

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**



**“EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE ESTIÉRCOL  
DE CABALLO DE UN CENTRO ECUESTRE  
EN LA REGIÓN LIMA”**

Presentada por:

**JOSÉ MIGUEL GUZMÁN ANAYA**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

Lima – Perú

**2021**

---

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**

**“EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DE ESTIÉRCOL  
DE CABALLO DE UN CENTRO ECUESTRE  
EN LA REGIÓN LIMA”**

Presentada por:

**JOSÉ MIGUEL GUZMÁN ANAYA**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

---

Dra. Gladys Carrión Carrera  
Presidente

---

Mg.Sc. José Cadillo Castro  
Miembro

---

Ph.D. Lizardo Visitación Figueroa  
Miembro

---

Mg.Sc. Jonathan Morón Barraza  
Asesor

---

Mg.Sc. Wilfredo Baldeón Quispe  
Co- Asesor

## DEDICATORIA

*A mi padre José Antonio y a mi madre Haydeé Consuelo por siempre creer en mí aún en los momentos más difíciles.*

*A mi hermana Flor de María por ser siempre mi ejemplo a seguir.*

*A mi sobrina Lucía Micaela porque me hizo recordar que en las cosas sencillas esta la respuesta a las grandes preguntas.*

## AGRADECIMIENTOS

*A todas las personas involucradas en esta tesis, ya que sin ellos no hubiera sido posible lograr los objetivos.*

*A mis amigos de la Sección Equinos donde me forme y siempre encuentro un hogar además del mío.*

*A los trabajadores del CEMTRAR por su paciencia y labor.*

*Al Ing. Jonathan Morón y al Ing. Wilfredo Baldeón por asistirme en todo momento y confiarme la dirección de esta tesis.*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Ambiente y Producción Animal.....	3
2.1.1 Beneficios Ambientales del Compostaje.....	3
2.1.2 Valoración y potencial fertilizante del estiércol de caballo.....	3
2.2 Normativa Ambiental.....	4
2.2.1 Norma austriaca.....	4
2.2.2 Norma chilena.....	5
2.2.3 Norma mexicana.....	5
2.2.4 Legislación Peruana.....	6
2.3 Compost.....	7
2.3.1 Propiedades del compost.....	8
2.3.2 Fases del proceso de compostaje.....	9
2.3.3 Madurez y estabilización del compost.....	11
2.4 Factores físicos que influyen en el proceso de compostaje.....	11
2.4.1 Temperatura.....	11
2.4.2 Humedad.....	12
2.4.3 Tiempo.....	12
2.4.4 Volteo y agitación.....	13
2.4.5 Tamaño de partículas de los residuos orgánicos.....	13
2.5 Factores químicos que influyen en el proceso de compostaje.....	14
2.5.1 Relación carbono /nitrógeno.....	14

2.5.2 Oxigenación y aireación. ....	15
2.6 Factores fisicoquímicos que influyen en el proceso de compostaje.....	16
2.6.1 Potencial de hidrogeno (pH).....	16
2.6.2 Conductividad eléctrica. ....	17
2.7 Factores biológicos que influyen en el proceso de compostaje. ....	17
2.7.1 Los materiales orgánicos. ....	17
2.7.2 Degradación del material orgánico. ....	17
2.8 Factores sanitarios que influyen en l calidad del producto final. ....	19
III. METODOLOGÍA .....	20
3.1 Ubicación. ....	20
3.2 Duración. ....	20
3.3 Condición climática.....	20
3.4 Materiales a ensayar. ....	21
3.5 Disposición de los Tratamientos. ....	21
3.6 Materiales y equipos.....	21
3.6.1 Materiales y equipos de campo. ....	21
3.6.2. Materiales y equipos de laboratorio.....	22
3.7 Metodología aplicada en la elaboración de las pilas. ....	23
3.7.1 Limpieza del lugar para la colocación de la pila.....	24
3.7.2 Recepción de los residuos vegetales y estiércol.....	24
3.7.3 Selección de los elementos inorgánicos. ....	24
3.7.4 Elaboración de la pila de compostaje. ....	24
3.7.5 Volteo de la pila de compostaje. ....	25
3.7.6 Regulación de la humedad.....	25
3.7.7 Tamizado y pesado de compost. ....	25
3.8 Monitoreo y ensayos. ....	25
3.9 Variables respuesta.....	27
3.9.1 Métodos de análisis físicos.....	27
3.9.2 Métodos de análisis físico – químicos.....	28

3.9.3 Métodos de análisis químicos. ....	30
3.9.4 Métodos de análisis microbiológicos y parasitológicos. ....	33
3.10 Diseño estadístico.....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
4.1 Evaluación de los parámetros físicos. ....	34
4.1.1 Variación de la temperatura (°C.). ....	34
4.1.2 Variación de la humedad. ....	35
4.1.3 Rendimiento del compost final. ....	36
4.2 Evaluación de los parámetros fisicoquímicos. ....	37
4.2.1 Variación del potencial de Hidrógeno. ....	37
4.2.2 Variación de la conductividad eléctrica.....	38
4.3 Evaluación de los parámetros químicos. ....	39
4.3.1 Variación de la materia orgánica.....	39
4.3.2 Variación del carbono orgánico total.....	40
4.3.3 Variación del nitrógeno total. ....	41
4.3.4 Variación de la relación carbono / nitrógeno. ....	42
4.3.5 Contenido final de Fósforo y Potasio. ....	43
4.3.6 Análisis de microelementos (ppm). ....	44
4.3.7 Análisis de metales pesados. ....	45
4.4 Evaluación de los parámetros sanitarios.....	47
4.5 Resumen de Resultados. ....	48
V. CONCLUSIONES .....	49
VI. RECOMENDACIONES .....	51
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	52
VIII. ANEXOS.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores límites respecto a huevos de helmintos, microorganismos y virus entérico de acuerdo a 3 normas técnicas internacionales de compostaje .....	19
Tabla 2: Temperaturas promedio entre noviembre de 2019 y febrero de 2020 .....	20
Tabla 3: Características de los Materiales Iniciales .....	21
Tabla 4. Tratamientos .....	21
Tabla 5: Relación C/N por Tratamiento y Testigo .....	23
Tabla 6: Volumen utilizado para hallar el tamaño de la superficie de las pilas .....	24
Tabla 7: Valores de Rendimiento por tratamiento.....	37
Tabla 8: Resultados de laboratorio de la evaluación de contenido de coliformes y huevos de helmintos para compost final .....	47
Tabla 9: Resultados finales de los análisis realizados para 3 tratamientos de compostaje y Testigo comparados con estándares de las Normas Técnicas Austriaca OE-ÖNORM S-2022 y Chilena Ch N°2880. ....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación esquemática del balance de materia en el compostaje, (Márquez, 2008). .....	9
Figura 2: Evolución característica de la relación C/N durante y después del compostaje, (Kiehl, 1985). .....	15
Figura 3: Distribución de las Pilas .....	25
Figura 4: Rotulado de Pila.....	25
Figura 5: Toma de temperatura con termómetro digital de sonda.....	27
Figura 6. Muestreo en campo con balanza digital. ....	27
Figura 7: Muestras frescas rotuladas para llevar a la estufa.....	28
Figura 8: Muestras después de 24 horas de secado a 105 °C en la estufa.....	28
Figura 9: Colocación de muestras en el Agitador.....	29
Figura 10: Filtrado del líquido resultante de la homogenización de muestras. ....	29
Figura 11: Cálculo de pH con ayuda de potenciómetro. ....	29
Figura 12: Tubos Falcón con el producto homogenizado. ....	30
Figura 13: Cálculo de Conductividad Eléctrica con ayuda de conductímetro. ....	30
Figura 14: Pesaje de muestras en balanza analítica. ....	31
Figura 15: Distribución de crisoles en la mufla. ....	31
Figura 16: Colocación de muestras en la campana de desecación antes de tomar el peso final .....	31
Figura 17: Variación semanal de la temperatura (°C) en los tratamientos. ....	34
Figura 18: Variación quincenal del % de humedad (°C) en los tratamientos. ....	36
Figura 19: Variación quincenal del potencial de hidrógeno (pH) en los tratamientos. ....	37
Figura 20: Variación quincenal de la conductividad eléctrica (CE) en los tratamientos.....	39
Figura 21: Variación quincenal del % de materia orgánica en los tratamientos. ....	40
Figura 22: Porcentaje de carbono orgánico total del compost final. ....	41

Figura 23: Variación quincenal del % de Nitrogeno en los tratamientos. ....	42
Figura 24: Variación quincenal de la relación C/N en los tratamientos. ....	43
Figura 25: Porcentaje de Fósforo y Potasio del Compost Final. ....	44
Figura 26: Comparación de valores de cobre obtenidos vs. Los valores de compost según .....	44
Figura 27: Comparación de valores de zinc obtenidos vs. Los valores de compost según .....	45
Figura 28: Comparación de valores de cromo obtenidos vs. Los valores de compost según .....	46
Figura 29: Comparación de valores de cadmio obtenidos vs. Los valores de compost según .....	46
Figura 30: Comparación de valores de plomo obtenidos vs. Los valores de compost según .....	47

## ANEXOS

Anexo 1: Temperaturas encontradas durante el proceso de compostaje.....	64
Anexo 2: Contenido de Humedad durante el proceso de compostaje. ....	68
Anexo 3: Contenido de pH durante el proceso de compostaje.....	69
Anexo 4: Contenido de Conductividad Eléctrica durante el proceso de compostaje. ....	70
Anexo 5: Contenido de Materia Orgánica durante el proceso de compostaje. ....	71
Anexo 6: Contenido de Carbono Orgánico Total durante el proceso de compostaje.....	72
Anexo 7: Contenido de Nitrógeno durante el proceso de compostaje. ....	73
Anexo 8: Relación C/N durante el proceso de compostaje. ....	76
Anexo 9: Resultados del Análisis de Fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O. ....	77
Anexo 10: Resultados de Análisis Microbiológicos y Huevos de Helmintos (Laboratorio Marino Tabusso). ....	79
Anexo 11: Resultados de Análisis de Microelementos y Metales Pesados. ....	83
Anexo 12: Rendimiento Final del Compost. ....	85
Anexo 13: Caracterización de la Calidad del Compost por Tratamiento y Testigo comparado con los parámetros de la Norma Técnica Chilena 2880. Of.2004 y Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022. ....	86
Anexo 14: Pruebas estadísticas de parámetros evaluados.....	90
Anexo 15: Caracterización del estiércol equino. ....	99
Anexo 16: Caracterización del material vegetal. ....	100

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el grado de estabilidad del compost de estiércol equino. Se evaluaron tres tratamientos con diferentes proporciones de estiércol equino y residuos vegetales de jardinería, procedentes ambos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima, Perú). El método de compostaje empleado fue un sistema abierto de pilas con aireación mediante volteo manual durante 90 días haciendo volteos y tomando muestras cada dos semanas. El Tratamiento 1 alcanzó altos valores de temperatura mientras que el Tratamiento 2 es el que presenta menores valores: 44.07°C y 56.53°C. La humedad se estabilizó a partir del día 60 siendo el Tratamiento 1 el que finaliza el proceso con el valor más alto: 51.8 por ciento mientras el Tratamiento 3 es el que menor valor obtuvo: 51.28 por ciento. El Tratamiento 1 es el que finalizó más cerca a la neutralidad con un pH de 7.57. La conductividad eléctrica no presenta diferencias significativas finalizando los 3 tratamientos con un promedio de 0.20 ds/m. El efecto de la fase termófila fue eficiente para la higienización del material compostado encontrándose para los tres tratamientos en promedio 3.33 NMP/g coliformes fecales y 0 NMP/4g huevos de helmintos. Finalmente, la acumulación de nitrógeno total y el resultado de la relación C/N cercano al valor 11 al día 90 fueron indicativos del cumplimiento con las normas técnicas citadas. Se concluye que las proporciones evaluadas para compostaje de estiércol de equino son viables bajo los estándares de normas internacionales.

**Palabras clave:** Compost, equino, estiércol, normativa.

## ABSTRACT

The objective of the present work was to determine the degree of stability of equine manure compost. Three treatments were evaluated with different proportions of horse manure and vegetable garden waste, both from the National Agrarian University La Molina (Lima, Peru). The composting method used was an open windrow system with aeration by manual turning for 90 days, turning and sampling every two weeks. Treatment 1 reached high temperature values while Treatment 2 is the one with the lowest values: 44.07°C and 56.53°C. Moisture stabilized from day 60 onwards, with Treatment 1 ending the process with the highest value: 51.8 percent, while Treatment 3 was the lowest: 51.28 percent. Treatment 1 is the one that ended the process closer to neutrality with a pH of 7.57. The electrical conductivity did not show significant differences, with the 3 treatments ending with an average of 0.20 ds/m. The effect of the thermophilic phase was efficient for the sanitization of the composted material, with an average of 3.33 NMP/g fecal coliforms and 0 NMP/4g helminth eggs for the three treatments. Finally, the accumulation of total nitrogen and the result of the C/N ratio close to value 11 at day 90 were indicative of compliance with the technical standards cited. It is concluded that the proportions evaluated for equine manure composting are viable under the standards of international norms.

**Keywords:** Equine, compost, manure, regulations.

## I. INTRODUCCIÓN

El estiércol (heces y orina) de caballo es un producto con una importante riqueza en materia orgánica y nitrógeno, especialmente indicado para la mejora de las tierras de cultivo en agricultura, fruticultura, jardinería y zonas verdes. Un caballo con un peso promedio de 450 kg produce 9 toneladas de estiércol cada año. Cuando no se maneja adecuadamente el estiércol de caballo puede contaminar el medio ambiente, principalmente como contaminación del aire y del agua superficial y/o subterránea debido a excedentes de nitrógeno, fósforo y carbono (materia orgánica).

El compostaje de estiércol equino es una opción que ha sido aún poco estudiada en nuestro medio y poco se conoce del mayor valor que adquiere, así como tampoco se conoce la reducción del grado de impacto ambiental. Los métodos de compostaje del estiércol de caballo no son diferentes a otros ya evaluados y no requiere herramientas o estructuras especiales, por lo tanto sus beneficios son efectivos en la gestión inmediata de residuos: reduce el volumen de estiércol a la mitad y estabiliza los nutrientes en un producto que puede usarse para enriquecer el suelo. Si bien el estiércol de caballo puede contener semillas de malezas, larvas de mosca, huevos de gusanos y otros patógenos que causan enfermedades, el calor producido durante el compostaje destruye efectivamente un porcentaje considerable de estas.

Por lo citado anteriormente, esta investigación se define en la caracterización de los materiales para el compostaje, así como el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del producto resultante concorde a las normas de calidad de compost según lo establecido en la norma técnica chilena (NCh2880.c2004), mexicana (NMX-AA-180-SCFI-2018) y austriaca (OE-ÖNORM S-2022).

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar el compostaje de estiércol de caballo de un centro ecuestre en la región Lima.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterización del Estiércol Equino y el material vegetal para el compostaje.
- Evaluación de los parámetros físicos durante el proceso de compostaje.
- Evaluación de los parámetros químicos durante el proceso de compostaje.
- Evaluación de los parámetros fisicoquímicos durante el proceso de compostaje.
- Evaluación de los parámetros sanitarios del producto final.
- Evaluación del rendimiento final.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Ambiente y Producción Animal.

#### 2.1.1 Beneficios Ambientales del Compostaje.

Los residuos sólidos orgánicos eliminados sin ningún tratamiento liberan gases tóxicos como óxido nitroso ( $N_2O$ ) e ingentes cantidades de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) los cuales acentúan el efecto invernadero. Si estos residuos se mantienen inmovilizados se produce gas metano ( $CH_4$ ) debido a la biodegradación anaeróbica (Khalib *et. al.*, 2014). El metano tiene 20 veces más impacto en el efecto invernadero que el dióxido de carbono (N.S.W.E.P.A.2004). Asimismo el excedente de nutrientes líquidos se movilizara mediante lixiviados (nitratos y fosfatos) contaminando aguas subterráneas (Smith *et. al.*, 2009).

En la digestión anaerobia más del 90% de la energía utilizable por oxidación inmediata genera metano, del cual sólo un 10% es usado para el crecimiento bacteriano mientras que para un sistema aeróbico es del 50% (F.A.O. 2011). Mediante el compostaje, precisamente como proceso aeróbico permite aminorar considerablemente la generación de metano (U.S.E.P.A. 2002). Conforme el material orgánico decrece ya que se va mineralizando, el peso final puede llegar a constituir cerca de 20% del peso de la masa compostada (Zucconi *et. al.*, 1987). Finalmente el nitrógeno y el fósforo se inmovilizan asegurando su biodisponibilidad para las plantas (Eriksson *et. al.*, 2016).

#### 2.1.2 Valoración y potencial fertilizante del estiércol de caballo.

El estiércol de caballo se ha considerado un recurso valioso en lugar de un "desperdicio". Un caballo produce 31 gramos de heces y 20 ml. de orina por 1 kg de peso corporal todos los días (Wheeler *et. al.*, 2009) por tanto un caballo de 450 kg producirá de 14 a 23 kg de estiércol diariamente: 14 kg de heces y 9.09 litros de orina totalizando hasta 23 kg de desechos crudos (Westendorf *et. al.*, 2006), alrededor de 8,5 toneladas al año.

El valor de fertilizante de las 8,5 toneladas de estiércol producidas anualmente es de aproximadamente 46 kg de Nitrógeno, 19.5 kg de  $P_2O_5$  (fosfato = 43.7% P) y 35 kg de  $K_2O$  (potasa = 83% K). El contenido de nutrientes del estiércol de caballo también se puede

representar como 5.4 kg / tonelada de N, 2.27 kg / tonelada de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 9 4.08 kg / tonelada de K<sub>2</sub>O (Wheeler *et. al.*, 2009).

El estiércol de caballo también contiene grandes cantidades de carbono, materia orgánica y muchos valiosos nutrientes minerales menores como Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn y Fe, sin embargo hay pocos datos disponibles en la literatura sobre las concentraciones de estos en el estiércol (Lawrence *et. al.*, 2003).

## **2.2 Normativa Ambiental.**

Según U.S.D.A. (2013), compost es el producto de un proceso gestionado por medio del cual unos microorganismos descomponen materiales vegetales y animales en formas más disponibles, adecuadas para ser aplicadas al suelo. El compost debe ser producido mediante un proceso que combina materiales vegetales y animales con una proporción inicial C: N de entre 25:1 y 40:1. Para el sistema de compostaje en recipiente o pila estática aireada deben mantener los materiales de compostaje a una temperatura de entre 55 °C y 76.67 °C durante 3 días mientras un sistema de hileras deben mantener los materiales de compostaje a una temperatura de entre 55 °C y 76.67 °C durante 15 días, tiempo durante el cual a los materiales hay que darles vuelta cinco veces como mínimo.

El Libro Verde de la Comunidad Europea (2008) indica que el compostaje es la opción de tratamientos más adecuada para residuos verdes y material leñoso. Los países que cuentan con tasas elevadas de recuperación de materiales por este método son Alemania y Austria en la Unión Europea.

A nivel de Latinoamérica tres países tienen implementada normativa acerca de la regulación para la producción de compost: Chile (NCh2880.c2004), Colombia (Norma Técnica NTC 5167) y México (NMX-AA-180-SCFI-2018).

### **2.2.1 Norma austriaca.**

La Norma Austriaca OE-ÖNORM S-2022 (2001). Esta norma presenta 3 clases de compost:

- a. Clase A+: Calidad Máxima, valores limites tomados de la regulación del consejo de la Comunidad Económica Europea (EEC) N°2092/91 de agricultura orgánica.
- b. Clase A: Alta calidad, apropiado para utilizar en la agricultura.
- c. Clase B: Mínima calidad, apropiado para utilizar en la agricultura.

Debido a los valores permitidos extremadamente bajos (exigentes) para los parámetros individuales es muy difícil alcanzar estándares de clase A +. El compost producido por biorresiduo colectado separadamente logra la calidad A. La clase B puede ser lograda por el uso apropiado de lodos cloacales/residuales.

Las regulaciones de la Norma Austriaca OE-ÖNORM S-2022 son para compostaje de material vegetal los cuales poseen una conductividad eléctrica (C.E.) muy baja, por tanto el resultado de compostaje con otro tipo de materiales será de difícil cumplimiento ( $\leq 0,02$  dS/ m).

### 2.2.2 Norma chilena.

Según la norma técnica chilena NCh2880.c2004 se establecen los siguientes criterios: temperatura, humedad, conductividad eléctrica, relación carbono/nitrógeno (C/N), pH, materia Orgánica, toxicidad en plantas y presencia de semillas viables de malezas.

De acuerdo a la norma chilena, se clasifican 3 clases de compost:

- a. Compost Clase A: Producto de muy alta calidad. Este producto no representa restricciones de uso.
- b. Compost Clase B: Producto de mediana de calidad. Este producto presenta ciertas restricciones.
- c. Compost inmaduro o subestándar: Materia orgánica que ha pasado la etapa mesófila y termófila del proceso de compostaje, pero que no ha madurado adecuadamente y debe ser mezclado para evitar producir hambre de nitrógeno.

### 2.2.3 Norma mexicana.

La norma NMX-AA-180-SCFI-2018 establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales

Asimismo define macronutrientes aquellos minerales que la planta requiere en mayor proporción para cubrir sus necesidades fisiológicas y completar su ciclo de vida. Se consideran macronutrientes básicos: Nitrógeno, Fósforo, Potasio; y macronutrientes secundarios: Calcio, Magnesio y Azufre

Para los macronutrientes básicos Nitrógeno, Fósforo y Potasio indica que en porcentaje de materia seca (%MS): de 1 % a 3 % en cualquiera de ellos y su suma  $\leq 7$  %: debe portar

la leyenda “Composta - mejorador de suelo orgánico”. Si cualquiera excede el 3 % o la suma es mayor a 7 % debe portar la leyenda “Fertilizante orgánico” y se debe indicar las cantidades para cada macronutriente.

#### 2.2.4 Legislación Peruana.

##### **a.) Ley N° 27314: Ley General de Residuos Sólidos:**

Dispone como objeto establecer derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos sanitaria y ambientalmente adecuada con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.

En ese sentido, el inciso 8 del Artículo 44° indica que es obligación de las autoridades competentes adoptar medidas y disposiciones que incentiven la inversión en programas de investigación, desarrollo tecnológico y capacitación aplicada para la gestión y manejo de los residuos sólidos.

##### **b.) Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario (D.S. N° 016-2012-AG):**

En el inciso 1 del Artículo 27° se menciona que los restos vegetales de cultivos o cosecha pueden ser reaprovechados y el compostaje es una opción de valorización para los residuos agrícolas donde estos restos vegetales se usan como estructurantes de aporte de carbono.

