición 1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 1 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0143-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 12-03-2025
Fecha de recepción:	6/03/2025	Fecha de emisión:	14/03/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo. Información proporcionada por el interesado.	
Identificación:	Vaca 1		

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	0.92
M.O. (%)	33.76
C/N	21.24

Ref: 25-0226

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 37. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 1 – Medición 2

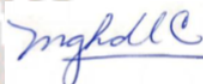
R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 2 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0144-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 12-03-2025
Fecha de recepción:	6/03/2025	Fecha de emisión:	14/03/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del ítem: BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo.	
Cultivo:	Vaca 2	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	1.51
M.O. (%)	84.97
C/N	32.67

Ref: 25-0227

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 38. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 3 – Medición

1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 3 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0175-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 27-03-2025
Fecha de recepción:	21/03/2025	Fecha de emisión:	31/03/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del ítem: BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Caballo 1	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.44
M.O. (%)	85.76
C/N	20.47

Ref: 25-0282

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 39. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 3 – Medición

2

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 4 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0176-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 27-03-2025
Fecha de recepción:	21/03/2025	Fecha de emisión:	31/03/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item:	BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo. Información proporcionada por el interesado.
Identificación:	Caballo 2		

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.18
M.O. (%)	79.39
C/N	21.13

Ref: 25-0283

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 40. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 3 – Medición 1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 1 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0173-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 27-03-2025
Fecha de recepción:	21/03/2025	Fecha de emisión:	31/03/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item:	BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo.
Identificación:	Vaca 1	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.23
M.O. (%)	84.15
C/N	21.98

Ref: 25-0280

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 41. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 3 – Medición 2

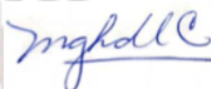
R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 2 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0174-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 27-03-2025
Fecha de recepción:	21/03/2025	Fecha de emisión:	31/03/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Vaca 2	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.06
M.O. (%)	86.64
C/N	24.48

Ref: 25-0281

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 42. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 5 – Medición

1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 3 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0235-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 15-04-2025
Fecha de recepción:	4/04/2025	Fecha de emisión:	15/04/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del ítem: BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo. Información proporcionada por el interesado.	
Identificación:	Caballo 1		

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.48
M.O. (%)	84.46
C/N	19.82

Ref: 25-0399

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 43. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 5 – Medición

2

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 4 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0236-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 15-04-2025
Fecha de recepción:	4/04/2025	Fecha de emisión:	15/04/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Caballo 2	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.39
M.O. (%)	71.81
C/N	17.44

Ref: 25-0400

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 44. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 5 – Medición 1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 1 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0233-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 15-04-2025
Fecha de recepción:	4/04/2025	Fecha de emisión:	15/04/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo. Información proporcionada por el interesado.	
Identificación:	Vaca 1		

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	1.76
M.O. (%)	82.48
C/N	27.18

Ref: 25-0397

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
 Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
 Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
 El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 45. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 5 – Medición 2

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 2 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0234-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 15-04-2025
Fecha de recepción:	4/04/2025	Fecha de emisión:	15/04/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo.	
identificación:	Vaca 2	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.06
M.O. (%)	72.16
C/N	20.38

Ref: 25-0398

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.


Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 46. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 6 – Medición

1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 3 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0268-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 28-04-2025
Fecha de recepción:	11/04/2025	Fecha de emisión:	28/04/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Caballo 1	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.23
M.O. (%)	30.80
C/N	8.05

Ref: 25-0458

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

3

Figura 47. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 6 – Medición

2

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 4 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0269-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 28-04-2025
Fecha de recepción:	11/04/2025	Fecha de emisión:	28/04/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo. Información proporcionada por el interesado.	
Identificación:	Caballo 2		

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.14
M.O. (%)	44.61
C/N	12.11

Ref: 25-0459

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

4

Figura 48. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 6 – Medición 1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 1 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0266-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 28-04-2025
Fecha de recepción:	11/04/2025	Fecha de emisión:	28/04/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item:	BOLSA PLASTICA .
Identificación:	Vaca 1	El interesado realizó el muestreo. Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	3.19
M.O. (%)	60.35
C/N	10.99

Ref: 25-0456

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 49. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 6 – Medición 2

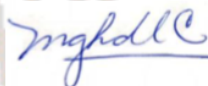
R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 2 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0267-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 28-04-2025
Fecha de recepción:	11/04/2025	Fecha de emisión:	28/04/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item:	BOLSA PLASTICA .
Identificación:	Vaca 2	El interesado realizó el muestreo. Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	3.15
M.O. (%)	34.27
C/N	6.33

Ref: 25-0457

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 50. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 9 – Medición

1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 3 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0294-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 12-05-2025
Fecha de recepción:	6/05/2025	Fecha de emisión:	15/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Caballo 1	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.27
M.O. (%)	59.79
C/N	15.33

Ref: 25-0500

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 51. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 9 – Medición

2

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 4 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0295-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 12-05-2025
Fecha de recepción:	6/05/2025	Fecha de emisión:	15/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Caballo 2	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	1.77
M.O. (%)	64.84
C/N	21.32

Ref: 25-0501

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 52. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 9 – Medición 1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 1 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0292-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 12-05-2025
Fecha de recepción:	6/05/2025	Fecha de emisión:	15/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Vaca 1	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.23
M.O. (%)	78.64
C/N	20.54

Ref: 25-0498

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 53. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 9 – Medición 2

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 2 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0293-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 12-05-2025
Fecha de recepción:	6/05/2025	Fecha de emisión:	15/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Vaca 2	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.35
M.O. (%)	56.94
C/N	14.07

Ref: 25-0499

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
 Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
 Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
 El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 54. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 11 – Medición
1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 3 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0315-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 22-05-2025
Fecha de recepción:	15/05/2025	Fecha de emisión:	24/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Caballo 1	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	3.32
M.O. (%)	75.34
C/N	13.20

Ref: 25-0539

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.


Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 55. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 11 – Medición
2

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 4 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0316-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 22-05-2025
Fecha de recepción:	15/05/2025	Fecha de emisión:	24/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Caballo 2	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.65
M.O. (%)	48.78
C/N	10.72

Ref: 25-0540

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.


Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 56. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 11 – Medición 1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 1 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0313-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 22-05-2025
Fecha de recepción:	15/05/2025	Fecha de emisión:	24/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Vaca 1	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	3.82
M.O. (%)	71.74
C/N	10.91

Ref: 25-0537

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y
Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 57. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 11 – Medición 2

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 2 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0314-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 22-05-2025
Fecha de recepción:	15/05/2025	Fecha de emisión:	24/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA. El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Vaca 2	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	2.48
M.O. (%)	69.19
C/N	16.23

Ref: 25-0538

El presente Informe representa únicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.


Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 58. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 12 – Medición
1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 3 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0343-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 28-05-2025
Fecha de recepción:	23/05/2025	Fecha de emisión:	30/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del ítem: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Caballo 1	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	1.43
M.O. (%)	27.54
C/N	11.21

Ref: 25-0580

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.


Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 59. Relación C/N del compost con estiércol de caballo en la semana 12 – Medición

2

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 4 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0344-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 28-05-2025
Fecha de recepción:	23/05/2025	Fecha de emisión:	30/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Caballo 2	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	1.47
M.O. (%)	29.19
C/N	11.55

Ref: 25-0581

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 60. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 12 – Medición 1

R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 1 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0341-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 28-05-2025
Fecha de recepción:	23/05/2025	Fecha de emisión:	30/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del item: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Vaca 1	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	1.60
M.O. (%)	25.79
C/N	9.40

Ref: 25-0578

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
 Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
 Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
 El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

Figura 61. Relación C/N del compost con estiércol de vaca en la semana 12 – Medición 2

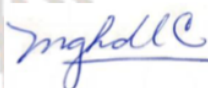
R01-ACPR-26	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUIMICO	V.03 12/04/2023
Elaborado por: Auxiliar de laboratorio	Revisado y aprobado por: Gerente General	Página 2 de 4

Interesado:	Lesli Perez	DOC:	ACIL 0342-25
Tel:		Fecha y lugar de ejecución	Guate, 28-05-2025
Fecha de recepción:	23/05/2025	Fecha de emisión:	30/05/2025
Municipio y depto:	N/A	Condición del ítem: BOLSA PLASTICA . El interesado realizó el muestreo.	
Identificación:	Vaca 2	Información proporcionada por el interesado.	

NUTRIENTES	
Nitrógeno total (%)	1.72
M.O. (%)	28.04
C/N	9.47

Ref: 25-0579

El presente Informe representa unicamente las características analizadas en la muestra enviada al laboratorio.



Firmado digitalmente por:
Ing. Agr. María Margarita Hurtarte
Especialista en Análisis de suelos, plantas y Fisiología Vegetal

*Los resultados obtenidos corresponden a las muestras recibidas por el laboratorio.
El informe puede reproducirse parcialmente o en su totalidad hasta que el laboratorio lo autorice.*

Agrolaboratorio Ceres se compromete a resguardar y no divulgar ninguna información referente a este documento.

XIII. GLOSARIO

Actividad fúngica: Conjunto de procesos biológicos como el crecimiento, reproducción y respiración de hongos afectado por aspectos principales como la humedad, temperatura y el pH.

Compost: Abono obtenido por medio de la descomposición de residuos orgánicos que puede ser utilizado como mejorador de suelos en la agricultura y jardinería.

Degradación: Pérdida de propiedades inherentes como físicas, químicas y biológicas a consecuencia de procesos naturales o inducido directa o indirectamente por actividades humanas.

Descomposición biológica: Proceso en el que la materia orgánica compleja es transformada a materia orgánica más simple por medio de los microorganismos.

Erosión: Desgaste del suelo causado de forma natural por el agua, viento y condiciones climáticas e intensificada por actividades humanas como la deforestación, la agricultura no sostenible, la construcción y la urbanización de áreas.

Inóculo: Material biológico con microorganismos que acelera los procesos biológicos como la descomposición.

Lignina: Macromolécula de origen orgánico presente en las paredes celulares de algunas plantas y frutas. Esta aporta rigidez, dureza y resistencia.

Microorganismos eficientes autóctonos: Conjunto de microorganismos que son extraídos del ambiente local disponible. Estos son multiplicados y utilizados para acelerar procesos biológicos al igual que los inóculos.

Relación C/N: Proporción entre la cantidad de carbono por cantidad de nitrógeno presente en un material.