El inciso 1 del Artículo 29° menciona que los residuos de establecimientos de crianza de animales mayores (bovinos, porcinos, ovinos, camélidos sudamericanos domésticos, caprinos y équidos) para el caso de las deyecciones o excretas deben tener un tratamiento mediante compostaje, secado artificial u otros, con la finalidad de transformarse en un producto orgánico estable, con características óptimas para su utilización en cultivos agrícolas.

##### **c.) Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que Aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos:**

El Artículo 2° menciona con respecto a los residuos generados que se prefiere la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, entre las cuales se cuenta la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras alternativas siempre que se garantice la protección de la salud y del medio ambiente.

En el Artículo 37° menciona la valorización, la cual constituye una alternativa de gestión y manejo que debe priorizarse frente a la disposición final de los residuos. Esta incluye las actividades de reutilización, reciclaje, compostaje, valorización energética entre otras alternativas, y se realiza en infraestructura adecuada y autorizada para tal fin.

En el título “Disposiciones Complementarias Transitorias”, segundo subtítulo se refiere al INACAL (Instituto Nacional de la Calidad) el cual debe priorizar a través de un programa especial, la aprobación de normas técnicas peruanas (NTP) relativas a la gestión, manejo y diversas actividades comprendidas en la valorización de los residuos sólidos, tales como la reutilización, reciclaje, compostaje, valorización energética, entre otras.

### **2.3 Compost.**

La degradación biológica controlada de residuos es una práctica documentada desde el siglo I, el producto resultante ha sido utilizado como fertilizante por los agricultores desde ese entonces. Por lo tanto existen ciertas pautas a tomar en cuenta para que se asegure una correcta proliferación microbiana y por lo tanto una eficiente mineralización de la materia orgánica al final del proceso (Cronje *et. al.*, 2003). El compostaje ocurre de manera espontánea si los residuos tienen una buena ventilación y aireación, además de mantener una humedad sobre el 50 por ciento. El compostaje proporciona un material que se puede comercializar más fácilmente que los desechos de establos sin procesar (Wheeler *et. al.*, 2009). Por lo tanto, el objetivo del compostaje es alcanzar un fertilizante de fácil asimilación para los cultivos, eliminar elementos nocivos aun presentes en los residuos a compostar y mejorar la calidad del suelo incorporando un compost estable y nutricionalmente rico (Negro *et. al.*, 2000).

Como proceso artificial controlado se diferencia del proceso natural carente de aireación y ventilación. El compostaje requiere un tiempo mínimo para que los microorganismos presenten cumplan su función de degradación, Por tanto, un compostaje necesita controlar ciertos factores para culminar su proceso como un material orgánico estabilizado y al mínimo costo.

El compost terminado es un estiércol parcialmente degradado y es más estable orgánicamente, presentando una menor amenaza de contaminación. Su textura más fina, potencial fertilizante y materia orgánica disponible lo hacen deseable como una enmienda para suelo cultivable. El compostaje reduce el volumen inicial de los materiales en un 40 a

70 por ciento. El estiércol de caballo, con un material vegetal asociado, es casi perfecto para el compostaje porque tiene niveles apropiados de material nitrogenado y material de lecho a base de carbono (Wheeler *et. al.*, 2009).

### 2.3.1 Propiedades del compost.

Desde una visión ecológica e industrial, el compostaje tiene como ventaja el reciclaje de diversos tipos de residuos, evitando una mayor contaminación ambiental e integrando un producto útil la cadena de valor agrícola. El estiércol compostado libera alrededor del 50 por ciento de sus nutrientes en la primera temporada y un porcentaje decreciente en los años siguientes. Esto significa que durante varias temporadas se puede necesitar poco fertilizante de cualquier tipo (Gershuny *et. al.*, 1992).

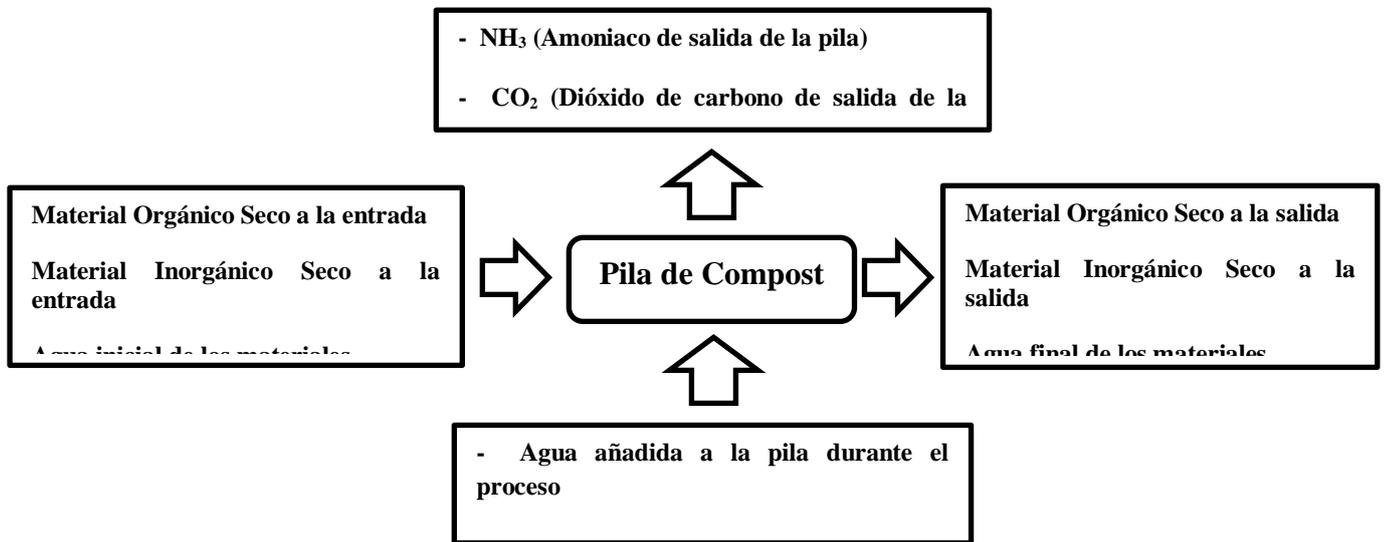
Según Negro *et. al.* (2000) las propiedades del compost se pueden describir de la siguiente manera:

- a.) Propiedades físicas: Brinda estabilidad, aumenta la permeabilidad gaseosa y mejora la capacidad de retención de agua del suelo agrícola.
- b.) Propiedades químicas: La materia orgánica integra al suelo macronutrientes y micronutrientes así como compuestos húmicos, mejorando capacidad de intercambio de cationes del suelo.
- c.) Actividad biológica: Aporta energía y nutrientes para los microorganismos lo cual mejora la fertilidad del suelo.
- d.) Manejo de estiércoles: Al transformarse en compost reduce su peso, volumen y porcentaje de humedad lo que beneficia su almacenaje sin olores ni presencia de moscas. Todo el año puede ser aplicado al suelo lo que reduce las pérdidas de nitrógeno y disminuye el impacto ambiental al suelo.
- e.) Mejora la aplicación al suelo: El contenido de nitrógeno tiene una forma menos susceptible de ser lixiviado y perder amonio. Se reduce la relación carbono/nitrógeno a niveles óptimos para su uso como fertilizante. Las altas temperaturas durante el proceso de compostaje disminuyen la viabilidad de semillas de malezas presentes en el estiércol.
- f.) Destrucción de patógenos: La eliminación de microorganismos patógenos debido las altas temperaturas reduce a niveles permisibles para ser utilizado como abono orgánico.

### 2.3.2 Fases del proceso de compostaje.

El compostaje puede ser definido como la mineralización y humificación de parte de las sustancias orgánicas presentes en el sustrato mediante reacciones biooxidativas por poblaciones microbianas, estas reacciones ocurren bajo condiciones controladas durante un periodo de tiempo definido y corto. (Laich, 2011).

Según Eweis (1999), el compostaje es un proceso que en presencia de oxígeno los microorganismos transforman mediante oxidación las estructuras de carbono a dióxido de carbono y agua. Nunca se completa el proceso de oxidación ya que una porción del material orgánico no es biodegradable



**Figura 1:** Representación esquemática del balance de materia en el compostaje, (Bueno *et. al.*, 2008).

Durante el proceso de compostaje, las poblaciones de microorganismos se suceden conforme son capaces de degradar la materia orgánica del residuo. Describir esta sucesión de microorganismos es complejo ya que las comunidades cambian durante el periodo del compostaje debido a factores como la temperatura, contenido de nutrientes, presencia de oxígeno, humedad, pH, etc. De los factores anteriores mencionados, la temperatura es el que mejor describe la actividad microbiana por etapas el proceso de compostaje (Laich, 2011).

### **2.3.2.1 Etapa mesotérmica**

En los residuos orgánicos previos al compostaje se encuentran una gran variedad de especies, principalmente hongos filamentosos también conocidos como mohos y bacterias mesófilas acidificantes. (Riddech *et. al.*, 2002).

Gran diversidad de especies de hongos filamentosos desarrolla actividad metabólica cómodamente a esta temperatura inicial (Hansgate *et. al.*, 2005), mientras que los Actinomycetes (bacterias filamentosas) evolucionan en menor grado que otro tipo de bacterias y hongos, por lo que compiten deficientemente en la obtención de nutrientes disponibles en el medio. La familia Nocardiaceae es la que mejor se desenvuelve durante esta etapa (Laich, 2011).

Con respecto a las bacterias presentes en esta fase podemos encontrar una gran diversidad de familias, estas pueden alcanzar los 100 millones de células en cada gramo de residuo. El género *Bacillus* es uno de los grupos bacterianos preponderante durante esta etapa y mientras no se exceda los 50°C. Sobre ese grado de temperatura comienza a mermar su actividad (Laich, 2011).

### **2.3.2.2 Etapa termofílica**

Esta etapa también es muy importante pues permite alcanzar los siguientes objetivos:

Limpeza de residuos, producto de la eliminación de microorganismos patógenos (*Escherichia coli* y *Salmonella spp*), debido a las elevadas temperaturas sobre los 55°C así como desactivación de simiente de malezas alrededor de los 60°C (Docampo, 2013), huevos de helminto y esporas de hongos fitopatógenos presentes el material inicial, (F.A.O., 2013).

Sobre los 60°C predominan familias de esporas y actinobacterias capaces de descomponer ceras, hemicelulosas y otros compuestos complejos de Carbono. Según la naturaleza de los materiales de entrada, esta fase puede prolongarse algunos días o incluso meses, debido a las condiciones climáticas y otros factores. Es importante recalcar que este grupo de microorganismos actúan modificando el nitrógeno liberado en amoníaco lo que provocará un aumento del pH de la pila (F.A.O., 2013).

A estas temperaturas, parte de los microorganismos mesófilos eliminados, mientras que las bacterias, hongos y actinomycetes termófilos o termotolerantes se desarrollan eficientemente (Waksman, *et. al.*, 1993).

No es recomendable que durante la etapa termófila la temperatura exceda los 70-75 °C pues la mayoría de las especies de microorganismos no puede sobrevivir, con la consiguiente desactivación del proceso de descomposición (Docampo, 2013).

### **2.3.2.3 Etapa de estabilización**

Al transformarse casi toda la materia orgánica se inicia el descenso de la temperatura y los microorganismos mesófilos vuelven a actuar degradando la celulosa y lignina remanente produciendo sustancias húmicas, el pH se acerca a la neutralidad y disminuye y el requerimiento de oxígeno (Sánchez, 2013). Dicho esto, se puede inferir que finalizada la fase termófila, el compost estabilizado puede ser idóneo como fertilizante agrícola (Iglesias, 2019).

### 2.3.3 Madurez y estabilización del compost.

Compost maduro se conoce como el adecuado para el desarrollo de las plantas y usualmente se determina por su grado de humificación. La madurez depende del destino final del material, por lo que se debe realizar una evaluación que defina hacia que uso está orientado (Barrena 2006). Si bien puede decirse que una evaluación de crecimiento y desarrollo plantas es la manera más indicada para definir el grado de madurez, los resultados encontrados por estos métodos no son concluyentes (Brewer *et. al.*, 2003).

Mientras tanto la estabilidad del compost define la situación actual del material; es una cualidad neutral parcialmente sencilla de valorar y cuantificar (Barrena, 2006). Es el porcentaje de descomposición de la materia orgánica que se define en función de la acción microbiológica y se analiza mediante mediciones respirométricas o por la cantidad de calor liberado debido a la actividad de los microorganismos (Iannotti *et. al.*, 1994).

## **2.4 Factores físicos que influyen en el proceso de compostaje.**

### 2.4.1 Temperatura.

El registro de la temperatura aporta datos de la eficiencia en el progreso del compostaje, se ha observado que mínimos cambios de temperatura alteran la actividad microbiana que otros parámetros como pH, relación C/N o humedad. La norma mexicana (NMX-AA-180-SCFI-2018) indica que se ha de registrar la temperatura durante los 28 días iniciales. Las temperaturas encontradas indican que el compostaje se está llevando de manera adecuada.

Gracias a la temperatura se puede definir las tres fases de descomposición aeróbica: la fase mesófila inicial, menor a 45°C y que finaliza produciendo ácidos orgánicos; la fase termófila mayor a los supera los 45°C y fase mesófila final o de maduración, considerando finalizado el compostaje al regresar de nuevo la temperatura inicial. (Bueno, 2008). A su vez, la fase maduración tiene dos fases: la primera de enfriamiento desde los 40°C hasta alcanzar la temperatura ambiental, y la segunda conocida como fase de estabilización que a temperatura ambiente tiene reducida actividad microbiana y el arribo de organismos superiores (Soliva, 2001).

Ekinci *et. al.*, (2004) indica que los microorganismos que se adaptan a cierta temperatura resultaran beneficiados con materia orgánica, la cual al ser degradada libera energía en forma de calor. Este aumento calórico provoca variaciones en la temperatura de la pila así como los demás actores involucrados: del volumen y masa de la pila, de la condición ambiental y del tipo de aireación a la que es sometida.

#### 2.4.2 Humedad.

Es fundamental la presencia de agua para el desenvolvimiento de las actividades metabólicas de los microorganismos, ya que es usado como transporte de nutrientes solubles para las células y demás productos residuales que se decantan en el lixiviado. Es ideal para el desarrollo microbiano que la humedad se encuentre entre el 50 y 70%, si es menor al 30% la actividad biológica decrece considerablemente y si supera 70% el agua el aire es desplazado de los poros formados entre partículas disminuyendo el intercambio de oxígeno y originando anaerobiosis. Los efectos de la anaerobiosis son malos olores y reducción en la velocidad del proceso (Márquez, 2008).

Según Miyatake *et. al.* (2006) es necesario que la humedad de la masa no ocupe por completo los espacios de la masa compostable, a fin que permita la circulación tanto del oxígeno como otros gases producidos por actividad microbiana. Por lo tanto, la humedad durante el periodo de compostaje de la pila ha de encontrarse alrededor del 40 % y 60 %, salvo casos inusuales y concretos (NMX-AA-180-SCFI-2018).

#### 2.4.3 Tiempo.

El tiempo de compostaje obedece a varios factores, los materiales presentes en la pila se degradan hasta que todos los nutrientes liberados sean consumidos por los últimos microorganismos presentes y todo el carbono haya sido transformado a CO<sub>2</sub> (Ocampo *et. al.*, 2002).

Tellez *et. al.* (2019) menciona que la bosta de caballo (sólidos y orines de caballo mezclados con cascarilla de arroz), muestra señal de estabilización a cuatro meses de iniciado el proceso por un método aeróbico semejante a compostar. El resultado fue un material estable alto en porosidad y capacidad de retención de agua intermedia con microorganismos fijados, el cual puede ser usado posteriormente como ingrediente de mezcla con otros residuos orgánicos sencillos de degradar.

#### 2.4.4 Volteo y agitación.

La aireación es de suma importancia ya que se le atribuye entre el 32 y el 46% de los costos totales. Asimismo, Para la medición de la concentración de oxígeno se necesita alta inversión en equipos especializados, aunque se puede interpretar de manera indirecta mediante el control de la temperatura y humedad (Kulcu *et. al.*, 2004). La aireación reducida induce la aparición de microorganismos anaeróbicos, lo cual provoca retraso en la degradación de materiales, generación de H<sub>2</sub>S y generación de malos olores (Bidlemaier, 1996). Un exceso en la ventilación podría inducir a una acelerada desecación reduce la actividad metabólica de los microorganismos de la pila (Zhu, 2006).

El mezclado manual se realiza con pala u otras herramientas para voltear el material mientras que el mezclado mecánico se realiza utilizando una máquina volteadora. Para el mezclado manual es necesario el trabajo de un operario, lo cual reduce costos pero la eficacia del mezclado es reducido. La variación de temperaturas entre distintos puntos y el tamaño de la pila influyen en la consideración al decidir la constancia en el volteo. Según la Norma Chilena N° 2880 (2004) de 45° C a 50°C durante 12 días consecutivos es un indicativo para poder hacer el volteo, distribuyendo el calor generado a todos los niveles logrando que los estratos superiores que presentan bajas temperaturas se expongan a las altas temperaturas de los estratos inferiores (Silva *et. al.*, 2003).

#### 2.4.5 Tamaño de partículas de los residuos orgánicos.

La dimensión de las fracciones del material inicial incide en las características del flujo, fricción interna, la velocidad de las reacciones bioquímicas, la densidad, la transferencia de oxígeno y las fuerzas de arrastre de los materiales (Silva *et. al.*, 2003).

Si bien el tamaño reducido de las partículas aumenta la superficie de contacto para la degradación, igualmente se aminora la distancia entre partículas y crecen las fuerzas de fricción por lo que se estanca la difusión de oxígeno dentro de la pila y la expulsión de dióxido de carbono al ambiente, esto trae como consecuencia la reducción del crecimiento

microbiano y puede provocar un colapso de las poblaciones emergentes (Haug, 1993). Mientras tanto, partículas de mayor proporción generan porosidad abundante y una constante pérdida de humedad, reducido intercambio de oxígeno y otra vez reducción de la actividad microbiana (Silva *et. al.*, 2003).

Para considerar óptimamente el tamaño de partícula según Haug (1993) debería ser de 1 a 5 cm., Kiehl (1985) indica entre 2 a 5 cm. y Tchobanogolus *et. al.* (1993). 2,5 a 2,7 cm.

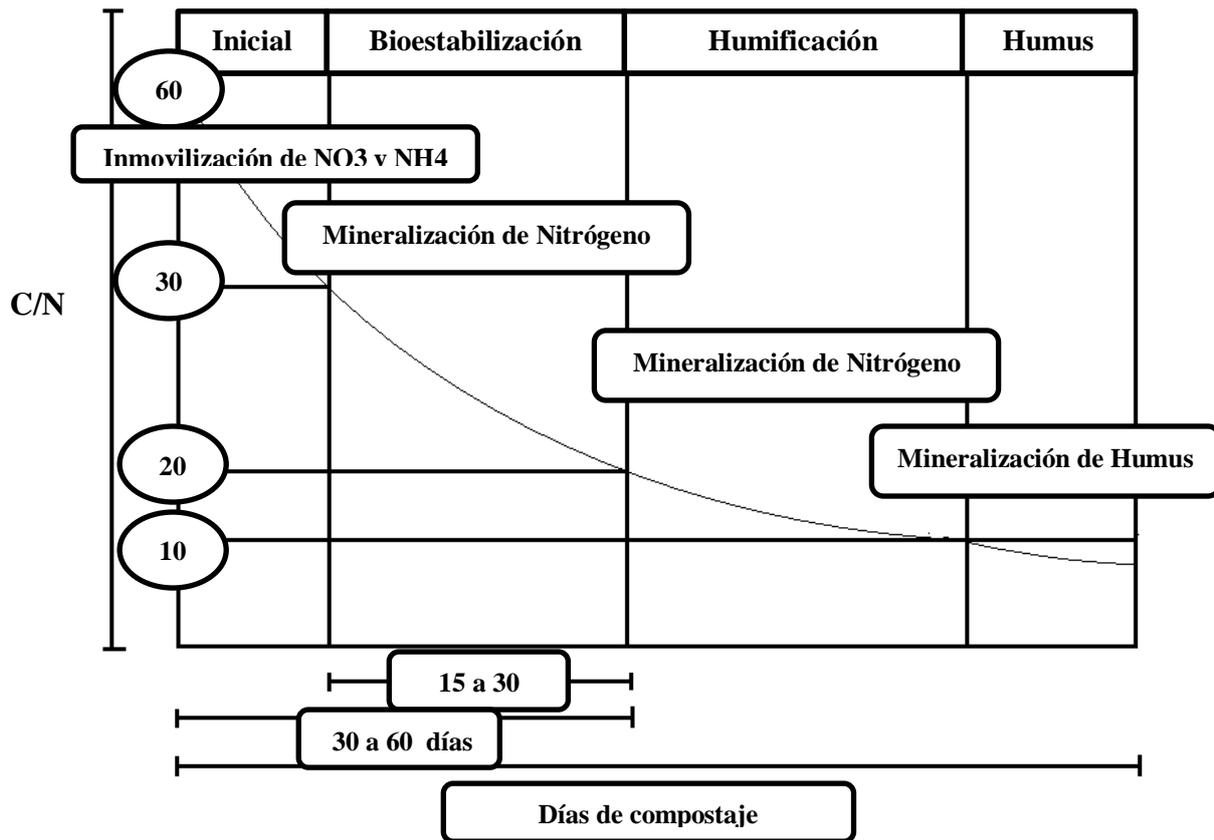
## **2.5 Factores químicos que influyen en el proceso de compostaje.**

### 2.5.1 Relación carbono /nitrógeno.

Durante la evolución del compostaje, el carbono es el elemento primordial en la obtención de energía y estimulador de los procesos metabólicos, en tanto el nitrógeno es usado como pilar básico de la elaboración de material celular, es por ello que la relación carbono/nitrógeno (C/N) es uno de los factores resaltantes en el cálculo nutricional del compostaje (Bueno, 2008). Si la relación óptima C/N inicial está comprendida de 25 a 35 se asume que los microorganismos utilizarán entre 15 a 30 partes de carbono y una de nitrógeno (Soliva, 2001). Si supera los 35, el compostaje se extiende en el tiempo puesto que el exceso de carbono debe oxidarse y la relación C/N alcanza una tasa adecuada para las actividades metabólicas. Si se inicia con una relación C/N menor a 25 se pierde cantidades notables de nitrógeno en forma de amoníaco. Al encontrar una relación C/N elevada, se puede aminorar retirando celulosa, (retirar el carbono) o agregando nitrógeno (Negro *et. al.*, 2000).

En el caso de que el mayor contenido sea de nitrógeno es posible que se solubilice y pierda en forma de amoníaco gaseoso, lo cual no es apropiado pues se desperdicia este preciado elemento (Miyashiro 2014). La relación C/N esperada al finalizar un compostaje exitoso cerca al valor 10, semejante al humus. Se suele aceptar como compost estable o maduro cuando la relación C/N es menor a 20, es una consideración importante más no idónea. La Figura 2 demuestra el progreso de la relación C/N del compostaje (Kiehl, 1985):

La emanación de amoníaco es provocada por amonización del nitrógeno orgánico (proteínas, aminoácidos, etc.) durante la etapa termófila (Jiang *et. al.*, 2018). Los nitratos no presentes en la etapa termófila por la elevada temperatura y concentración de amonio que inhiben las bacterias nitrificantes se originan en la etapa mesófila al oxidarse el nitrógeno amoniacal sobrante (Huang *et. al.*, 2004 y Morisaki *et. al.*, 1989).



**Figura 2:** Evolución característica de la relación C/N durante y después del compostaje, (Kiehl, 1985).

### 2.5.2 Oxigenación y aireación.

Según Silva *et. al.* (2003), la dotación de aire durante el proceso de compostaje tiene 3 funciones principales:

1. El requerimiento de oxígeno es fundamental para la degradación de la materia orgánica, imprescindible para las actividades del metabolismo aerobio y oxidación de ciertas moléculas orgánicas del material en fermentación, por lo anterior dicho es un agente necesario para la calidad final del compost. Al evaluar el contenido de oxígeno el compostaje presentara tasas cambiantes de aire en sus zonas porosas: la más superficial tiene similar contenido de oxígeno que el propio aire, pero al profundizar encontramos reducido el contenido de oxígeno en tanto que se incrementa el contenido de dióxido de carbono al grado que a más 60 cm dentro de la pila se encuentra que el oxígeno está en un promedio de 1.25 por ciento (Ekinci *et. al.*, 2004).
2. Regularizar el porcentaje de humedad del material compostable mediante el secado pues permite que el aire abastecido desplace parte de la humedad asegurando el secado. Esta Actividad es resaltante al utilizar componentes de cuantiosa humedad por ejemplo

lodos de aguas residuales. Durante el avance en la madurez del compostaje ya no es necesario suministrar oxígeno puesto que el exceso de aire podría dar como efecto el uso de compuestos húmicos formados y su acelerada mineralización (Tomati *et. al.*, 2000).

3. Traslado del calor liberado al descomponerse la materia orgánica como método de regulación de la temperatura. Una generación incontrolable de calor afecta la actividad microbiológica durante la evolución de las etapas del compost, ya que depende del desenvolvimiento de todo un ecosistema microbiano, por ejemplo es conocido que sobre los 70 °C las bacterias termófilas ya no actúan de manera efectiva por lo que termina mermando en la calidad del ciclo y sus productos finales.

## **2.6 Factores fisicoquímicos que influyen en el proceso de compostaje.**

### 2.6.1 Potencial de hidrogeno (pH).

El pH tiene una atribución concreta en el compostaje ya que su función concierne al metabolismo dinámico las poblaciones microbianas, la mayoría de investigaciones usan esta variable para comprender mejor el progreso del compostaje. Para su medición en laboratorio se utiliza un extracto acuoso obtenido de las muestras de campo, Sundberg *et. al.*, (2004) sin embargo indica que esta es sólo un acercamiento al pH real de la pila. Con respecto al pH del material de inicio ha de regularizarse cerca a la neutralidad. La utilización de pulpas de cítricos aminoran el pH a nivel ácido retrayendo la evolución natural del proceso, en tanto que materiales como los estiércoles presentan niveles básicos de pH por lo que el resultado será la pérdida de nitrógeno en forma de amonio en el producto final (Silva, 2003).

Al iniciar el compostaje, en la primera fase mesófila el pH disminuye cuando las poblaciones microbianas degradan la materia orgánica más frágil, liberándose ácidos orgánicos. Esta reducción inicial del pH puede ser muy marcada al presentarse anaerobiosis, puesto que se incrementa la concentración de ácidos orgánicos. En la fase termófila por el contrario se observa alcalinización del medio, al descender el contenido de ácidos orgánicos y la aparición de amoníaco debido a la degradación de proteínas (Sánchez-Monedero, 2001). Y finalmente en la segunda fase mesófila el pH se orienta hacia la neutralidad por la generación de compuestos húmicos los cuales tienen propiedades buffer (Márquez, 2008).

## 2.6.2 Conductividad eléctrica.

La concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato se mide mediante la conductividad eléctrica (C.E.). La C.E. mide la suficiencia de un material para conducir corriente eléctrica, el valor tiene a subir cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que a mayor C.E., será mayor la concentración de las sales (Barbaro *et. al.*, 2014).

La C.E. es un aspecto muy importante que pocas veces se toma en cuenta. La acumulación de sales puede ser perjudicial para el suelo una vez aplicado este producto como abono. Igualmente utilizar un compostaje con alta concentración de sales puede causar problemas durante la humificación realizada por las lombrices (Tinco *et. al.*, 2016).

Bueno *et. al.* (2008) indica que conforme evoluciona el compostaje la a C.E. tiende generalmente a incrementarse si la materia orgánica se mineraliza, lo cual eleva la concentración de nutrientes. En algunos momentos del proceso se observan descensos, debido a pérdidas por lixiviación originado por la humectación excesiva de la masa. Para añadir compost a un suelo, este debe ser proporcional a su C.E. Al elevarse la concentración de sales solubles puede limitar la evaluación del test de fitotoxicidad para la definir la madurez del compost (Iglesias, 2019).

## **2.7 Factores biológicos que influyen en el proceso de compostaje.**

### 2.7.1 Los materiales orgánicos.

Es de carácter primordial conocer el contenido de materia orgánica de los compostajes ya que es determinante al definir su calidad agronómica (Kiehl, 1985). Con respecto a los materiales difíciles de degradar es importante agregar un residuo de considerable cantidad de materia orgánica y de fácil biodegradación. Usualmente se utiliza estiércol de aves, equinos, etc. También se puede agregar material vegetal como ramas y hojas de árboles y malezas. (Eweis *et. al.*, 1999).

### 2.7.2 Degradación del material orgánico.

Dentro de los microorganismos beneficiosos encontramos aquellos que biotransforman la materia orgánica en un medio aerobio por lo cual obtenemos un producto de calidad, también encontramos microorganismos degradadores de materiales contaminantes que logran una biodescontaminación del compost y finalmente los microorganismos que

ofrecen una acción opuesta hacia los patógenos, por lo que logran la higienización del compost (Cabrera *et. al.*, 2016).

En tanto transcurre la degradación del material compostable, los microorganismos actores en la degradación de la materia orgánica elevan el calor y por tanto elevan la temperatura, esto provoca en la flora activada cambios tanto de manera cualitativa como cuantitativa. (Tinco *et. al.*, 2016). Dentro de los microorganismos indeseables que afectan dañina al proceso o a las propiedades del compost final encontramos los que generan malos olores y los patógenos. (Moreno *et. al.*, 2008).

Según Laich (2011) podemos encontrar los siguientes microorganismos asociados al proceso de compost:

a.) Bacterias:

Comprenden entre 80 a 90 por ciento de los microorganismos existentes durante el compostaje, por lo que son el grupo con mayor población. Es por ello este grupo presenta una gran variedad de actividades metabólicas involucradas, observándose un amplio espectro de enzimas reductoras de una compleja variedad de compuestos orgánicos. Al cuantificar el total de bacterias aerobias, podemos inferir de algún modo el índice de actividad biológica. Las *Pseudomonas* fluorescentes destacan particularmente puesto que se constituyen por especies protectoras de patógenos actuando como biocontrol de plantas y como estimuladoras del desarrollo radicular. Un compost maduro con una alta población de estas familias de bacterias será muy beneficioso para el suelo donde sea depositado.

b.) Actinomicetos:

Es muy importante el rol de los Actinomicetos durante el proceso de compostaje puesto que modifican el material orgánico al utilizar sus capacidades enzimáticas para romper moléculas orgánicas complejas como lignina, celulosa, etc. Además, gran variedad de estas especies que actúan en el proceso de degradación aeróbica son tolerantes a la temperatura que llega a alcanzar el compostaje. Es por ello necesario reconocer su desenvolvimiento y cantidad puesto que al evaluar el producto final es conocido que los Actinomycetes tiene la propiedad de controlar la microbiota rizosférica mediante la liberación de antibióticos y otros compuestos beneficiosos.

c.) Hongos Filamentosos:

Comprenden una familia muy grande, se encuentra comprometido en el proceso activamente al degradar en presencia de oxígeno el material orgánico por su propiedad lignocelulolítica. Además, al estar presente en el suelo de manera natural como parte de la microbiota se desempeñan activamente en la degradación y solubilización de compuestos orgánicos complejos e inorgánicos. Sin embargo parte considerable de estas especies provocan enfermedades a las plantas. Por lo tanto, es fundamental definir de una manera estricta la representación de este grupo de microorganismos al utilizar el producto final como sustrato.

## 2.8 Factores sanitarios que influyen en la calidad del producto final.

Los microorganismos en conjunto implicados en el proceso de compostaje pueden provocar un efecto tanto positivo como negativo (Cabrera *et. al.*, 2016). La eficiencia del proceso en las pilas aireadas estáticas para aminorar el contenido de patógenos es mayor que en las elaboradas con el método volteo según Bustamante *et. al.* (2008), este mismo autor indica que las temperaturas relativamente altas (50-60 °C) alcanzadas producen una notable disminución de algunos grupos microbianos, como los coliformes totales y fecales (*E. coli*). Según Torres *et. al.* (2007) el compostaje requiere de ciertas condiciones ambientales controladas que faciliten el incremento de la temperatura (55-60 °C) para la destrucción de parásitos. En la Tabla N° 1 se observa los valores límites respecto a microorganismos y huevos de helmintos de acuerdo a 3 normas técnicas internacionales (Córdova, 2007):

**Tabla 1:** Valores límites respecto a huevos de helmintos, microorganismos y virus entérico de acuerdo a 3 normas técnicas internacionales de compostaje

Parametro	Valor límite*		
	(U.S.A.) E.P.A. 40 CFR 503 (1994)	(Mexico) NTEA-006- SMA-2006	(Chile) NCh 2880 (2004)
<b>Hongos fitopageticos</b>	--	Ausente	--
<b>Huevos de helmintos (viables)</b>	< 1,0 HE/ 4 g	< 10 HE/ g	< 1,0 HE/ 4 g
<b>Coliformes</b>			
<b>Clase A</b>	< 1000 NMP/g	Menor a 1000	Menor a 1000
<b>Clase B</b>	<2X10 <sup>6</sup> NMP/g	NMP/g	NMP/g
<b>Salmonella spp</b>	<3 NMP/ 4g	<3 NMP/ 4g	3 NMP/ 4g
<b>Virus entérico</b>	< 1 UFP/ 4g	--	--

Nota: (\*) En base a Peso Seco; NMP: Número Más Probable; UFP: Unidad de Formación de Placas.

FUENTE: Córdova (2007).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Ubicación.

- Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR): Instalación de los tratamientos y análisis físicos.
- Laboratorio de Servicios de Análisis Químico de la Facultad de Ciencias (LASAQ): Caracterización inicial de los materiales para compostaje.
- Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias: Análisis fisicoquímicos.
- Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía. (LASPAF): Análisis químicos.
- laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" de la Facultad de Ciencias: Análisis microbiológico.

#### 3.2 Duración.

El proceso de compostaje duró 90 días: desde el 18 de noviembre del año 2019 hasta el 15 de febrero de 2020. Las labores de acondicionamiento de las instalaciones se efectuaron dos semanas antes de iniciado el experimento.

#### 3.3 Condición climática.

La zona de La Molina, donde se realizó la investigación, corresponde al desierto subtropical árido caluroso según el sistema modificado de Koopen (Sarmiento, 1999). Las temperaturas promedio en los meses evaluados, información recolectada por el observatorio meteorológico Alexander Von Humboldt y recabada por SENAMHI (2020):

**Tabla 2:** Temperaturas promedio entre noviembre de 2019 y febrero de 2020

Mes	Temperatura (°C)
Noviembre, 2019	19.08
Diciembre, 2019	20.94
Enero, 2020	23.23
Febrero, 2020	24.07

**FUENTE:** SENAMHI, 2020

### 3.4 Materiales a ensayar.

El ensayo físico - químico del estiércol de caballo y del material vegetal se observa en la Tabla 3:

**Tabla 3:** Características de los Materiales Iniciales

<b>Materiales</b>	<b>M.O. %</b>	<b>C% (ms)</b>	<b>N% (ms)</b>	<b>Humedad %</b>	<b>Relacion C/N</b>
<b>Material Vegetal</b>	70.12	40.67	2.69	5.29	15.12
<b>Estiercol de Caballo</b>	77.67	45.05	1.30	10.36	34.65

### 3.5 Disposición de los Tratamientos.

El experimento tuvo 3 tratamientos cada uno de tres repeticiones y un 1 tratamiento Testigo de una repetición. Se preparó cada pila con 500 Kg peso fresco inicial. Las proporciones por material se presentan en la Tabla 4:

Tabla 4. Tratamientos

<b>Tratamientos</b>	<b>Composición</b>	<b>Peso Kg.</b>
<b>Tratamiento 1</b>	52% Estiércol de Caballo	260.0
	48% Material Vegetal	240.0
<b>Tratamiento 2</b>	64% Estiércol de Caballo	320.0
	36% Material Vegetal	180.0
<b>Tratamiento 3</b>	80% Estiércol de Caballo	400.0
	20% Material Vegetal	100.0
<b>Testigo</b>	100% Estiércol de Caballo	500.0

### 3.6 Materiales y equipos.

#### 3.6.1 Materiales y equipos de campo.

- Estiércol de equino, proveniente de la Sección Equinos UNALM.
- Material vegetal picado; proveniente de los parques y jardines de la UNALM, constituido por hojarasca, césped malezas, etc.)
- Bomba de Agua
- Agua de Riego
- 1 carreta
- 1 rastrillo
- 1 lampa
- 1 azadón

- Manguera
- Guantes de Cuero
- Plástico de polipropileno color Azul (2x50)
- Ladrillos
- Balanza
- Balde 20 kg.
- Tamiz metálico
- Termómetro digital de sonda x 30 cm
- Balanza digital comercial de 1 kg.
- Lapicero
- Cuaderno de Apuntes
- Bolsas Ziploc
- Etiquetas

### 3.6.2. Materiales y equipos de laboratorio.

#### 3.6.2.1. Laboratorio del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos de la UNALM (CEMTRAR – UNALM)

- Guardapolvo
- Bandejas de aluminio
- Guantes de nitrilo
- Tapaboca
- Balanza analítica
- Estufa
- Molino de discos
- Balanza analítica (con 0.01 g. de precisión)
- Crisoles
- Mufla
- Desecador
- Cuchara de aluminio

#### 3.6.2.2. Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias

- Guardapolvo
- Guantes de nitrilo
- Embudos de vidrio

- Matraces
- Vasos de precipitado
- Agitador eléctrico
- Magnetos
- Agua destilada
- Papel filtro
- Baqueta de vidrio
- Tubos Falcon
- Papel Toalla
- Conductímetro
- pHmetro
- Cuaderno de apuntes

### 3.7 Metodología aplicada en la elaboración de las pilas.

El método empleado para la preparación del compost fue el “Sistema abierto de pilas con aireación mediante volteo manual” (FAO, 2013).

Una vez realizada la caracterización de los materiales se procedió a encontrar una proporción adecuada de C/N aplicando la fórmula:

$$R = \frac{Q_1 \times (C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2 (C_2 \times (100 - M_2)) + Q_3 (C_3 \times (100 - m_3)) + \dots}{Q_1 \times (N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2 (N_2 \times (100 - M_2)) + Q_3 (N_3 \times (100 - m_3)) + \dots}$$

Siendo Q la cantidad de material a adicionar, C y N: Carbono y Nitrógeno en peso, y M la humedad en peso del material. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5:** Relación C/N por Tratamiento y Testigo

<b>Tratamientos</b>	<b>Relación C/N</b>
Tratamiento 1	25.28
Tratamiento 2	27.62
Tratamiento 3	30.75
Testigo	34.65

### 3.7.1 Limpieza del lugar para la colocación de la pila.

El terreno en gran parte se encontró afirmado, en algunas partes se tuvo que desmalezar nivelar con lampa y rastrillo, luego se cubrió con material plastificado el área destinada para cada pila y se delimitó con ladrillos el área para cada repetición.

### 3.7.2 Recepción de los residuos vegetales y estiércol.

El estiércol de caballo se recogió de la Sección Equinos ubicada en la Unidad Experimental de Zootecnia el cual estaba empacado en sacos de 40 kg, mientras que el material vegetal se tomó de los residuos de jardinería a CEMTRAR provenientes de las áreas verdes de la UNALM.

### 3.7.3 Selección de los elementos inorgánicos.

Dentro del material vegetal se encontró residuos de papel, tela, plástico, cartón, etc., de modo que se procedió a retirar para que no afecte el proceso de compostaje ni reduzca la calidad del producto final.

### 3.7.4 Elaboración de la pila de compostaje.

Se procedió a determinar la densidad de los materiales y así estimar la dimensión de la pila. Con una balanza se separó el material a utilizar para cada tratamiento, de la misma manera se estimó el volumen del material utilizando un balde de 20 litros hallando los siguientes valores para cada uno de los materiales:

- Estiércol de equino: 300 Kg. /m<sup>3</sup>
- Material Vegetal: 80 Kg. /m<sup>3</sup>

Finalmente se determinó que el volumen adecuado que ocuparía cada pila según su tratamiento se indica en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Volumen utilizado para hallar el tamaño de la superficie de las pilas

Tratamientos	Estiercol Equino		Material Vegetal		Total m <sup>3</sup>
	Kg.	m <sup>3</sup>	Kg.	m <sup>3</sup>	
Tratamiento 1	260	0.87	240.00	3.00	3.87
Tratamiento 2	320	1.07	180.00	2.25	3.32
Tratamiento 3	400	1.33	100.00	1.25	2.58
Testigo	500	1.67	0.00	0.00	1.67

Por lo expuesto se concluyó que el mejor tamaño sería una superficie  $2 \times 3 = 6 \text{ m}^2$  y la altura de cada pila de 1.5 m.



**Figura 3:** Distribución de las Pilas



**Figura 4:** Rotulado de Pila

#### 3.7.5 Volteo de la pila de compostaje.

Cada pila se removió de tal forma que se asegure la aireación total durante todo el proceso, evitando la compactación ya que los riegos frecuentes tienden a compactar el sustrato. Los volteos fueron realizados en forma manual cada dos semanas empleando pala y azadón.

#### 3.7.6 Regulación de la humedad.

El riego se realizó manualmente con manguera una vez por semana manteniendo la humedad a un nivel óptimo y constante en el tiempo, considerando que esta se encuentra sujeta a variaciones ambientales y la disponibilidad de agua de riego evitando provocar inundaciones o charcos. El método de campo para probar el contenido de humedad fue la prueba de puño, la cual consiste en agarrar una cantidad del sustrato con el puño de una mano, posteriormente se le aplica fuerza,

#### 3.7.7 Tamizado y pesado de compost.

Pasado el día 90 se efectuó un tamizaje, lo cual permitió obtener una granulometría apropiada para el compost final, luego se pesaron los costales con el material tamizado y todas aquellas partículas que no pasaron por el tamiz, también fueron pesadas por separado para determinar el porcentaje de material no degradado.

### 3.8 Monitoreo y ensayos.

Se realizó un análisis inicial del material vegetal y estiércol de equino para la determinación de pH, conductividad eléctrica (C.E.), porcentaje de Humedad y Relación

de Carbono/ Nitrógeno. Durante los 90 días se realizó el muestreo de las pilas en degradación de la siguiente manera:

- La Temperatura fue medida una vez al día en cada pila.
- Durante el proceso de compostaje se tomó muestras cada 2 semanas por pila para determinar el contenido de Humedad, pH y conductividad eléctrica (C.E.), contenido de carbono y nitrógeno. Las muestras se obtuvieron de manera homogéneas y representativas con el método “Coning and Quartering Procedure” (Binner, 2017), el cual siguió la siguiente secuencia: a) Toma de submuestras en 3 puntos distintos de las pilas b) Mezclado de todas las submuestras. c) Formación de un cono y la división del mismo en cuatro partes similares (1-2- 3-4). d) Separación de dos de las partes (1-3). e) Mezclado de las otras dos partes (2-4) cuidadosamente. f) Formación de otro cono y división en cuatro partes similares (1-2-3-4). g) Separación de dos partes (2-4). h) Mezclado de las otras dos partes (1-3) cuidadosamente. i) Finalmente se procedió a guardar las muestras en frascos correctamente identificados para su posterior análisis.
- Al día 90 del proceso se realizó un muestreo final y análisis para conocer la concentración de fósforo, potasio, microelementos, metales pesados, la enumeración de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* (NMP/g) y conteo de huevos de helmintos.
- Finalmente se realizó la comparación del peso del producto inicial y del producto final y producto final tamizado.



**Figura 5:** Toma de temperatura con termómetro digital de sonda



**Figura 6.** Muestreo en campo con balanza digital.

### **3.9 Variables respuesta.**

#### 3.9.1 Métodos de análisis físicos.

##### **a. Temperatura del Compost.**

La Temperatura se midió introduciendo un termómetro digital de sonda de 30 cm en tres puntos de profundidad en cada pila: a 5 cm en la cara opuesta al área de volteo, a 15 cm en la parte más alta de la pila y a 30 cm en la cara a favor del área de volteo. De estos tres resultados se registró el promedio para elaborar la variación durante los 90 días de la prueba.

##### **b. Materia Seca.**

El análisis de materia seca se efectuó en el Laboratorio del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos de la UNALM (CEMTRAR – UNALM).

Se colocó las muestras frescas en bandejas de aluminio, dos repeticiones por pila muestreada y luego se pesó con balanza analítica el peso inicial. Luego se colocó en la estufa durante 24 horas a 105 °C en la estufa y se fue pesando cada hora hasta encontrar un peso estable del producto secado. Se apuntó el promedio de las dos repeticiones y se lo definió como el porcentaje de materia seca de la pila en ese periodo de 15 días. Luego las muestras secas se trituraron usando un molino de discos con platillos de ágata y de dióxido de zirconio por el tiempo de 2-3 minutos (CEMTRAR, 2018).

Las muestras fueron empacadas y rotuladas para realizar los análisis de pH, C.E., materia orgánica y Relación C/N. Se separaron 20 gramos para pH y C.E., 20 gramos para análisis de materia orgánica y 50 gramos para análisis de nitrógeno.



**Figura 7:** Muestras frescas rotuladas para llevar a la estufa



**Figura 8:** Muestras después de 24 horas de secado a 105 °C en la estufa.

### c. Porcentaje de Humedad.

El valor se halló restando el peso promedio de las dos repeticiones iniciales menos el peso promedio de las dos repeticiones finales lo cual nos dio el porcentaje de agua de los tratamientos durante ese periodo de 15 días (CEMTRAR, 2018).

### d. Rendimiento Final.

Finalizado el periodo de 90 días, se procedió a tamizar los tratamientos y el testigo y se encontró el rendimiento mediante la siguiente fórmula:

$$R (\%) = (Cf / Ci) \times 100$$

Dónde:

**Cf:** peso del compost final (Kg).

**Ci:** peso del compost inicial (Kg).

## 3.9.2 Métodos de análisis físico – químicos.

### a. Potencial de Hidrógeno.

El análisis de pH se realizó en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

La determinación de pH se llevó a cabo mediante una cadena de medición que contiene un par de electrodos (electrodo de gas y electrodo de referencia) donde la parte más sensible es el instrumento de medida y se realizó una sola repetición. Para la determinación del valor de pH se utilizó una muestra seca triturada diluida en agua destilada en una dilución de 1 en 5, posteriormente se colocó en el agitador durante 2 horas (CEMTRAR, 2018).



**Figura 9:** Colocación de muestras en el Agitador



**Figura 10:** Filtrado del líquido resultante de la homogenización de muestras.



**Figura 11:** Cálculo de pH con ayuda de potenciómetro.

### **b. Conductividad eléctrica.**

El análisis de conductividad eléctrica se realizó en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

La determinación de la conductividad eléctrica se llevó a cabo mediante el uso de conductímetro y se realizó una sola repetición. Para la determinación del valor de conductividad eléctrica se utilizó una muestra seca triturada diluida en agua destilada en una dilución de 1 en 5, posteriormente se colocó en el agitador durante 2 horas. (CEMTRAR, 2018).



**Figura 12:** Tubos Falcón con el producto homogenizado.



**Figura 13:** Cálculo de Conductividad Eléctrica con ayuda de conductímetro.

### 3.9.3 Métodos de análisis químicos.

#### a. Materia Orgánica (MO%).

El análisis de materia orgánica se determinó en el Laboratorio del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos de la UNALM (CEMTRAR – UNALM).

Para obtener la cantidad de materia orgánica se realizó el método de pérdida por ignición (Loss on Ignition = LOI abreviaturas en inglés), el cual consiste en oxidar la materia orgánica a 550 °C, producto de esta reacción se emite CO<sub>2</sub> y ceniza. Se pesó 5 g (exacto 0,01 g) de la muestra seca en un crisol de porcelana. El crisol con la muestra se llevó a calcar a 550 °C ± 25 °C hasta obtener un peso constante (aproximadamente después de 5 horas).

El crisol se pesó después de ser enfriado en el desecador. La pérdida por calcinación (= sólidos volátiles (SV)) se calculó según la fórmula siguiente:

$$\text{Pérdida por calcinación} = \text{PC} [\% \text{ MS}] = \frac{(\text{Peso Seco} - \text{Peso Extinguido})}{\text{Peso Seco}} \times 100 \%$$

Se da el resultado en porcentaje (%) de masa seca (MS), con una precisión de un decimal, como un valor medio de dos repeticiones, tomando en cuenta el contenido de agua restante. Se realizaron dos repeticiones.



**Figura 14:** Pesaje de muestras en balanza analítica.



**Figura 15:** Distribución de crisoles en la mufla.



**Figura 16:** Colocación de muestras en la campana de desecación antes de tomar el peso final

### **b. Carbono total (C%).**

Debido a que el laboratorio no cuenta con un equipo para analizar Carbono Orgánico Total (C.O.T.), se evaluó el contenido de carbono aplicando el factor de conversión 0.58. Utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{C. O. T.} = \text{sólidos volátiles} \times \text{factor de conversión}$$

### **c. Nitrógeno total (N%).**

La determinación de nitrógeno total se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina mediante el método de Kjeldahl.

Para determinar el nitrógeno Kjeldahl, se pesó 1 g (exacto 0,01 g) de muestra seca y se colocó en el balón de digestión de 250 ml de capacidad, se adicionó una pastilla de Kjeldahl y 15 ml de ácido sulfúrico concentrado, y se mezcla. Se calentó de 2 a 4 horas (hasta ½ hora después de estar lechosa la masa) a 400 °C para favorecer la descomposición. El tratamiento transforma el nitrógeno de la muestra en ion amonio.

Al enfriarse la muestra, se adicionó 50 ml de agua desionizada y 70 ml de hidróxido de sodio al 33 por ciento para liberar al amoniaco a partir del ion amonio. La muestra digestada se destiló mediante un equipo de destilación por arrastre de vapor de agua y burbujea en el frasco colector conteniendo 30 ml ácido bórico (al 2 %). Se adicionó unas gotas de indicador de Tashiro. Finalmente se procedió a titular la muestra con HCl 0,1 N hasta cambio de color de rojo a verde.

La determinación de nitrógeno en la muestra se calculó según siguiente fórmula:

$$N_{Kjeldahl} [\%MS] = \frac{0.014007 V_{\text{ácido}} 100}{\text{peso}[g] (100 - \text{contenido de agua restante})}$$

Dato:

$V_{\text{ácido}}$  = gasto del ácido clorhídrico (ml)

#### **d. Potasio (K<sub>2</sub>O), y Fosforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) del compost final.**

La determinación de Potasio (K<sub>2</sub>O), y Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en el compost final se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Para el análisis de fósforo se realizó el método del azul de molibdeno. Se realiza la calcinación de la muestra en mufla a 450 °C – 500 °C y se obtiene un residuo del cual se extrae el fósforo del compost por digestión con ácido nítrico o clorhídrico. Seguidamente, se toma una alícuota de 1,0 mililitros de dicha solución clorhídrica; se le agrega solución sulfomolibdica, solución reductora (amino-naftol-sulfónico) y agua destilada para formar un complejo soluble de color azul. Posteriormente se lee la transmitancia a longitud de onda de 650nm y se compara con la curva patrón de fósforo a partir del estándar de 80 miligramos de P/L (Bazán, 1996).

Para el análisis de Potasio se realizó el método de Espectrofotometría de absorción atómica, el método consiste en extraer una solución por digestión con ácido nítrico o perclórico, se adiciona agua destilada y una solución de lantano. Posteriormente se coloca en el equipo de espectrometría de absorción atómica donde la muestra es atomizada por una llama. Al recibir una radiación electromagnética externa, los sólidos se convierten en gas y se atomizan para luego medir la dispersión de la luz que se da en la máquina de plasma (Bazán, 1996).

### **e. Microelementos y Metales pesados en el compost final.**

La determinación de los microelementos presentes y metales pesados en el compost final se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina mediante el método de espectrometría de absorción atómica ya descrito en el análisis de Potasio.

#### **3.9.4 Métodos de análisis microbiológicos y parasitológicos.**

Los análisis microbiológicos y parasitológicos se realizaron en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso” de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Para la enumeración de coliformes totales (NMP/g), enumeración de coliformes fecales (NMP/g) y numeración de *Escherichia coli* (NMP/g) se realizó el método de la Comisión Internacional sobre Especificaciones Microbiológicas para los Alimentos. 1983. 2da Ed. Vol 1 Parte II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia y para el conteo de larvas y huevos de Helminths (N°/4g) se utilizó el método estándar para la recuperación y la enumeración de óvulos de helmintos en aguas residuales, lodos, compost y desechos de desviación de orina en Sudáfrica. (2008), Comisión de Investigación del Agua, Parte 2. Informe de la CMR N° TT322/08.

### **3.10 Diseño estadístico.**

El experimento fue conducido mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos de diferentes proporciones de estiércol considerando tres repeticiones en cada tratamiento. El modelo matemático asociado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, 3$  Tratamiento  
 $j = 1, 2, 3$  Repeticiones

Dónde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta a la  $i$ -ésima ( $i = 1, 2, 3$ ) tratamiento,  $j$ -ésima ( $j = 1, 2, 3$ ) repetición.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\tau_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

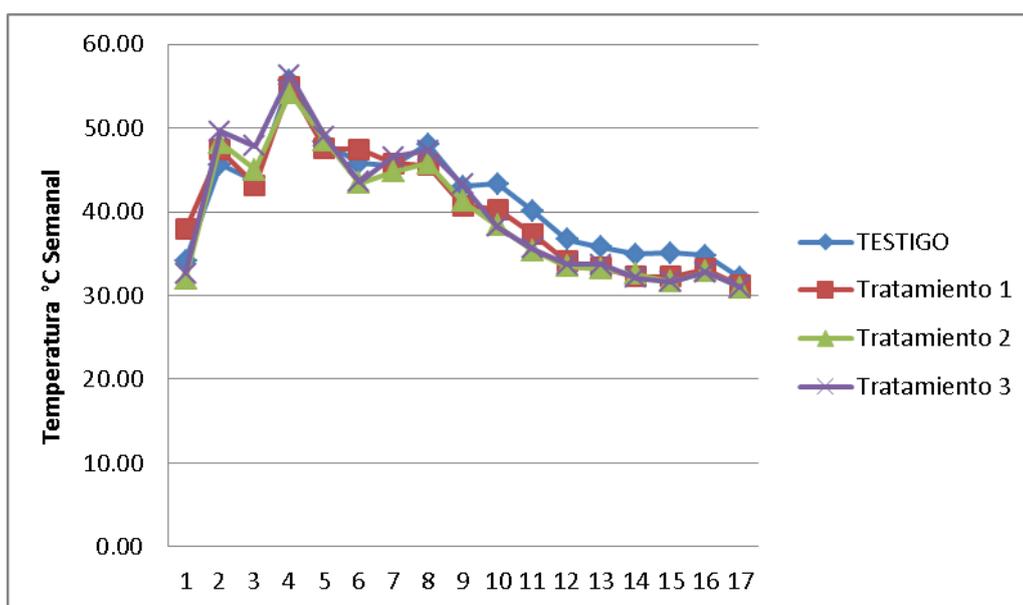
$\varepsilon_{ij}$  = error experimental

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Evaluación de los parámetros físicos.

#### 4.1.1 Variación de la temperatura (°C.).

La temperatura fue evaluada durante 90 días y 30 días adicionales posteriores con el objetivo de describir mejor el proceso en que se presentaban las fases del compostaje y estabilización respectivamente. El momento de estabilización de los tres tratamientos y el testigo llegó a los 85 días de iniciado el proceso. Se observa un descenso en la temperatura del 13 por ciento posterior a cada volteo durante los primeros 30 días por el fenómeno de aireación y ventilación.



**Figura 17:** Variación semanal de la temperatura (°C) en los tratamientos.

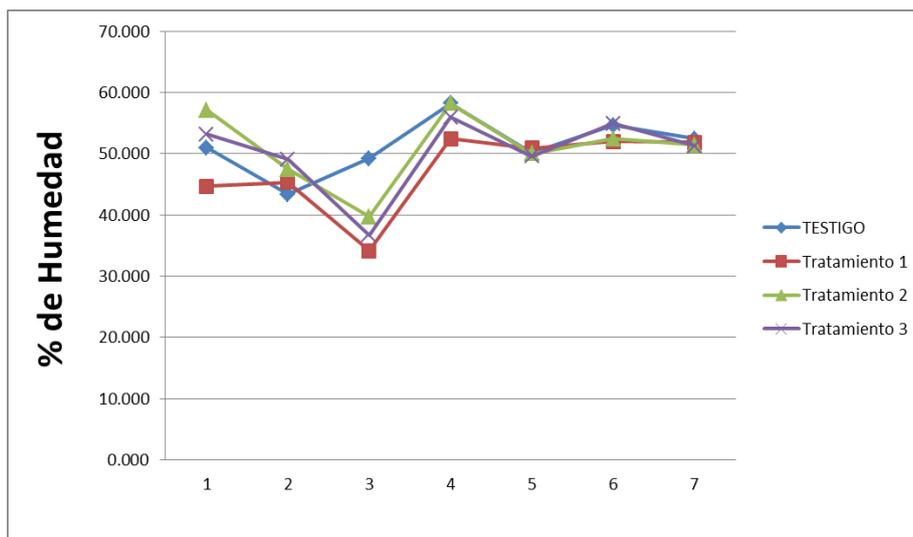
Se observa en la Figura 17 que a 24 horas de instaladas las pilas ya se superó la temperatura de la etapa mesófila, marcando un promedio de 47.6 °C para los 3 tratamientos. En los primeros 15 días se encontró que las pilas se mantienen superando los 40 °C, indicador que demuestra su establecimiento en la etapa termófila durante esta parte del proceso. Para esta etapa se acelera la actividad metabólica de los microorganismos termófilos que se ocupan de degradar la materia orgánica (Leal, 1981).

Entre el día 30 y 60, se observa un descenso gradual del 4.6 por ciento promedio de temperatura en cada tratamiento, pero manteniéndose aún sobre los 40 °C, garantizando la efectiva desaparición de agentes patógenos y semillas de malezas (Alarcón, 2004). Posterior al día 60, se observa el inicio del descenso de la temperatura hacia la etapa de estabilización de las pilas de compostaje hasta alcanzar un promedio de 33 °C el día 85. En esta última fase el termómetro de sonda encontró valores semejantes a la temperatura inicial indicando que el proceso de compostaje está concluyendo.

Los resultados obtenidos en los 3 tratamientos nos indican que las pilas han pasado por procesos mesofílicos, termofílicos, y de estabilización. Se observa que la elevación de la temperatura no superó los 61°C más que en el Tratamiento 1 el día 19. C.B.A.R.C.D. (2000) Indica que el rango de temperatura máxima en compost de estiércol equino durante la fase termófila oscila entre 45°C a 63°C, lo cual concuerda con los 3 tratamientos y el Testigo.

#### 4.1.2 Variación de la humedad.

Para el parámetro humedad se observa entre el día 15 y 45 una disminución por debajo del 40% en los 3 tratamientos, siendo el valor más bajo 34.12% en el Tratamiento 1 el día 30. Esta diferencia es el resultado de la reducción del agua en los 3 tratamientos por acción de evaporación debido a la alta actividad metabólica de los microorganismos presentes en el material vegetal a partir del pico de temperatura del día 15 (58.2 °C). En el caso del Testigo llega a su pico de temperatura el día 2 (52.1 °C) lo cual explica la rápida evaporación y pérdida de humedad para el día 15 sin embargo debido a la carencia de material vegetal sus microorganismos degradantes no aprovechan el agua suministrada la cual se va recuperando conforme se adiciona mediante el riego y la actividad metabólica desciende para el día 60. Finalmente durante la fase de maduración los 3 tratamientos logran estabilizar su humedad en un promedio de 51.5% a una temperatura de 33°C mientras que el Testigo mantiene una humedad de 52.4% con 34.3°C.



**Figura 18:** Variación quincenal del % de humedad (°C) en los tratamientos.

Usualmente, un porcentaje de humedad de 45 % a 55% da como resultado un compostaje termofílico eficiente. Al elevarse la temperatura los primeros días se aceleran la evaporación por lo cual se debe agregar agua periódicamente para asegurar que el compostaje no se acorte prematuramente (Auvermann *et. al.*, 1999). De acuerdo con los resultados los tratamientos no llegan a superar el 55% del peso durante todo el tiempo de compostaje, sin embargo no cumple la normativa chilena NCh2880 (2004) donde el producto final debe tener en peso como máximo 45% de humedad, pero está más cerca a lo exigido por la Norma Austriaca OE-ÖNORM S-2022 que indica un máximo de 50%.

#### 4.1.3 Rendimiento del compost final.

La Tabla 7 muestra los resultados alcanzados por los tratamientos los cuales aumentan su porcentaje de rendimiento conforme aumenta la proporción de estiércol equino dentro del tratamiento. El tratamiento Testigo obtiene el mayor rendimiento en ausencia total del material vegetal, se asume entonces que un mayor contenido del material vegetal disminuye el rendimiento final del compost. Sin embargo Huerta *et. al.* (2008) menciona que el concepto de rendimiento productivo para el compost no relaciona buenos rendimientos con la ganancia de cantidades elevadas de compost; muy por el contrario, el compost de calidad exige un grado mínimo de maduración. En definitiva, rendimiento efectivo de un compostaje se traduce en la producción de menos cantidad de compost, pero el beneficio de mejor calidad (estabilidad).

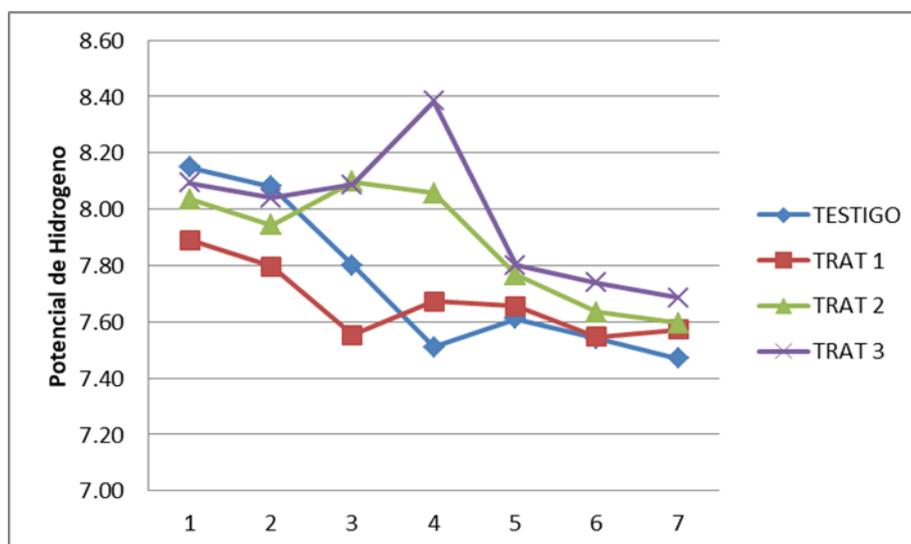
**Tabla 7:** Valores de Rendimiento por tratamiento

Tratamientos	Peso Inicial (Kg.)	Peso del Compost Tamizado (Kg.)	Rendimiento del Compost Tamizado (%)
Tratamiento 1	500.00	186.60	37.32
Tratamiento 2	500.00	195.87	39.17
Tratamiento 3	500.00	210.73	42.15
Testigo	500.00	251.60	50.32

## 4.2 Evaluación de los parámetros fisicoquímicos.

### 4.2.1 Variación del potencial de Hidrógeno.

La Figura 19 indica que los tratamientos 2, 3 y el Testigo iniciaron con un pH superior o similar a 8; estos valores altos pueden ser causados por su mayor proporción de estiércol equino inicial. Para el día 15 se observa un descenso paralelo del pH de todas las pilas mientras ocurre la etapa termofílica. El Tratamiento 1 y el Testigo presentaron condiciones anaerobias hasta el día 30 y 45 respectivamente al generarse ácidos de cadena corta por los microorganismos (Barrena, 2006). Para los Tratamiento 2 y 3 entre el día 15 y 45 se encuentra en un proceso de alcalinización del material debido a la acción de los microorganismos termófilos que generan ácidos orgánicos simples que van descomponiendo materiales proteicos y el aumento del contenido de amoníaco (Castro, 2006). Desde el día 75 la variación del pH de los 3 tratamientos y el Testigo es mínima y con tendencia a neutro (pH = 7). Finalmente en el día 90 los tres tratamientos se reúnen en un valor promedio a pH: 7.62 mientras que el Testigo finaliza con 7.47.

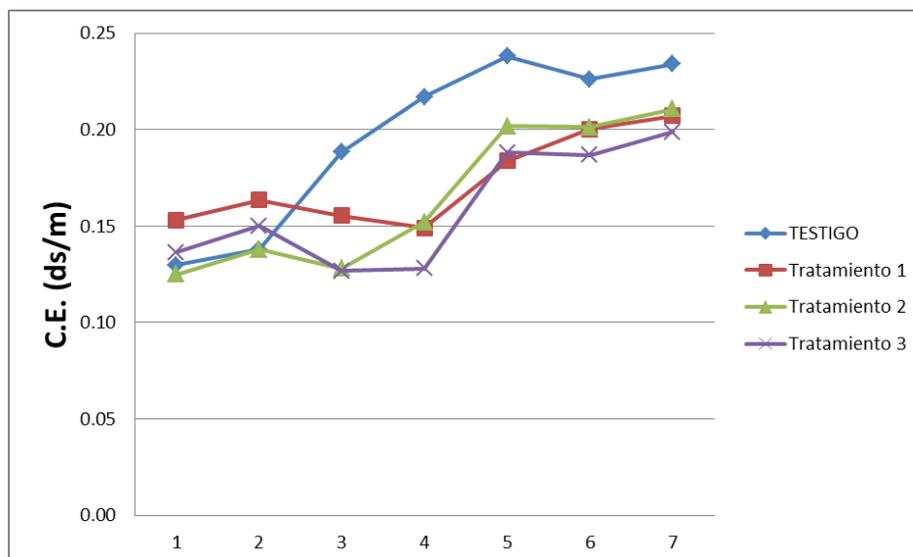


**Figura 19:** Variación quincenal del potencial de hidrógeno (pH) en los tratamientos.

Por lo descrito para el Tratamiento 1 se denota un declive del pH debido al mayor contenido de material vegetal que genera gran cantidad de ácidos orgánicos lo cual opaca la observación de la degradación de la proteína microbiana y por ende la alcalinización del medio, mientras que en el Tratamiento 2 y 3 es mucho más adecuada la proporción de material vegetal y estiércol con lo cual si es posible interpretar niveles ascendentes de pH por la eficiente actividad metabólica de las poblaciones de microorganismos y la consecuente liberación de amoníaco al descomponerse la proteína microbiana (Soliva, 2001). En tanto para el Testigo se observa el descenso del pH durante todo el proceso puesto que no hay presencia de microorganismos adicionales que provoquen reacciones de alcalinización. Como se ha visto en el experimento el pH disminuye hacia la neutralidad, según esos ácidos se convierten en metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y la producción de compuestos húmicos. El pH final es ligeramente alcalino (7,5 y 8,5) (Stoffella, 2005). Los datos de pH finales fueron analizados con el análisis de varianza, encontrándose diferencia significativa ( $\alpha=0,05$ , Valor P= 0,001). La prueba de Tukey indica que el Tratamiento 1 y 3 son significativamente diferentes, el valor de pH más alto fue de 7,69 del Tratamiento 3, seguido por el Tratamiento 2 con un pH de 7,60. Finalmente en el Tratamiento 1 se obtuvo el menor valor de pH con 7,57 (Anexo 3). El coeficiente de variación (cv) obtenido fue de 0,85 %, lo cual indica confiabilidad en los datos.

#### 4.2.2 Variación de la conductividad eléctrica.

La Figura 20 demuestra un incremento en el contenido de sales para los 3 tratamientos y el Testigo hasta el día 15, esto indica el comienzo de la mineralización gradual del material orgánico (Tinco, 2016). Para el Testigo este crecimiento se mantiene constante hasta el día 60 para luego estabilizarse en 0.23 dS/m. Entre el día 15 y el día 45 el Tratamiento 1 y 3 pierden salinidad hasta casi su concentración inicial, este efecto ocurre debido al fenómeno de lixiviación por el lavado del riego (Cumba, 2004), y el consumo de sales por los microorganismos de la fase termófila. Posterior al día 45 la concentración de sales asciende hasta el día 60 y al ingresar a la fase de madurez la conductividad eléctrica se estabiliza en un alrededor de 0.21 dS/m el día 90 para los 3 tratamientos.



**Figura 20:** Variación quincenal de la conductividad eléctrica (CE) en los tratamientos

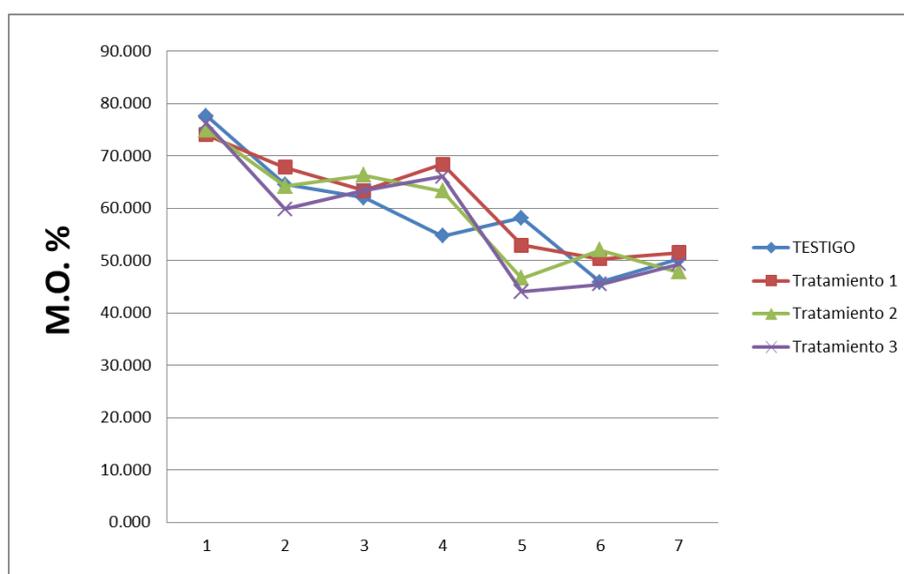
Para el Tratamiento 2 entre el día 15 y 30 ocurre un descenso para luego ascender hasta el día 60 y estabilizarse en 0.2 dS/m a los 90 días. Se observa entonces que la acción de los microorganismos que consumen las sales disponibles y el fenómeno de lixiviación se ve interrumpido 15 días antes que los Tratamientos 1 y 3, lo cual señala una mineralización del material orgánico acelerado para este tratamiento. Para la normativa chilena NCh2880 (2004) el resultado de los 3 tratamientos incluidos el Testigo muestran valores por debajo de lo permisible (< 3 dS/m); sin embargo para la Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022 están sobre lo máximo permisible: 0.02 dS/m y presenta una reducción en el contenido de sales por la presencia de material vegetal reduce el contenido de sales comparado con el testigo en un promedio de 0.02 dS/m.

### 4.3 Evaluación de los parámetros químicos.

#### 4.3.1 Variación de la materia orgánica.

Se observa en la Figura 21 que el porcentaje de materia orgánica (% M.O.) tiene un descenso los primeros 15 días durante la etapa termófila para los 3 tratamientos y el Testigo. A partir de ahí el Tratamiento 1 y 3 tienen un comportamiento similar aumentando en % M.O. hasta el día 45, cuando la fase termófila finaliza y el % M.O. vuelve a descender hasta el día 60 momento el cual se estabilizan dichos tratamientos en un promedio de 50.5% para el día 90. Para el Tratamiento 2 se puede observar una conservación de % M.O. durante la fase termófila hasta el día 45 cuando empieza a descender hasta el día 60 y estabilizarse en 47.83% para el día 90. Se deduce por estas

observaciones que los microorganismos del material vegetal en los 3 tratamientos actúan los primeros 45 días provocando un acelerado descenso del material orgánico transformándolo de compuestos carbonados largos a compuestos simples de cadena corta (Moreno *et. al.* , 2008). Posteriormente (entre el día 45 y 90), al ser utilizados la totalidad de los compuestos frágiles, se van degradando los materiales más resistentes como las ligninas hasta compuestos húmicos y CO<sub>2</sub> (Tomati, 2000 y Castaldi *et. al.*, 2005).



**Figura 21:** Variación quincenal del % de materia orgánica en los tratamientos.

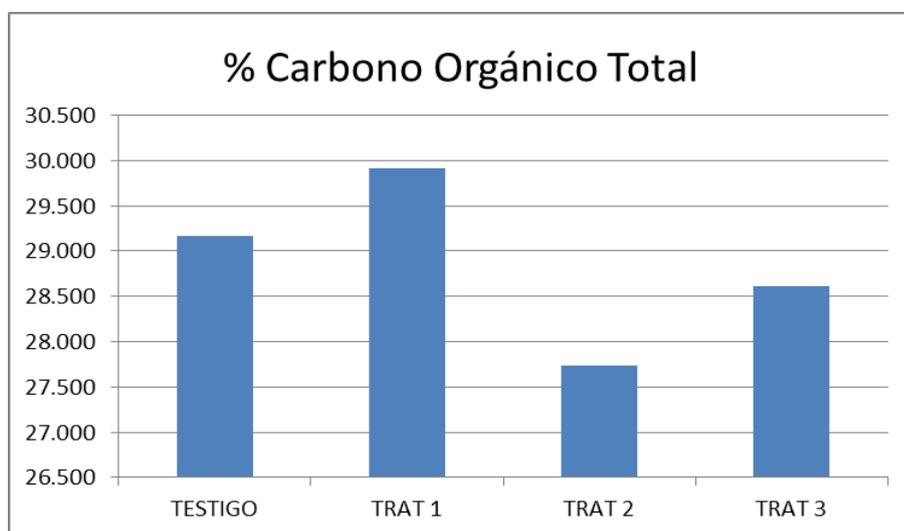
En tanto el Testigo tiende al descenso durante toda la fase termófila y mesófila, no existen poblaciones microbianas que desarrollen actividad metabólica para generar cambios en la reducción de M.O. A partir del día 45 la temperatura empieza a descender, aquí si se puede observar actividad de microorganismos hasta el día 60 producto de la disminución de la temperatura aumentando levemente el % de M.O. y finalmente se inicia el proceso de estabilización junto con los 3 tratamientos durante el último mes cuando se estabiliza con un % M.O. de 50.2.

Los resultados del material orgánico alcanzados para los 3 tratamientos y el testigo fueron: Tratamiento 1 con 51.6%, Tratamiento 2 con 47.8 %, Tratamiento 3 con 49.34 % y para el Testigo 50.3%.

#### 4.3.2 Variación del carbono orgánico total.

Los resultados de carbono total calculados al finalizar los 90 días de prueba fueron: Para el Tratamiento 1: 29.9 %, para el Tratamiento 2: 27.7 %, para el tratamiento 3: 28.6 % y para el Testigo 29.2 %. Asimismo se observa una tendencia en las curvas similar a la

variable materia orgánica, esto debido al cálculo por el factor de conversión de rango 0,58 que representa el porcentaje de carbono presente en la materia orgánica. OE-ÖNORM S-2022 dicta para carbono orgánico un valor >12 % de masa seca. Por lo expuesto los 3 Tratamientos y el Testigo cumplen con este requisito.



**Figura 22:** Porcentaje de carbono orgánico total del compost final.

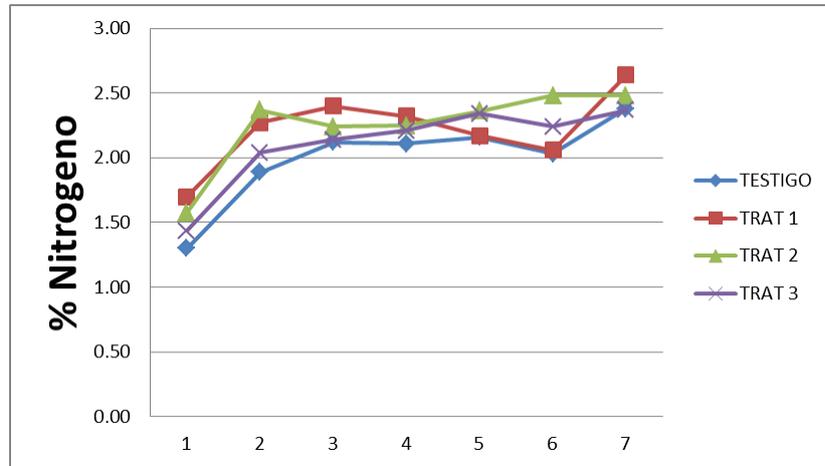
#### 4.3.3 Variación del nitrógeno total.

La Figura 23 presenta el flujo del nitrógeno se eleva sobre 2 por ciento para los 3 tratamientos en el día 15 debido a la liberación del nitrógeno y su utilización por microorganismos presentes en la primera fase. Precisamente se observa 15 días iniciales la elevada oxidación de la materia orgánica y por lo tanto reducción del contenido de carbono en el compost.

Se observa además mayor actividad metabólica en el Tratamiento 1 lo cual deriva en acumulación de nitrógeno hasta 2.40% el día 30 debido a su temprana activación calórica mientras que Tratamiento 3 llegan a un valor cercano (2.34%) el día 60. El Tratamiento 2 incrementa rápidamente la concentración de nitrógeno en la fase termófila y es la que se mantiene más estable durante todo el compostaje alrededor de 2.36%. Finalizada la fase de enfriamiento el día 60 (debajo de los 40 °C) el amonio se modifica en nitratos y se incrementa la nitrificación por microorganismos nitrificantes (Moreno *et. al.* 2008).

Se observa además que entre el del día 15 al 90 los 3 tratamientos estabilizan la concentración de nitrógeno en un promedio entre 2.04% y 2.64%. El porcentaje de nitrógeno es directamente proporcional a la degradación de materia orgánica, ya que este

elemento se mineraliza y no tiene pérdidas importantes pasa a ser parte del metabolismo y estructura de las poblaciones (Frioni, 1999).

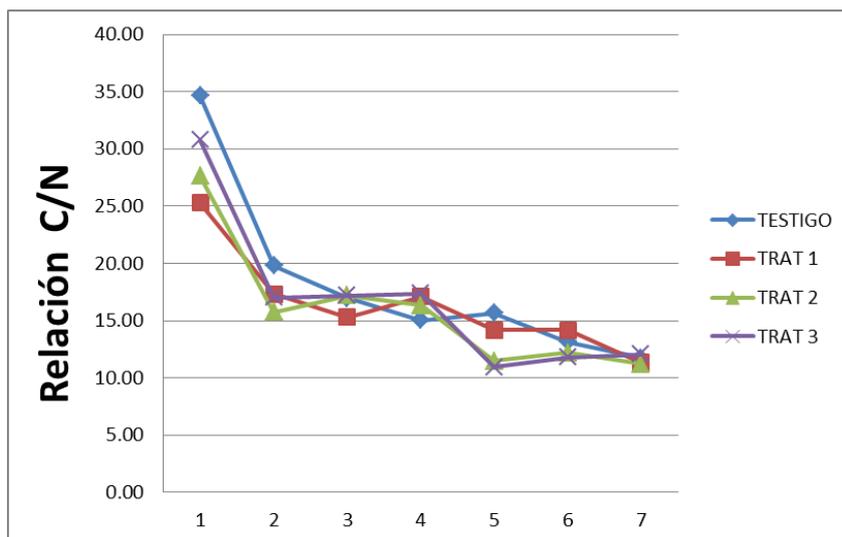


**Figura 23:** Variación quincenal del % de Nitrogeno en los tratamientos.

#### 4.3.4 Variación de la relación carbono / nitrógeno.

Durante la fase de termófila del estiércol equino la relación C/N se reduce dentro de los 15 primeros días con un promedio entre los 3 tratamientos de 27.9 hasta 16.7. Para retirar el sobrante de carbono como dióxido de carbono se necesita el brote sucesivo de familias microbianas. Conforme pasan las fases de compostaje el nitrógeno de la biomasa microbiana se reutiliza y la relación C/N baja (Bueno *et. al.*, 2008).

El resultado de la aparición sucesiva de especies microbianas se puede observar en el Tratamiento 2 y 3 entre el día 1 y 15, y entre el día 45 al 60, mientras que para el Tratamiento 1 y el Testigo la Relación siempre se mantiene en descenso durante todo el compostaje. Finalmente el día 90 se observa una relación C/N similar para los 3 tratamientos con un promedio de 11.53, pues conforme la relación C/N se reduce la mineralización del nitrógeno aumenta como se indica la Figura 24 (Frioni, 1999).

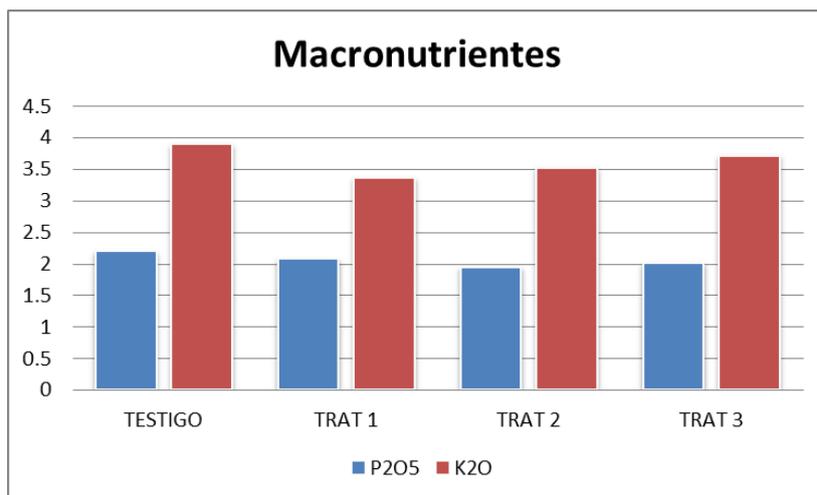


**Figura 24:** Variación quincenal de la relación C/N en los tratamientos.

#### 4.3.5 Contenido final de Fósforo y Potasio.

El contenido apropiado de macronutrientes admite que producto resultante pueda ser usado como fertilizante. Es por ello necesario definir el contenido de Fósforo y Potasio aprovechable para las plantas como mejorador del suelo y/o fertilizante orgánico que contribuya con nutrientes claves para su desarrollo (FAO, 2013).

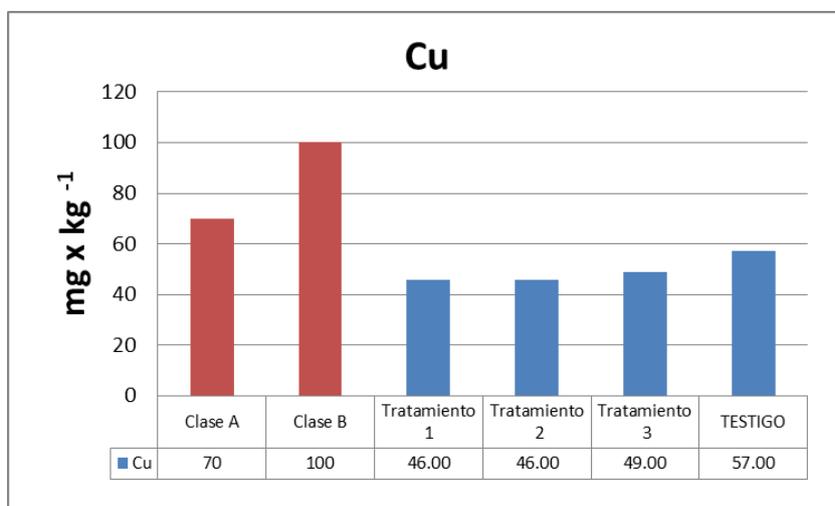
El fósforo y el potasio no producen ningún tipo de gas que pueda ser expulsado a la atmósfera por lo que su actuación se encuentra inducida por el intercambio de cationes y la meteorización que por el metabolismo microbiológico (Brady *et. al.*, 2008) Según la norma mexicana (NMX-AA-180-SCFI-2018), los niveles ideales de fósforo y potasio presentes en el compost, deben ser mayores a 0.1% y 0,25% respectivamente. Como podemos apreciar en la Figura 25, los niveles de fósforo y potasio en los 3 tratamientos superan ampliamente estas condiciones (Córdova, 2007).



**Figura 25:** Porcentaje de Fósforo y Potasio del Compost Final.

#### 4.3.6 Análisis de microelementos (ppm).

Se encontró un mayor contenido de cobre en el Tratamiento 3 y el Testigo, tal como se observa en la Figura 26, cuyo contenido de materia vegetal fue menor. Por otro lado, se debe señalar que los valores obtenidos para los 3 tratamientos se encuentran debajo de la concentración máxima para compost Clase A (70 mg/kg) señalada por la Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022.

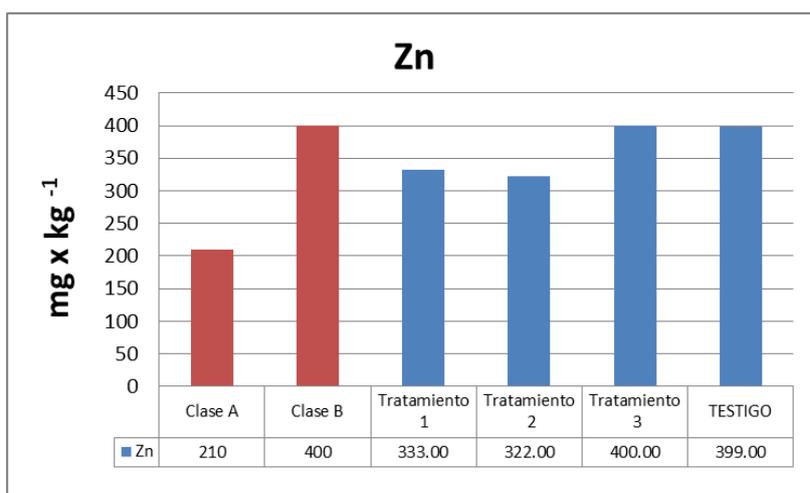


**Figura 26:** Comparación de valores de cobre obtenidos vs. Los valores de compost según Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022.

Para el caso del Zinc, tal como se observa en la Figura 27 se obtuvo mayor concentración de este microelemento conforme la proporción de estiércol aumenta. Según Neri *et. al.* (2008) el zinc interviene en la constitución de los cascos de los caballos al estimular la elaboración de queratina, por lo que este microelemento es suplementado en la pmezcla

debido a su importancia crítica en la crianza equina (3700 mg/kg) siendo el consumo en la ración diaria de alimento de 16,65mg por caballo adulto.

Los resultados comparados con la Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022 para compost Clase A, particularmente en el Tratamiento 3 y el Testigo los cuales cuentan con un menor contenido de material vegetal. Por otro lado, se debe de señalar que los valores obtenidos se encuentran por debajo de la concentración máxima (400 ppm) señalada por la Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022 para compost Clase B.



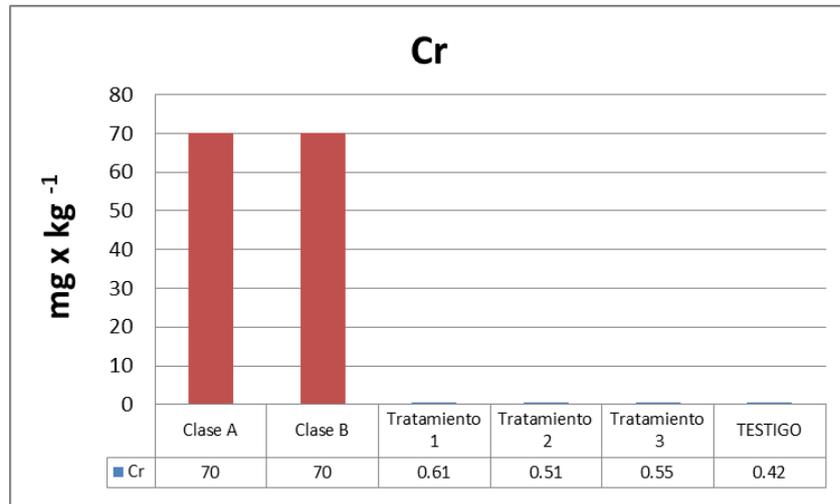
**Figura 27:** Comparación de valores de zinc obtenidos vs. Los valores de compost según Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022.

#### 4.3.7 Análisis de metales pesados.

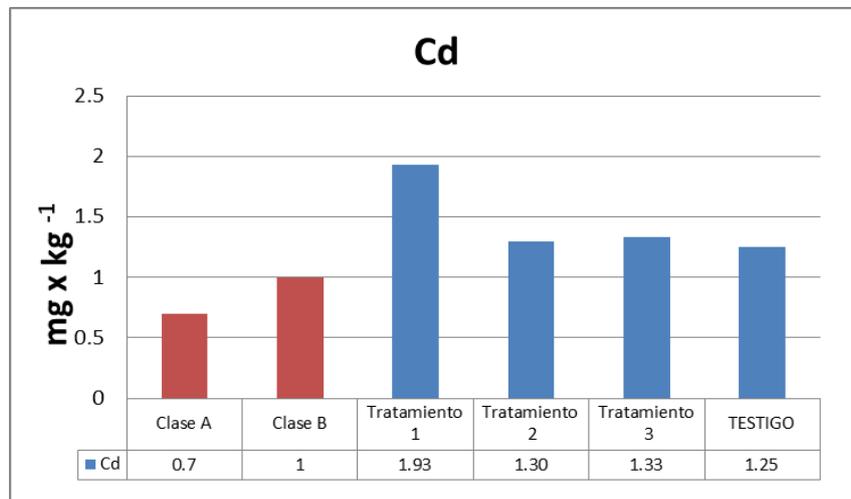
Para los metales pesados (Cr, Cd, Pb), se encontró los siguientes valores tal como se observa en la figura 28, 29 y 30. Para cromo y plomo se encuentran por debajo de las concentraciones máximas de la Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022 para compost Clase A y Clase B. En el caso del cadmio los 3 tratamientos contienen mayor contenido conforme la proporción de material vegetal aumenta por tratamiento sus valores están sobre los estándares máximos permitidos para la Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022 de compost Clase A y Clase B.

En jardines urbanos el cadmio usualmente es absorbido de manera más intensa por arcillas y materia orgánica conforme el pH se incrementa, pero es soltado de manera parcial en su configuración más soluble y disponible para las plantas comparado con otros metales (N.Y.S.D.O.H., 2015).

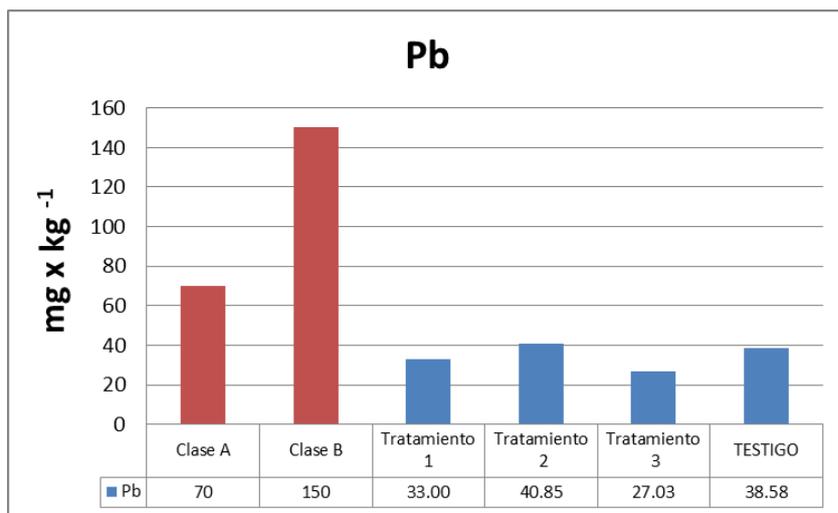
Según García *et. al.* (1999), el origen del cadmio en el estiércol de caballo se debe a su amplia distribución en los forrajes y piensos. Este metal pesado se difunde rápidamente en los tejidos lo que provoca un amplio espectro de efectos tóxicos por lo cual el hígado y el riñón se encargaran de evacuar parte del exceso por vía urinaria.



**Figura 28:** Comparación de valores de cromo obtenidos vs. Los valores de compost según Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022.



**Figura 29:** Comparación de valores de cadmio obtenidos vs. Los valores de compost según Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022.



**Figura 30:** Comparación de valores de plomo obtenidos vs. Los valores de compost según Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022.

#### 4.4 Evaluación de los parámetros sanitarios.

**Tabla 8:** Resultados de laboratorio de la evaluación de contenido de coliformes y huevos de helmintos para compost final

Tratamientos	Enum. Coliformes Totales (NMP/g)	Enum. Coliformes Fecales (NMP/g)	Enum. Escherichia Coli (NMP/g)	Conteo de huevos de helmintos (HE/4g)
Tratamiento 1	< 3	< 3	< 3	0
Tratamiento 2	< 3	< 3	< 3	0
Tratamiento 3	4	4	4	0
Testigo	< 3	< 3	< 3	0

La normativa chilena NCh 2880 (2004) indica para coliformes fecales que el compost final no debe pasar de 1000 NMP/g. Se observa que los resultados para los 3 tratamientos presentan valores casi nulos mientras que para la cantidad de huevos de helmintos (HE) no debe ser mayor o igual a 1 HE/4g. De acuerdo a las pruebas de laboratorio se encontró que el contenido de huevos de helminto es 0 para todos los tratamientos y el testigo. Según Golueke (1972) E. Coli muere al exponerse una hora por 55°C o 15 -20 minutos por 60°C y los huevos de Ascaris lumbricoides mueren en menos de una hora sobre los 55°C.

#### 4.5 Resumen de Resultados.

Se realizó la comparación con las normas técnicas austriaca y chilena presentando los resultados finales de los parámetros físicos, químicos y biológicos. Se verificó, por lo tanto, que de acuerdo a sus características los tres tratamientos se encuentran muy cerca a la definición de compost Clase B de la norma técnica chilena, salvo para los parámetros humedad (Hd%) y contenido de Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) según lo sugerido por la norma chilena.

**Tabla 9:** Resultados finales de los análisis realizados para 3 tratamientos de compostaje y Testigo comparados con estándares de las Normas Técnicas Austriaca OE-ÖNORM S-2022 y Chilena Ch N°2880.

Parametros	Resultados				Límites según la OE- ÖNORM S-2022		Límites según la Norma Ch N°2880	
	T1	T2	T3	Testigo	Clase A	Clase B	Clase A	Clase B
pH	7.57	7.60	7.69	7.47	*)		5.0 a 8.5	5.0 a 8.6
C.E. (ds/m)	0.207	0.211	0.199	0.234	≤ 0.02	≤ 0.02	< 3	< 8
M.O.(%)	51.576	47.828	49.337	50.282	--	--	≥ 20	≥ 20
Hd(%)	51.799	51.417	51.278	52.431	25 - 50%	25 - 50%	30% a 45%	30% a 45%
COT (%MS)	29.914	27.740	28.615	29.163	≥ 12	≥ 12	--	--
P(P2O5)	2.070	1.940	2.010	2.190	*)		≤0.1	≤0.1
K(K2O)	3.360	3.520	3.710	3.890	*)		--	--
N(%)	2.04	2.42	2.20	2.05	*)		≥ 0.5	≥ 0.6
C/N	11.331	11.186	12.074	12.254	*)		10 a 25	10 a 40
Cu (mg/kg -1)	46.00	46.00	49.00	57.00	70	100	<100	<1000
Zn (mg/kg -1)	333.000	322.000	400.000	399.000	210	400	<200	<2000
Pb (mg/kg-1)	33.00	40.85	27.03	38.58	70	150	<100	<300
Cd (mg/kg-1)	1.930	1.300	1.330	1.250	0.7	1	<2	<8
Cr (mg/kg-1)	0.61	0.51	0.55	0.42	70	70	<120	<600
Cont. HE (HE/4g.)	0.00	0.00	0.00	0.00	--	--	< 1 HE/4g.	< 1 HE/4g.
C. Totales (NMP/g.)	< 3	< 3	4	< 3	--	--	--	--
C. Fecales (NMP/g.)	< 3	< 3	4	< 3	--	--	< 1000	< 1000
Enum. E. Coli (NMP/g.)	< 3	< 3	4	< 3	--	--	--	--

## V. CONCLUSIONES

- La caracterización del estiércol de caballo y el material vegetal permitió mediante la formulación realizar la investigación dentro del intervalo recomendado (Relación C/N: entre 25 a 35).
- El contenido de material vegetal en los Tratamiento 2 y 3 (36% y 20% respectivamente) provoca un efecto estabilizador de la temperatura conforme se desarrollan las poblaciones de microorganismos durante las fases del proceso de compostaje. Sin embargo, para el parámetro humedad todos los tratamientos al final del proceso de compostaje superan el máximo permitido por la Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022 (<50%) y la Norma Técnica Chilena NCh 2880.Of.2004 (<45%).
- Se considera que los Tratamientos 2 y 3 tuvieron mejor desempeño en los microorganismos mesófilos y termófilos en la degradación del material compostable ya que sus variaciones de pH describen etapas de acidez y alcalinidad en los momentos óptimos para el desempeño de las poblaciones microbianas. Con respecto a la conductividad eléctrica los 3 tratamientos obtienen valores debajo del máximo permitido en la Norma Técnica Chilena NCh 2880.Of.2004 para compost Clase A (<3 dS/m), pero están sobre el máximo permitido por la Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022 para compost Clase B ( $\leq 0.02$  dS/m). Si bien no podrían cumplir con los estándares de la norma austriaca, la presencia de material vegetal reduce el contenido de sales en los tratamientos en un promedio de 0.02 dS/m al final del experimento.
- El contenido final de materia orgánica para los 3 tratamientos es conforme a lo mínimo requerido por la Norma Técnica Chilena NCh 2880.Of.2004 ( $\geq 20\%$ ). El contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del compost final suma más de 7% en los 3 tratamientos y cumple con la Norma Técnica Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018 lo que lo cataloga como fertilizante orgánico. Con respecto a la presencia de microelementos en los 3 tratamientos el cobre está por debajo del máximo permitido por la Norma Técnica Chilena NCh 2880.Of.2004 para compost Clase A (<100 ppm) y Clase B (<1000 ppm), mientras que en el caso del zinc está por debajo del máximo permitido por la Norma Técnica Chilena NCh 2880.Of.2004 para compost Clase B (<2000 ppm) pero sobre el

máximo permitido por la Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022 para compost Clase A (<210 ppm). Con respecto a la presencia de metales pesados el cromo y el plomo están por debajo del máximo permitido por la Norma Técnica Chilena NCh 2880.Of.2004 para compost Clase A (<120 ppm y <100 ppm respectivamente). Respecto al contenido de cadmio los tres tratamientos presentan valores debajo del máximo permitido por la Norma Técnica Chilena NCh 2880.Of.2004 para compost Clase A (<2 ppm) y Clase B (<8 ppm) pero superiores para la Norma Técnica Austriaca OE-ÖNORM S-2022.

- Se confirma que el efecto de temperaturas superiores a 55°C entre el día 15 y 30 para los 3 tratamientos y el Testigo logro la higienización de coliformes fecales y huevos de helmintos encontrándose valores menores al máximo permitido por la Norma Técnica Chilena NCh 2880.Of.2004 para estos dos parámetros (<1000 NMP/g. y <1 HE/4g respectivamente).
- Si bien los 3 tratamientos se acercan al cumplimiento de las normas técnicas descritas, el Tratamiento 3 es el que consiguió el mayor rendimiento al final del proceso de compostaje (42.15%), seguido del Tratamiento 2 (39.17%) el cual tiene mejor calidad respecto al contenido de microelementos y metales pesados a excepción del plomo.
- Es posible realizar un compost estable a base de estiércol de equino agregándole residuos de jardinería en 90 días, cercano a los parámetros de normas técnicas internacionales y encontrándose viable hacia la investigación con otro tipo de materiales.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se sugiere realizar análisis de capacidad de retención de agua para definir mejor la calidad del compost resultante. Asimismo, realizar el análisis del agua utilizada para el compostaje a fin de encontrar su relación con los resultados finales de conductividad eléctrica y presencia de metales pesados.
- Realizar otros análisis como fitotoxicidad y porcentaje de germinación para conocer el grado de madurez alcanzado por el compost, así como su viabilidad como fertilizante.
- Para un próximo análisis de compostaje con estiércol de caballo es necesario caracterizar el contenido de microelementos y metales pesados de los materiales iniciales de manera que se comprenda mejor el origen de los excedentes en el resultado final.
- Se recomienda evaluar el uso de compostaje final del estiércol equino en cultivos hortícolas y frutícolas debido a los valores de sales obtenidos de acuerdo a las normas técnicas revisadas.
- Evaluar el compostaje de estiércol de equino con distintas variedades de rastrojo de cosecha para conocer su interacción con otros materiales de origen vegetal utilizando un 64 a 80% de estiércol ya que demostró tener mejores resultados.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Auvermann, B., McDonald, L., Devin, R. & Sweeten, J. (1999). Composting Horse Manure. Produced by Agrilife Communications and Marketing, The Texas A&M University System, B- 6084,6-99. Texas AgriLife Extension publications can be found on the Web at: <http://AgriLifebooksotre.org>
- Alarcón, F. (2004). Evaluación del uso de diferentes técnicas biotecnológicas para producción de compost. Tesis impresa. Escuela de Postgrado Especialidad en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Avendaño, R. (2003). El Proceso de Compostaje. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Pontificia Universidad Católica, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 38 p.
- Bárbaro, L., Mata, D. & Karlanian, M. (2014). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Ministerio de Agricultura y Pesca, Presidencia de la República Argentina, (pp 7.)
- Barrena, R. (2006). Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos. Aplicación de Técnicas Respirométricas en el Seguimiento del Proceso. Tesis para optar por el Grado de Doctora. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Bazan, R. (1996). Manual para el Análisis Químico Suelos Aguas Plantas. Universidad Nacional Agraria la Molina. Fundación para el Desarrollo Agrario. 54 p.
- Bidlingmaier, W. (1996). Odour emissions from composting plants. En: De Bertoldi, M.; Sequi, P.; Lemmes, B.,Papi, T. (Eds.). The Science of Composting, Vol I, pp. 71-79. Blackie Academic & Professional, London.
- Binner, E. (2002). Separatas del Curso Tratamiento Biológico de los Residuos en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad Agraria de Viena. Austria.

- Binner, E. (2017). 13° Curso Internacional de Compostaje “Fundamentos, Operación y Diseño de Planta de Compostaje”. Calidad y monitoreo del compost. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
- BGBL. (2001). II Nr. 292: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung). Auf Grund der §§ 2 Abs. 3a und 7 Abs. 12 des Abfallwirtschaftsgesetzes, BGBL. Nr. 325/1990, zuletzt geändert durch das Bundesgesetz BGBL. I Nr. 99/2000.
- Brady, N. & Weil, R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. 14th edition. Pearson Prentice Hall. USA. 990 pp.
- Brewer, L. & Sullivan, D. (2003). Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. *Compost Sci. Util.* 11, 96-112.
- Bueno, P., Blanco, M. & Capitán, F. (2008). Capítulo 4: Factores que afectan el proceso de compostaje. *Compostaje - Compilatorio de Artículos Científicos por Moreno Casco J. y Moral Herrero R.* (pp. 84). , Ediciones Mundi-Prensa: Madrid, Barcelona, México 2007, 530 pp.
- Bustamante, M., Moral, R., Paredes, C., Vargas-García, M., Suárez-Estrella, F. & Moreno, J. (2008) Evolution of the pathogen content during co-composting of winery and distillery wastes. *Bioresource Technology* Volume 99, Issue 15, October 2008, Pages 7299-7306
- Castaldi, P., Alaberti, G., Merella, R. & Melis, P. (2005). Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Manag.*, 25: 209-213.
- Castro, J. & Hermosa, A. (2006). Utilización de los Residuos de la Industria forestal: Aserrín, para la elaboración de compost. Tesis de ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina.

- C.B.A.R.C.D. (2000). Composting Horse Manure. Council of Bay Area Resource Conservation Districts Equine Facilities Assistance Program. Number 2, June 2000. Council of Bay Area RCDs 1301 Redwood Way, Ste 170 Petaluma, CA 94954 (707) 794-1242, ext 121.
- C.E.M.T.R.A.R. (2018). Guía de Práctica Nro.: 2° Curso Teórico – Práctico: Evaluación de la calidad de compost: Materias Primas, Proceso y Producto Final. UNALM, Lima – Perú.
- Córdova, E. (2007). Evaluación de parámetros físicos y biológicos para el compostaje de los lodos residuales de la industria del papel. Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ciencias. Departamento de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología. Universidad Nacional Agraria La Molina. 256 pp.
- Córdova, V. & Rossi, M. (2016). Propuesta para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental. Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental
- Climent, M., Abad, B. & Aragón, R. (1996). El compost de Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U.), sus características y aprovechamiento en la Agricultura. Ediciones y promociones LAV,SL. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia-España, pp. 57-71.
- Cronje, A., Turner, C. & Williams, A. (2003). Composting under controlled conditions. *Environ. Technol.* 24 (10): 1221-1234.
- Cumba, A. (2004). Enmiendas de suelos. Minerales del Recreo S.A. Córdoba- Argentina. 19 pp.
- Docampo, R. (2013). Compostaje y Compost – Sustentabilidad. *Revista Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria del Uruguay. Revista Nro. 35 – Diciembre 2013. ISSN – 1510 – 9011. (pp. 65). INIA PUBLICACIONES, URUGUAY. pp 77.*

- D.L. N° 1278. (2016). Decreto Legislativo que Aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Publicado en: El Peruano el día Viernes 23 de diciembre de 2016, NORMAS LEGALES, 607472.
- Eriksson, O., Hadin, A., 1, Hennessy, J. & Jonsson, D. (2016). Article: Life Cycle Assessment of Horse Manure Treatment. *Energies* 2016, 9, 1011; doi: 10.3390/en9121011. <http://www.mdpi.com/journal/energies>. MDPI, Basel, Switzerland.
- Ekinci, K., Kenner, H. & Elwell, D. (2004). Effects of aeration strategies on the composting process: Part I. Experimental studies. *Trans. ASAE*, 47 (5): 1697-1708.
- Eweis, J. (1999). Principios de biorrecuperación. Tratamiento para la contaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y fisicoquímicos. McGraw-Hill. España.
- F.A.O. (2011) MANUAL DE BIOGÁS. Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Global Environment Facility. ISBN 978-95-306892-0 (pp 14) Santiago de Chile, 2011. pp 120.
- F.A.O. (2013). MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR –Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe., E-ISBN 978-92-5-307845-5 (pp. 23) Santiago de Chile, Chile, 2013. pp 112.
- Frioni, L. (1999). Procesos Microbianos. Editorial de la Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina. 268 pp.
- García, L., Robles, M. & Valenzuela, E. (1999). Las melatoninas y su relación con la toxicidad del cadmio en los mamíferos. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 15 (2) 113-

120, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Apartado Postal 1735, Hermosillo, Sonora, México.

- García, X. (2017). Tratamiento de los residuos sólidos generados en sanitarios ecológicos mediante el uso de microorganismos eficientes en un proceso de compostaje (pp 45 – 46). Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae en Ciencias Ambientales, Escuela de Posgrado de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.
- Gershuny, G. & Martin, D. (1992). *The Rodale Book of Composting. Simple Methods to Improve Your Soil, Recycle Waste, GRow HEalthier Plants and Create an Earth-Friendly Garden.* Copyright © 2018 by Hearst Magazines, Inc. Crown Publishing Group, a división of Penguin Random House LLC, New york – U.S.A.
- Golueke, C. (1972). *Composting: A Study of the process and its Principles.* JGPress Inc. Emmaus-Penn Ed.
- Hansgate, A., Schloss, P., Hay, A. & Walker, L. (2005). Molecular characterization of fungal community dynamics in the initial stages of composting. *FEMS Microbiol. Ecol.* 51: 209-214.
- Haug, R. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering.* Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
- Huang, G., Wong, J., Wu, Q. & Nagar, B. (2004). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Manag.*;24(8):805-13.
- Huerta, O., López, M., Soliva, M. & Zaloña, M. (2008). *Compostaje de Residuos Municipales: Control del proceso, rendimiento y calidad del producto.* I Pág. 76. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, Agencia de Residuos de Cataluña y el Ministerio de Medio Ambiente. ISBN: 978-84-693-3036-4.
- Ianotti, D., Grebus, M., Toth, B., Madden, L. & Hoitink, H. (1994) Oxygen respirometry to assess the stability and maturity of composted municipal solid was. *J. Environ. Qual.*, 23:1177-1183.

- Iglesias, E. (2019). Aspectos físicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de la calidad – Unidad Temática 4: Métodos para la madurez del compost. (pp 3 - 4). Máster universitario en gestión, tratamiento y valorización de residuos orgánicos. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca. 30p.
- Jhorar, B., Phogat, V. & Malik, E. (1991). Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. *Arid Soil Rest. Rehabil.*, 5: 297-306.
- Jiang, J., Kang, K., Chen, D. & Liu, N. (2018). Impacts of delayed addition of N-rich and acidic substrates on nitrogen loss and compost quality during pig manure composting. *Waste Manag.* 72:161-162
- Kiehl, F. (1985). Fertilizantes orgânicos. Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo.
- Khalib, S., Zakarya, I. & Tengku, T. (2014). Mini Review: Enviromental Benefits of composting Organic Solid Waste by Organic Additives in Malaysia. *Bulletin of Environmental Science and Management*, 2014, Vol 2, No 1, 1-7. <http://journal.hibiscuspublisher.com>.
- Kulcu, R. & Yaldiz, O. (2004). Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. *Biores. Technol.*, 93 (1): 49-57.
- Laich, F. (2011). El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. Unidad de Microbiología Aplicada. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Ctra. El Boquerón, S/N – Valle Guerra. 38270. Santa Cruz de Tenerife. Email. [flaich@icia.es](mailto:flaich@icia.es)
- Lawrence, L., Bicudo, J.R. & Wheeler, E. (2003). Horse manure characteristics literature and database review. In R. T. Burns (Ed.), *Proc. The Nineth International Animal, Agricultural, and Food Processing Waste Symposium* (pp 277-284). ASABE Publication Number 701P1203. St. Joseph, Mich.: ASABE.

- Leal, H. (1981) Principios de composteo. Fermentación al aire libre de materia orgánica. En Monroz H. Oscar y Viniega G. Gustavo (eds.). Biotecnología para el aprovechamiento de desperdicios orgánicos. A.G.T. Editor. México. 117 pp.
- Ley N° 27314 (2000) Ley General de Residuos Sólidos. Diario Oficial El Peruano el 21 de julio de 2000, Congreso de la República del Perú.
- LIBRO VERDE (2008). Sobre la gestión de los biorresiduos en la Unión Europea (2008) COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. Bruselas. Bélgica.
- Neri, R., Solís, L., Villegas, H., Esquivel, J. & Castro, C. (2008). Efecto de la metionina de zinc en el casco del equino: una evaluación por microscopía electrónica de barrido ambiental. Servicio de Morfología Celular y Molecular, Instituto Nacional de Rehabilitación, Calzada - Xochimilco 289, Col. Arenal de Guadalupe, Tlalpan, 14389, México, D. F., Publicación de Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. vol.39, n.3, pp.247-253. ISSN 0301- 5092.
- NORMA OFICIAL CHILENA. (2004). (NCh 2880.Of.2004). Compost – Clasificación y Requisitos. Gobierno de Chile. 27p
- NORMA MEXICANA. (2018). (NMX-AA-180-SCFI-2018). Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Dirección General de Normas, Secretaría de Economía. SINEC-20180403165323180, ICS 13.030.50.
- N.Y.S.D.O.H. (2015). Suelos saludables, comunidades saludables: Metales en suelos de jardines urbanos. Publication from project “Healthy Soils, Healthy Communities”, New York State Department of Health in association with the Cornell University Cooperative Extension – New York City, Cornell University Department of Crop and Soil Sciences, and Cornell Waste Management Institute, GreenThumb, New York City Department of Parks and Recreation.
- N.W.S.E.P.A. (2004). COMPOSTING AND RELATED ORGANICS PROCESSING FACILITIES: ENVIRONMENTAL GUIDELINES. Waste Management Section

- of the Department of Environment and Conservation (NSW). Department of Environment and Conservation (NSW) 59–61 Goulburn Street Sydney PO Box A290, Sydney South 1232. ISBN 1 74137 068 X.
- MINAM (2012). Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario DECRETO SUPREMO N° 016-2012-AG NORMAS LEGALES 478535. Publicado por Diario El Peruano Lima, miércoles 14 de noviembre de 2012.
- Miyashiro, I. (2014) Calidad de seis formulaciones de compost enriquecidos con guano de islas (pp. 11- 13) Tesis para Optar el Grado de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.
- Miyatake, F. & Iwabuchi, K. (2006). Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Biores. Technol.*, 97: 961–965.
- Morisaki, N., Chae, G., Nakasaki, K., Shoda, M. & Kubota, H. (1989). Nitrogen transformation during thermophilic composting. *J Ferment Bioeng.*;67(1):57-61.
- Moreno, J. (2008). *Compostaje*. Madrid. Mundi – Prensa Libros. 570 p.
- Negro, M.J., Villa, F., Aibar, J., Alarcón, R. & Ciria, P. (2000). Producción y gestión del compost. *Informaciones técnicas del departamento de agricultura de la dirección general de tecnología agraria. Gobierno de Aragón. Número 88.*
- Ocampo, P., Robles, D. & Wu, A. (2002). El compostaje como método de biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos. Tesis del Ciclo Optativo. Universidad Nacional Agraria La Molina. 128 pp.
- ÖNORM S. 2220: Gütekriterien für komposte aus biogenen Abfällen (Quality criteria for compost from biogenic waste).
- ÖNORM S. 2022: Gütekriterien für Müllkompost (Quality criteria for waste compost).
- Riddech, N., Klammer, S. & Insam, H. (2002). Characterization of microbial communities during composting of organic wastes. In: *Microbiology of composting*. Springer Verlag, Heidelberg. p. 43-52

- Sanchez, A. (2013). El Compost: REA sobre las cualidades del compost, la elaboración de compostaje, residuos a utilizar, métodos de elaboración, fases y aplicación en agricultura y jardinería. Consulta en línea el día: 26 de Septiembre de 2019 a las 11 y 26 a.m.:  
[http://agrega.educacion.es/repositorio/08042014/8e/es\\_2013121413\\_9180800/3\\_materiales\\_usados\\_en\\_el\\_compostaje.html](http://agrega.educacion.es/repositorio/08042014/8e/es_2013121413_9180800/3_materiales_usados_en_el_compostaje.html)
- Sánchez-Monedero, M., Roig, A., Paredes, C. & Bernal, M.P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Biores. Technol.*, 78 (3): 301-308.
- SENAMHI (17 marzo de 2020). Mapa de Estaciones: Estación Von Humboldt, Departamento: Lima, Provincia: Lima, Distrito: La Molina. Recuperado de :<https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones-2/export.php>
- Smith, C., Swanson, C. (2009) Horse Manure Management. Publications and Educational Resources. Issued in furtherance of Cooperative Extension work, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia State University, and the U.S. Department of Agriculture cooperating. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech, Blacksburg; Extension Program, Virginia State, Petersburg. Publicación 406-208.
- Silva, J., López, P. & Valencia, P. (2003). RECUPERACIÓN DE NUTRIENTES EN FASE SÓLIDA A TRAVÉS DEL COMPOSTAJE. Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR), Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería. A.A. 25360 Cali-Colombia.
- Soliva, M. (2001). Compostage i gestió de residuos orgánicos. Compostage i gestió de residuos orgánicos. Diputació de Barcelona. Barcelona
- Stofella, P. (2005). Utilización de compost en los sistemas de cultivos hortícola. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. Consultado el 18 de mayo de 2020. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=QMzPwAEACAAJ&dq=->

+STOFFELLA+P.+2005.+Utilizaci% C3% B3n+de+compost+en+los+sistemas&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi6oKeI7b7pAhVJU98KHZPDDawQ6AEITjAF

- Sundberg, C., Smars, S. & Jonsson, H. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Biores. Technol.*, 95 (2): 145-150.
- Tchobanogolus, G., Theisen, H. & Vigil, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Tellez, L., Dongo, L., Maravíc, J., Jorge, P., Cesare, M. & Visitación, L. (2019). Estabilización de la Bosta de Caballo mediante un Proceso Aeróbico Similar al Compostaje. *Revista de la Sociedad Química del Perú. Revista Trimestral. Volumen 85. N° 1, ENERO - MARZO 2019.* Revista indizada en el Chemical Abstracts, ScieLO y Latindex. Ley 26905 – Hecho el depósito legal a la Biblioteca Nacional del Perú. Certificado N° 95-1567.
- Tinco, J. C. & Vásquez, L.M. (2016). *Compostaje con residuos de cosecha de pallar (Phaseolus lunatus) usando tres tipos de estiércol y microorganismos caseros efectivos.* Tesis impresa. Trabajo de Titulación para Optar el Título Profesional de: Ingeniero Agrónomo. UNALM, Lima – Perú.
- Tomati, U., Madejon, E. & Galli, E. (2000). Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability. *Compost Sci. Util.*, 8 (2): 108-115.
- Torres, P., Pérez, A., Escobar, J., Uribe, I. & Imery, R. (2007). “Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales”. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, vol. 27, núm.1, pp. 267-275
- U.S.D.A. (2013). *AMS National Organic Program U.S.D.A. Organic Standards 7 CFR 205. Reglamentos Orgánicos Estadounidenses. Regulations, Spanish, reviewed July 2014.*
- U.S.E.P.A. (2002). *Solid Waste Management and Greenhouse Gas Emissions: A Life Cycle Assessment of Emissions and Sinks, Second Edition, (EPA530-R-02-006)*

United States Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington D. C. Recuperado de: [www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/ghg/greengas.pdf](http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/ghg/greengas.pdf)

- Wakasmann, S., Cordon, T. & Hulpoi, N. (1993). Influence of temperature upon the microbiological population and decomposition processes in composts of stable manure. *Soil Sci.* 47: 83-114
- Westendorf, M. & Krogmann, U. (2006). Horse manure management: Bedding Use - Fact Sheet, Rutgers Cooperative Research & Extension. (pp. 1)The State University of New Jersey.
- Wheeler, E. & Zajackowski, J. (2009). Horse Stable Manure Management- Horse Facilities. Penn State College of Agricultural Sciences research, extension, and resident education programs are funded in part by Pennsylvania counties, the Commonwealth of Pennsylvania, and the U.S. Department of Agriculture (pp.3 - 13) The Pennsylvania State University, 112 Agricultural Administration Building, University Park, PA 16802.
- Zhu, N. (2006). Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Biores. Technol.* 97 (15): 1870-1875.
- Zucconi, F. & De Bertoldi, M. (1987). Specifications for solid waste compost. *Biocycle* 28 (5/6): 56- 61.

## **VIII. ANEXOS**

**Anexo 1:** Temperaturas encontradas durante el proceso de compostaje.

**Temperaturas por tratamiento y Testigo**

a) Tratamiento 1

Nro. de Días	Tratamiento 1			Promedio
	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	
Día 1	40.13	35.6	37.93	37.89
Día 2	55.57	49.17	59.07	54.6
Día 3	53.37	50.57	57.63	53.86
Día 4	51.2	45.83	53.23	50.09
Día 5	48.9	43.67	51.93	48.17
Día 6	47.77	42.27	49.13	46.39
Día 7	46.87	43.1	52.07	47.34
Día 8	44.6	42.47	50.67	45.91
Día 9	41.7	39.43	48	43.04
Día 10	44.07	41.03	50.67	45.26
Día 11	37.87	38.17	45.97	40.67
Día 12	43.4	40.63	47.23	43.76
Día 13	44.87	41.23	48.77	44.96
Día 14	42.1	40.47	46.87	43.14
Día 15	40.17	38.43	43.37	40.66
Día 16	41.07	38	44.07	41.04
Día 17	56.2	49.83	57.9	54.64
Día 18	62.1	52.27	61.47	58.61
Día 19	63.83	57.87	61.3	61
Día 20	58.13	54.4	58.63	57.06
Día 21	55.63	52.83	56.3	54.92
Día 22	41.6	44.7	51.1	45.8
Día 23	48.77	45.83	49.7	48.1
Día 24	51.57	45.23	50.97	49.26
Día 25	52.47	46.33	51	49.93
Día 26	52.93	45.43	48.87	49.08
Día 27	51.63	44.8	48.07	48.17
Día 28	50.47	45.03	47.1	47.53
Día 29	46.8	42.3	44.77	44.62
Día 30	49.77	44.27	47.13	47.06
Semana 5	49.56	46.84	49.84	48.75
Semana 6	47.83	45.03	47.37	46.74
Semana 7	43.1	41.87	43.7	42.89
Semana 8	39	36.93	38.7	38.21
Semana 9	41.1	35.5	40.13	38.91
Semana 10	35.67	33.03	34.17	34.29
Semana 11	33.63	32.57	33.13	33.11
Semana 12	32.27	31.25	31.98	31.83

## b) Tratamiento 2

Nro. de Días	Tratamiento 2			Promedio
	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	
Día 1	31.77	31.33	33.03	32.04
Día 2	43.33	39.53	49.33	44.07
Día 3	53.8	49.57	55.3	52.89
Día 4	50.5	44.87	50.1	48.49
Día 5	48.5	42.43	49.17	46.7
Día 6	46.6	44	48.9	46.5
Día 7	48.9	46.17	49.6	48.22
Día 8	45.83	45.43	47.7	46.32
Día 9	45.27	44.1	45.9	45.09
Día 10	48.5	45.73	47.7	47.31
Día 11	44.63	42.87	44.27	43.92
Día 12	44.8	42.43	46.73	44.66
Día 13	46.4	43.27	47.73	45.8
Día 14	45.7	43.1	46.3	45.03
Día 15	43.8	39.73	43.63	42.39
Día 16	40.17	36.7	37.03	37.97
Día 17	44.7	42.87	44.87	44.14
Día 18	48.3	44.7	47.37	46.79
Día 19	59	52.33	58.27	56.53
Día 20	57.87	50.8	56.5	55.06
Día 21	55.7	52.07	54.87	54.21
Día 22	48.83	44.17	43.6	45.53
Día 23	49.63	45.37	47.87	47.62
Día 24	49.23	46.43	48.9	48.19
Día 25	48.87	49.2	50.2	49.42
Día 26	48.97	49.3	49.3	49.19
Día 27	47.87	48.4	49.43	48.57
Día 28	47.67	48.67	49.13	48.49
Día 29	45.27	45.1	46.63	45.67
Día 30	48.67	47.2	49.03	48.3
Semana 5	45.06	46.12	47.38	46.19
Semana 6	46.03	45.83	47.17	46.34
Semana 7	41	42.9	42.67	42.19
Semana 8	37.03	36.5	38.6	37.38
Semana 9	36.01	34.72	38.22	36.32
Semana 10	33.8	32.77	34.07	33.54
Semana 11	33.2	32.3	33.1	32.87
Semana 12	32.31	31.34	32.26	31.97

## c) Tratamiento 3

Nro. de Días	Tratamiento 3			Promedio
	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	
Día 1	35.73	31.7	30.53	32.66
Día 2	46.73	43.93	41.87	44.18
Día 3	52.67	53.57	50.6	52.28
Día 4	50.67	50.7	48.17	49.84
Día 5	54.13	52.77	47.5	51.47
Día 6	52.4	51.2	44.6	49.4
Día 7	51.97	50	46.9	49.62
Día 8	50.3	51.33	47.53	49.72
Día 9	49.03	47.1	44.77	46.97
Día 10	52.9	50.1	49.8	50.93
Día 11	50.53	46.5	44.9	47.31
Día 12	48.63	47.13	46.53	47.43
Día 13	49.9	49.2	47.1	48.73
Día 14	49.23	47.27	47	47.83
Día 15	48.27	47.27	44.67	46.73
Día 16	40.03	39.53	37.1	38.89
Día 17	45.2	43.5	40.27	42.99
Día 18	51.77	48.43	43.73	47.98
Día 19	59.53	59.43	52.33	57.1
Día 20	59.57	59.3	54.03	57.63
Día 21	58.23	56.83	53.93	56.33
Día 22	51.8	51.8	45.53	49.71
Día 23	51.07	49.13	46.9	49.03
Día 24	51.17	51.4	46.57	49.71
Día 25	52.3	50.17	48.63	50.37
Día 26	52.1	49.7	48.5	50.1
Día 27	50.73	47.83	48.93	49.17
Día 28	50.47	48.93	47.47	48.96
Día 29	47.1	45.27	43.8	45.39
Día 30	49.6	48.87	46.07	48.18
Semana 5	48.65	47.87	46.12	47.55
Semana 6	49.57	47.8	45.63	47.67
Semana 7	45.53	44.43	42.43	44.13
Semana 8	39.87	36.93	34.63	37.14
Semana 9	39.97	35.5	33.13	36.2
Semana 10	35.37	33.87	31.97	33.73
Semana 11	35.17	34.66	33.31	34.38
Semana 12	32.29	32.25	30.65	31.73

d) Resultados de temperatura durante la etapa de maduración

Nro. de Días	<i>Testigo</i>	Tratamientos		
		<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>
Día 91	34.95	32.22	32.56	32.13
Día 92	35.4	32.92	33.22	32.64
Día 93	35.83	33.35	33.16	33.08
Día 94	36.1	33.72	32.91	33.33
Día 95	35.64	33.48	32.65	32.96
Día 96	35.21	33.13	32.31	32.68
Día 97	35.26	32.72	31.93	32.29
Día 98	35.06	32.26	31.64	31.66
Día 99	35	31.94	31.49	31.8
Día 100	34	31.57	31.01	31.27
Día 101	35.47	33.46	32.92	33.1
Día 102	35.23	33.24	32.69	32.85
Día 103	35.02	33.02	32.58	32.61
Día 104	34.75	33.02	32.67	32.7
Día 105	34.8	33.2	32.88	32.79
Día 106	34.55	32.79	32.58	32.9
Día 107	34.36	33.08	32.31	32.56
Día 108	33.12	32.69	32.04	32.26
Día 109	32.95	32.32	31.76	31.92
Día 110	32.63	31.96	31.49	31.6
Día 111	32.38	31.55	31.23	31.29
Día 112	32.13	31.16	30.94	30.96
Día 113	31.82	30.72	30.7	30.62
Día 114	31.65	30.32	30.45	30.33
Día 115	31.45	30.69	30.49	30.22
Día 116	31.67	30.67	30.47	30.58

**Anexo 2:** Contenido de Humedad durante el proceso de compostaje.

### Contenido de Humedad por tratamiento y Testigo

Tratamiento 1

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T1R1	46.667	43.718	38.241	51.373	45.725	49.474	50.000
T1R2	41.754	46.154	30.711	54.470	55.267	55.028	51.790
T1R3	45.468	46.158	33.418	51.348	51.704	51.348	53.608
PROMEDIO	44.630	45.343	34.123	52.397	50.899	51.950	51.799

Tratamiento 2

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T2R1	58.645	47.782	26.432	58.594	50.333	52.855	49.880
T2R2	57.840	50.445	61.985	59.712	54.401	55.351	55.351
T2R3	54.808	44.055	30.642	56.293	45.314	48.992	49.020
PROMEDIO	57.098	47.427	39.686	58.200	50.016	52.399	51.417

Tratamiento 3

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T3R1	57.364	53.023	37.763	56.601	51.418	55.853	52.582
T3R2	50.125	46.066	30.829	52.525	48.368	52.197	48.936
T3R3	51.870	48.105	41.548	58.755	48.901	56.782	52.315
PROMEDIO	53.120	49.065	36.713	55.961	49.562	54.944	51.278

Testigo

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
TESTIGO	49.053	56.688	50.836	41.775	49.955	45.365	47.569

**Anexo 3:** Contenido de pH durante el proceso de compostaje.

**pH por tratamiento y Testigo**

Tratamiento 1

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T1R1	8.00	7.93	7.65	7.47	7.65	7.56	7.62
T1R2	7.93	7.89	7.15	7.64	7.67	7.54	7.52
T1R3	7.75	7.57	7.86	7.91	7.65	7.54	7.58
PROMEDIO	7.89	7.80	7.55	7.67	7.66	7.55	7.57

Tratamiento 2

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T2R1	7.95	7.89	7.96	8.17	7.69	7.39	7.54
T2R2	8.07	7.96	8.17	7.98	7.76	7.74	7.60
T2R3	8.09	7.98	8.16	8.02	7.85	7.77	7.65
PROMEDIO	8.04	7.94	8.10	8.06	7.77	7.63	7.60

Tratamiento 3

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T3R1	8.07	7.98	8.11	8.43	7.84	7.74	7.71
T3R2	8.12	8.09	7.92	8.51	7.81	7.69	7.67
T3R3	8.09	8.05	8.23	8.21	7.75	7.79	7.68
PROMEDIO	8.09	8.04	8.09	8.38	7.80	7.74	7.69

Testigo

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
TESTIGO	8.15	8.08	7.80	7.51	7.61	7.54	7.47

**Anexo 4:** Contenido de Conductividad Eléctrica durante el proceso de compostaje.

**C.E. (dS/m) por tratamiento y Testigo**

Tratamiento 1

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T1R1	0.146	0.150	0.153	0.174	0.187	0.191	0.199
T1R2	0.159	0.179	0.161	0.130	0.191	0.216	0.224
T1R3	0.155	0.162	0.152	0.143	0.173	0.194	0.198
PROMEDIO	0.153	0.164	0.155	0.149	0.184	0.200	0.207

Tratamiento 2

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T2R1	0.121	0.130	0.158	0.134	0.190	0.202	0.203
T2R2	0.129	0.147	0.107	0.165	0.197	0.200	0.217
T2R3	0.126	0.137	0.118	0.158	0.218	0.202	0.212
PROMEDIO	0.125	0.138	0.128	0.152	0.202	0.201	0.211

Tratamiento 3

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T3R1	0.139	0.154	0.112	0.124	0.196	0.199	0.202
T3R2	0.146	0.170	0.144	0.128	0.188	0.184	0.197
T3R3	0.125	0.126	0.124	0.132	0.180	0.178	0.197
PROMEDIO	0.136	0.150	0.127	0.128	0.188	0.187	0.199

Testigo

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
TESTIGO	0.1298	0.138	0.1883	0.217	0.238	0.226	0.234

**Anexo 5:** Contenido de Materia Orgánica durante el proceso de compostaje.

### Contenido de Materia Orgánica por tratamiento y Testigo

#### Tratamiento 1

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T1R1	74.048	65.944	61.576	63.729	51.651	48.275	53.425
T1R2	74.048	67.557	66.453	74.771	54.706	54.159	50.705
T1R3	74.048	70.033	62.092	66.854	52.431	48.659	50.599
PROMEDIO	74.048	67.845	63.374	68.451	52.929	50.364	51.576

#### Tratamiento 2

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T2R1	74.954	62.289	63.493	71.636	45.390	52.869	47.263
T2R2	74.954	62.644	68.036	51.749	47.558	48.476	45.908
T2R3	74.954	67.789	67.565	66.494	47.060	54.779	50.313
PROMEDIO	74.954	64.241	66.365	63.293	46.669	52.041	47.828

#### Tratamiento 3

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T3R1	76.162	61.894	65.464	64.984	44.155	44.694	48.502
T3R2	76.162	64.493	69.661	68.924	46.217	45.868	49.228
T3R3	76.162	53.194	54.949	64.320	41.802	45.942	50.281
PROMEDIO	76.162	59.860	63.358	66.076	44.058	45.501	49.337

#### Testigo

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
TESTIGO	77.672	64.553	62.013	54.734	58.211	45.949	50.282

**Anexo 6:** Contenido de Carbono Orgánico Total durante el proceso de compostaje.

**Contenido de Contenido de Carbono Orgánico Total por tratamiento y Testigo**

Tratamiento 1

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T1R1	42.948	38.247	35.714	36.963	29.958	27.999	30.986
T1R2	42.948	39.183	38.543	43.367	31.729	31.412	29.409
T1R3	42.948	40.619	36.013	38.776	30.410	28.222	29.347
PROMEDIO	42.948	39.350	36.757	39.702	30.699	29.211	29.914

Tratamiento 2

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T2R1	43.473	36.128	36.826	41.549	26.326	30.664	27.413
T2R2	43.473	36.333	39.461	30.015	27.584	28.116	26.627
T2R3	43.473	39.318	39.188	38.567	27.295	31.772	29.182
PROMEDIO	43.4732	37.2597	38.4916	36.7100	27.0683	30.1840	27.7404

Tratamiento 3

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
T3R1	44.174	35.898	37.969	37.691	25.610	25.922	28.131
T3R2	44.174	37.406	40.403	39.976	26.806	26.603	28.552
T3R3	44.174	30.852	31.870	37.306	24.245	26.646	29.163
PROMEDIO	44.174	34.719	36.748	38.324	25.554	26.391	28.615

Testigo

Repeticiones	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
TESTIGO	45.05	37.441	35.968	31.746	33.763	26.650	29.163

**Anexo 7:** Contenido de Nitrógeno durante el proceso de compostaje.

**a.) Contenido de Nitrógeno por tratamiento y Testigo**

Tratamiento 1

Muestras	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
Tratamiento 1	1.699	2.270	2.400	2.320	2.170	2.060	2.640

Tratamiento 2

Muestras	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
Tratamiento 2	1.574	2.370	2.240	2.250	2.360	2.480	2.480

Tratamiento 3

Muestras	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
Tratamiento 3	1.437	2.040	2.140	2.210	2.340	2.240	2.370

Testigo

Muestras	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
Testigo	1.3	1.890	2.120	2.110	2.160	2.030	2.380

**b.) Resultados de Laboratorio (L.A.S.P.A.F.)**

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE AGRONOMIA LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES	
<b>INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA</b>		
SOLICITANTE	:	JOSÉ MIGUEL GUZMÁN ANAYA
PROCEDENCIA	:	LIMV LIMV LA MOLINA
MUESTRA DE	:	COMPOST
REFERENCIA	:	H.R. 72264
BOLETA	:	4143
FECHA	:	27/07/2020

N° LAB	CLAVES	N. %
292	T04	2.11
293	T05	2.16
294	T08	2.03
295	T12	2.27
296	T13	2.40
297	T14	2.32
298	T15	2.17
299	T16	2.06
300	T22	2.37
301	T23	2.24
302	T24	2.25
303	T25	2.36
304	T26	2.48
305	T32	2.04
306	T33	2.14
307	T34	2.21
308	T35	2.34
309	T36	2.24

	 Braulio La Torre Martínez Jefe de Laboratorio
---	--

---

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5522  
Celular: 946-305-254  
e-mail: lab\_suelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : JOSÉ MIGUEL GUZMÁN ANAYA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA/ CEMTRAR  
MUESTRA DE : COMPOST  
REFERENCIA : H.R. 72398  
FACTURA : 4175  
FECHA : 27/08/2020

N° LAB	CLAVES	N %
353	T02	1.89
354	T03	2.12
355	T07	2.38



*B. La Torre*  
Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio

**Anexo 8:** Relación C/N durante el proceso de compostaje.

**Relación C/N por tratamiento y Testigo**

Tratamiento 1

Muestras	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
Tratamiento 1	25.281	17.335	15.315	17.113	14.147	14.180	11.331

Tratamiento 2

Muestras	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
Tratamiento 2	27.620	15.721	17.184	16.316	11.470	12.171	11.186

Tratamiento 3

Muestras	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
Tratamiento 3	30.750	17.019	17.172	17.341	10.920	11.782	12.074

Testigo

Muestras	Fechas de muestreo						
	18/11/2019	3/12/2019	18/12/2019	2/01/2020	17/01/2020	1/02/2020	16/02/2020
Testigo	34.654	19.810	16.966	15.045	15.631	13.128	12.254

**Anexo 9:** Resultados del Análisis de Fósforo P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> K<sub>2</sub>O.

**a.) Análisis de Fósforo por tratamiento y Testigo del Compost Final.**

<b>Tratamientos</b>	<b>%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>
Tratamiento 1	2.07
Tratamiento 2	1.94
Tratamiento 3	2.01
Testigo	2.19

**b.) Análisis de Potasio por tratamiento y Testigo del Compost Final**

<b>Tratamientos</b>	<b>%K<sub>2</sub>O</b>
Tratamiento 1	3.36
Tratamiento 2	3.52
Tratamiento 3	3.71
Testigo	3.89

c.) Resultados de Laboratorio (L.A.S.P.A.F.)

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE AGRONOMIA LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES			
<b>INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA</b>				
SOLICITANTE	:	JOSE MIGUEL GUZMAN ANAYA		
PROCEDENCIA	:	LIMA/LIMA/LA MOLINA/CEMTRAR		
MUESTRA DE	:	COMPOST		
REFERENCIA	:	H.R. 72397		
FACTURA	:	4175		
FECHA	:	27/08/2020		
Nº LAB	CLAVES	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
349	TRAT. 1	2.64	2.07	3.38
350	TRAT. 2	2.48	1.94	3.52
351	TRAT. 3	2.37	2.01	3.71
352	TESTIGO	2.48	2.19	3.89

  
*Braulio La Torre Martínez*  
Jefe de Laboratorio

---

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Tel.: 614-7900 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-6622  
Celular: 946-505-254  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

**Anexo 10:** Resultados de Análisis Microbiológicos y Huevos de Helmintos (Laboratorio Marino Tabusso).

**a.) Tratamiento 1**

	<p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274</p>	
<b>INFORME DE ENSAYO N° 2008196 - LMT</b>		
<b>SOLICITANTE : JOSE GUZMAN ANAYA</b>		
<b>DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO</b>		
<b>MUESTRA : COMPOST</b>		
<b>2008196) TRATAMIENTO 1</b>		
PROCEDENCIA	: La Molina - Lima	
TIPO DE ENVASE	: Bolsa de plástico	
CANTIDAD DE MUESTRA	: 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.	
ESTADO Y CONDICIÓN	: En buen estado y cerrado	
FECHA DE MUESTREO	: 2020 - 08 - 03	
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2020 - 08 - 04	
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	: 2020 - 08 - 05	
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2020 - 08 - 10	
<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA</b>		
<b>Análisis Microbiológico</b>		<b>Muestra 2008196</b>
¹Enumeración de coliformes totales (NMP/g)		< 3
¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/g)		< 3
¹Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)		< 3
²Cuento de larvas y huevos de Helmintos (N°/g)		0
<b>Métodos:</b> ¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acriba. ²Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa (2008), Water Research Commission, Part 2. WRC Report N° TT322/08		
<b>Observaciones:</b> Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.		
La Molina, 15 de agosto del 2020		
 <b>DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA</b> Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina Teléfono: 614/800 anexo 274 E-mail: <a href="mailto:lm1@lamolina.edu.pe">lm1@lamolina.edu.pe</a>		
<b>LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"</b> ☎ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: <a href="mailto:lm1@lamolina.edu.pe">lm1@lamolina.edu.pe</a> Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU		

b.) Tratamiento 2

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274	
<b>INFORME DE ENSAYO N° 2008197 - LMT</b>		
<b>SOLICITANTE : JOSE GUZMAN ANAYA</b>		
<b>DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO</b>		
<b>MUESTRA : COMPOST</b>		
<b>2008197) TRATAMIENTO 2</b>		
PROCEDENCIA	: La Molina - Lima	
TIPO DE ENVASE	: Bolsa de plástico	
CANTIDAD DE MUESTRA	: 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.	
ESTADO Y CONDICIÓN	: En buen estado y cerrado	
FECHA DE MUESTREO	: 2020 - 08 - 03	
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2020 - 08 - 04	
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	: 2020 - 08 - 05	
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2020 - 08 - 10	
<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA</b>		
<b>Análisis Microbiológico</b>		<b>Muestra 2008197</b>
¹Enumeración de coliformes totales (NMP/g)		< 3
¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/g)		< 3
¹Enumeración de Escherichia coli (NMP/g)		< 3
²Cuento de larvas y huevos de Helmintos (N°/g)		0
<b>Métodos:</b> International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acriba. ³Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa (2008). Water Research Commission, Part 2. WRC Report N° TT322/08		
<b>Observaciones:</b> Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.		
La Molina, 15 de agosto del 2020		
		
<b>DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA</b> Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina Teléfono: 6147800 anexo 274 E-mail: <a href="mailto:lm8@lamolina.edu.pe">lm8@lamolina.edu.pe</a>		
<b>LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"</b> ☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: <a href="mailto:lm8@lamolina.edu.pe">lm8@lamolina.edu.pe</a> Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU		

### c.) Tratamiento 3

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú Teléfono: 6147800 anexo 274	
<b>INFORME DE ENSAYO N° 2008198 - LMT</b>		
<b>SOLICITANTE : JOSE GUZMAN ANAYA</b>		
<b>DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO</b>		
<b>MUESTRA : COMPOST</b>		
<b>2008198) TRATAMIENTO 3</b>		
PROCEDENCIA	: La Molina - Lima	
TIPO DE ENVASE	: Bolsa de plástico	
CANTIDAD DE MUESTRA	: 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.	
ESTADO Y CONDICIÓN	: En buen estado y cerrado	
FECHA DE MUESTREO	: 2020 - 08 - 03	
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2020 - 08 - 04	
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	: 2020 - 08 - 05	
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2020 - 08 - 10	
<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA</b>		
<b>Análisis Microbiológico</b>		<b>Muestra 2008198</b>
*Enumeración de coliformes totales (NMP/g)		4
*Enumeración de coliformes fecales (NMP/g)		4
*Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)		4
*Cuento de larvas y huevos de Helmintos (N <sup>o</sup> /g)		0
<b>Métodos:</b>		
*International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part 8, (Trad. 1986) Reimp. 2000. Editorial Acribia.		
*Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa (2008). Water Research Commission, Part 2. WRC Report N° TT322/08		
<b>Observaciones:</b>		
Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.		
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.		
Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.		
La Molina, 15 de agosto del 2020		
		
<b>DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA</b>		
Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina		
Teléfono: 6147800 anexo 274 E-mail: <a href="mailto:lm8@lamolina.edu.pe">lm8@lamolina.edu.pe</a>		
<b>LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"</b>		
☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: <a href="mailto:lm8@lamolina.edu.pe">lm8@lamolina.edu.pe</a> Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU		

d.) Testigo



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú  
Teléfono: 6147800 anexo 274



**INFORME DE ENSAYO N° 2008195 - LMT**

SOLICITANTE : JOSE GUZMAN ANAYA

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : COMPOST

2008195) TESTIGO

PROCEDENCIA : La Molina - Lima  
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2020 - 08 - 03  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2020 - 08 - 04  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2020 - 08 - 05  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2020 - 08 - 10

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2008195
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/g)	< 3
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/g)	< 3
<sup>1</sup> Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	< 3
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helminthos (n°/Ag)	0

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods, 1983, 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000, Editorial Acriba.

<sup>2</sup>Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa.(2008), Water Research Commission, Part 2, WRC Report N° TT322/08

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 15 de agosto del 2020



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana

y Biotecnología "Marino Tabusso"

Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: [lm@lamolina.edu.pe](mailto:lm@lamolina.edu.pe)

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: [lm@lamolina.edu.pe](mailto:lm@lamolina.edu.pe)  
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERÚ

**Anexo 11:** Resultados de Análisis de Microelementos y Metales Pesados.

**Análisis de Microelementos y Metales Pesados por tratamiento y Testigo**

<b>Tratamientos</b>	<b>Cu (ppm)</b>	<b>Zn (ppm)</b>	<b>Pb (ppm)</b>	<b>Cd (ppm)</b>	<b>Cr (ppm)</b>
Tratamiento 1	46.00	333.00	33.00	1.93	0.61
Tratamiento 2	46.00	322.00	40.85	1.30	0.51
Tratamiento 3	49.00	400.00	27.03	1.33	0.55
Testigo	57.00	399.00	38.58	1.25	0.42

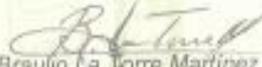
**b.) Resultados de Laboratorio (L.A.S.P.A.F.)**

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE AGRONOMIA LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES	
<b>INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA</b>		
SOLICITANTE	:	JOSE MIGUEL GUZMÁN ANAYA
PROCEDENCIA	:	LIMA/ LIMA/ CENTRAR
MUESTRA DE	:	COMPOST
REFERENCIA	:	H.R. 72272
BOLETA	:	4144
FECHA	:	27/07/2020

N° LAB	CLAVES	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
310	TRAT. 1 M.S. 800 gr	48.00	333.00	33.00	1.93	0.51
311	TRAT. 2 M.S. 600 gr	46.00	322.00	40.85	1.30	0.51
312	TRAT. 3 M.S. 591 gr	49.00	400.00	27.03	1.33	0.55
313	TRAT. CONTROL M.S. 800 gr	57.00	399.00	38.58	1.25	0.42

	 <b>Braulio La Torre Martínez</b> Jefe de Laboratorio
---	---

---

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 014-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
Celular: 946-505-254  
e-mail: lab.suelo@lamolina.edu.pe

**Anexo 12:** Rendimiento Final del Compost.

**a.) Rendimiento del compost tamizado (%)**

<b>Repetición \ Tratamiento</b>	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>	<b>Tratamiento 3</b>
Repetición 1	43.64	39.48	41.44
Repetición 2	32.68	36.64	40.28
Repetición 3	35.64	41.40	44.72
Promedio	37.32	39.17	42.15

**b.) Peso Final del compost tamizado (Kg.)**

<b>Repetición \ Tratamiento</b>	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>	<b>Tratamiento 3</b>
Repetición 1	218.20	197.40	207.20
Repetición 2	163.40	183.20	201.40
Repetición 3	178.20	207.00	223.60
Promedio	186.60	195.87	210.73

**c.) Peso del Compost final sin tamizar (Kg.)**

<b>Repetición \ Tratamiento</b>	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>	<b>Tratamiento 3</b>
Repetición 1	241.80	224.60	246.20
Repetición 2	188.00	205.60	234.60
Repetición 3	205.80	226.00	264.40
Promedio	211.87	218.73	248.40









**Anexo 14:** Pruebas estadísticas de parámetros evaluados.

**a) Análisis de Varianza para el parámetro Temperatura durante el proceso de compostaje y prueba de Tukey**

- A. N. V. A. para el parámetro Temperatura durante el proceso de compostaje:

<b>Análisis de Varianza 15 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	58.8818	2	29.4409	5.875	0.039	7.708
Error	30.0650	6	5.0108			
Total	88.9468	8				

<b>Análisis de Varianza 30 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	2.8222	2	1.4111	0.353	0.716	3.824
Error	23.9575	6	3.9929			
Total	26.7796	8				

<b>Análisis de Varianza 45 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	2.7638	2	1.3819	0.621	0.568	3.024
Error	13.3426	6	2.2238			
Total	16.1064	8				

<b>Análisis de Varianza 60 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	1.8867	2	0.9433	0.304	0.749	4.262
Error	18.6378	6	3.1063			
Total	20.5244	8				

<b>Análisis de Varianza 75 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.8985	2	0.4493	0.263	0.777	3.485
Error	10.2393	6	1.7065			
Total	11.1378	8				

<b>Análisis de Varianza 90 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.0870	2	0.0435	0.090	0.915	1.919
Error	2.8995	6	0.4832			
Total	2.9864	8				

- Prueba de Tukey para el día 15:

<b>Variable Temperatura 15 días</b>			
<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
1	3	40.6567	A
2	3	42.3867	AB
3	3	46.7367	B

**b) Análisis de Varianza para el parámetro Humedad durante el proceso de compostaje**

- A. N. V. A. para el parámetro Humedad durante el proceso de compostaje:

<b>Análisis de Varianza 15 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	20.8722	2	10.4361	1.249	0.352	6.302
Error	50.1487	6	8.3581			
Total	71.0209	8				

<b>Análisis de Varianza 30 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	46.4938	2	23.2469	0.165	0.851	28.620
Error	842.9057	6	140.4843			
Total	889.3995	8				

<b>Análisis de Varianza 45 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	51.3829	2	25.6914	4.736	0.058	5.834
Error	32.5465	6	5.4244			
Total	83.9294	8				

<b>Análisis de Varianza 60 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	2.7704	2	1.3852	0.089	0.916	6.906
Error	93.2347	6	15.5391			
Total	96.0052	8				

<b>Análisis de Varianza 75 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	15.6387	2	7.8193	0.972	0.431	5.322
Error	48.2472	6	8.0412			
Total	63.8858	8				

<b>Análisis de Varianza 90 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.4380	2	0.2190	0.034	0.967	4.276
Error	38.3544	6	6.3924			
Total	38.7925	8				

c) Análisis de Varianza para el parámetro pH durante el proceso de compostaje y prueba de Tukey

- A. N. V. A. para el parámetro pH durante el proceso de compostaje:

<b>Análisis de Varianza 15 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.0901	2	0.0450	3.052	0.122	1.885
Error	0.0885	6	0.0148			
Total	0.1786	8				

<b>Análisis de Varianza 30 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.5798	2	0.2899	5.071	0.051	4.292
Error	0.3430	6	0.0572			
Total	0.9228	8				

<b>Análisis de Varianza 45 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.7578	2	0.3789	13.629	0.006	4.229
Error	0.1668	6	0.0278			
Total	0.9246	8				

<b>Análisis de Varianza 60 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.0411	2	0.0205	26.042	0.001	0.982
Error	0.0047	6	0.0008			
Total	0.0458	8				

<b>Análisis de Varianza 75 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.0563	2	0.0281	1.786	0.246	1.797
Error	0.0945	6	0.0158			
Total	0.1508	8				

<b>Análisis de Varianza 90 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.0215	2	0.0107	5.372	0.046	0.849
Error	0.0120	6	0.0020			
Total	0.0335	8				

- Prueba de Tukey para el día 45, 60 y 90:

<b>Variable pH 45 días</b>			
<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
1	3	7.67333	A
2	3	8.05667	AB
3	3	8.38333	B

<b>Variable pH 60 días</b>			
<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
1	3	7.6567	A
2	3	7.6567	AB
3	3	7.8000	B

<b>Variable pH 90 días</b>			
<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
1	3	7.5733	A
2	3	7.5967	AB
3	3	7.6867	B

**d) Análisis de Varianza para el parámetro Conductividad Eléctrica durante el proceso de compostaje**

- A. N. V. A. para el parámetro Conductividad Eléctrica durante el proceso de compostaje:

<b>Análisis de Varianza 15 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.0010	2	0.0005	1.951	0.223	11.806
Error	0.0015	6	0.0003			
Total	0.0025	8				

<b>Análisis de Varianza 30 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.0016	2	0.0008	2.356	0.176	15.505
Error	0.0020	6	0.0003			
Total	0.0036	8				

<b>Análisis de Varianza 45 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.0011	2	0.0005	1.991	0.217	12.695
Error	0.0016	6	0.0003			
Total	0.0026	8				

<b>Análisis de Varianza 60 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.0005	2	0.0003	2.189	0.193	6.550
Error	0.0007	6	0.0001			
Total	0.0013	8				

<b>Análisis de Varianza 75 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.0004	2	0.0002	1.922	0.226	5.143
Error	0.0006	6	0.0001			
Total	0.0010	8				

<b>Análisis de Varianza 90 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	0.0002	2	0.0001	1.239	0.355	4.775
Error	0.0005	6	0.0001			
Total	0.0008	8				

e) **Análisis de Varianza para el parámetro Materia Orgánica del compost durante el proceso de compostaje y prueba de Tukey**

- A. N. V. A. para el parámetro Materia Orgánica del compost durante el proceso de compostaje:

<b>Análisis de Varianza 15 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	95.9279	2	47.9639	2.952	0.128	7.685
Error	97.4798	6	16.2466			
Total	193.4076	8				

<b>Análisis de Varianza 30 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	17.9878	2	8.9939	0.381	0.699	6.942
Error	141.7189	6	23.6198			
Total	159.7067	8				

<b>Análisis de Varianza 45 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	39.9951	2	19.9976	0.413	0.679	9.744
Error	290.2875	6	48.3813			
Total	330.2826	8				

<b>Análisis de Varianza 60 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	124.7110	2	62.3555	21.531	0.002	8.801
Error	17.3762	6	2.8960			
Total	142.0871	8				

<b>Análisis de Varianza 75 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	69.2388	2	34.6194	4.770	0.058	7.616
Error	43.5426	6	7.2571			
Total	112.7813	8				

<b>Análisis de Varianza 90 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	21.3356	2	10.6678	3.784	0.086	4.410
Error	16.9137	6	2.8189			
Total	38.2493	8				

- Prueba de Tukey para el día 60:

<b>Variable M. O. 60 días</b>			
<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
1	3	52.9293	A
2	3	46.6694	B
3	3	44.0578	B

**f) Análisis de Varianza para el parámetro Peso del Compost final tamizado**

<b>Análisis de Varianza 90 días</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados ajustados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio Ajustado</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>Coef. Var.</b>
Tratamientos	889.3067	2	444.6533	1.236	0.355	9.872
Error	2159.2533	6	359.8756			
Total	3048.5600	8				

Anexo 15: Caracterización del estiércol equino.

Relación Carbono – Nitrógeno del estiércol equino

- Análisis de Laboratorio:



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA**  
LABORATORIO DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (LASAQ)



**INFORME DE ENSAYOS**  
**LASAQ N°10-2019-DQ**

SOLICITANTE : José Miguel Guzmán Anaya  
PRODUCTO DECLARADO : Excreta de Equino  
NÚMERO DE MUESTRAS : 01  
CANTIDAD RECIBIDA : 500 g  
MARCA : sin marca  
FORMA DE PRESENTACIÓN : En bolsa de plástico  
MUESTREO POR : Muestra proporcional a por el solicitante.  
FECHA DE RECEPCIÓN : 22 de abril del 2019  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO: 03 de mayo del 2019  
ENSAYOS SOLICITADOS : ANALISIS VARIOS DE COMPOST

ENSAYO	RESULTADOS
1.- Humedad (%)	10.36
2.- Cenizas Totales (% MS )	22.30
3.- Carbono Orgánico Total (%MS)	45.05
4.- Nitrógeno (%MS)	1.30
5.- Relación C/N	34.66

\* AN: María Vera  
\*\* AN: María Miroslava

**MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:**

- 1.- BGR I. II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.8.2
- 2.- ASTM American Society for testing and materials 1998 D 5142-98
- 3.- BGR I. II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.1.3 (Por Cálculo)
- 4.- BGR I. II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.2
- 5.- BGR I. II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 2.1 A (Por Cálculo)

Atentamente:



Mg. Sr. Diego Saucedo Ramos  
JEFE DEL LABORATORIO DE  
ANÁLISIS QUÍMICO



Mg. Sr. José Carlos Pablos  
DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO  
ACADÉMICO DE QUÍMICA

Departamento Académico de Química - TEL: 0117880 Anaya (365-8371)  
Av. La Molina s/n La Molina Facultad de Ciencias (1er. Piso)  
Email: [quimica@unalmolina.edu.pe](mailto:quimica@unalmolina.edu.pe)

## Anexo 16: Caracterización del material vegetal.

### Relación Carbono – Nitrógeno del material vegetal

- Análisis de Laboratorio:



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA  
LABORATORIO DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (LASAQ)



**INFORME DE ENSAYOS**  
**LASAQ N°37-2019-DQ**

SOLICITANTE : José Miguel Guzmán Anaya  
PRODUCTO DECLARADO : Grasa  
NÚMERO DE MUESTRAS : 01  
CANTIDAD RECIBIDA : 500 g  
MARCA : sin marca  
FORMA DE PRESENTACIÓN : En bolsa de plástico  
MUESTREO POR : Muestra proporcionada por el solicitante.  
FECHA DE RECEPCIÓN : 12 de setiembre del 2019  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO : 18 de setiembre del 2019  
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO

ENSAYO	RESULTADOS
1.-Humedad (%)	10.70
2.-Cenizas Totales % MS	29.90
3.- Pérdidas por calcinación LOI (%MS)	70.1
4.- Carbono Orgánico Total (%MS)	40.67
5.- Nitrógeno (%MS)	2.69
6.- Relación C/N	15.12

**MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:**

- 1.- BGBl II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.8.2
- 2.- ASTM American Society for testing and materials 1998 D 5142-90
- 3.- BGBl II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.1.1 (Por Cálculo)
- 4.- BGBl II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.1.3 (Por Cálculo)
- 5.- BGBl II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.2
- 6.- BGBl II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.1.4 (Por Cálculo)

*Atentamente:*



Mg. Sr. Hugo Suarez Jimenez  
JEFE DEL LABORATORIO DE  
ANÁLISIS QUÍMICO



DIRECCIÓN  
Mg. Sr. Julia Castro Peña  
DIRECCIÓN DEL DEPARTAMENTO  
ACADÉMICO DE QUÍMICA

Departamento Académico de Química - TE. 6147000 Arequipa (385-307)  
Av. La Molina s/n La Molina Facultad de Ciencias (1er. Piso)  
Email: [aq@unalmolina.edu.pe](mailto:aq@unalmolina.edu.pe)



