

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Eficiencia de la gallinaza en la elaboración de compost mediante pilas dinámicas, a partir de los residuos orgánicos de la Universidad Peruana Unión

Por:

Mayron Jhonatan Guizado Gonzales

Asesor:

PhD. Leonor Segunda Bustinza Cabala

Lima, noviembre de 2018

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

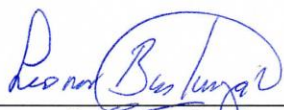
PhD. Leonor Segunda Bustinza Cabala, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Eficiencia de la gallinaza en la elaboración de compost mediante pilas dinámicas, a partir de los residuos orgánicos de la Universidad Peruana Unión" constituye la memoria que presenta el Bachiller Mayron Jhonatan Guizado Gonzales para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Ambiental ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima, a los 8 de noviembre del 2018.



PhD. Leonor Segunda Bustinza Cabala

Eficiencia de la gallinaza en la elaboración de compost mediante pilas
dinámicas, a partir de los residuos orgánicos de la Universidad
Peruana Unión


TESIS


Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental


JURADO CALIFICADOR


Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez
Presidenta


Mg. Joel Hugo Fernández Rojas
Secretario


Ing. Evelyn Diana Ruiz Gonzales
Vocal


MSc. Javier Linkolk López Gonzales
Vocal


Ph.D. Leonor Segunda Bustinza Cabala
Asesora

Lima, 13 de agosto de 2018

DEDICATORIA

A Dios, por cuidarme todo este tiempo y darme la oportunidad de alcanzar un sueño, también a mis padres Eugenio Guizado y Rayda Gonzales por darme todo su apoyo y educación para que pueda alcanzar este peldaño de mi vida.

Mayron Jhonatan Guizado Gonzales

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la sabiduría, la oportunidad de abrir corazones de otras personas, por un trabajo para sustentarme económicamente y por la salud de todos mis familiares.

A mis padres: Eugenio Guizado Baldeón y Rayda Gonzales Rodriguez, por todo el apoyo y la confianza para terminar mi tesis.

A mi asesora, Ph. D Leonor Bustinza Cabala, por asesorarme y tenerme paciencia.

A el Ingeniero Javier Córdor Huamán por facilitarme el ingreso a la mina El porvenir en Cerro de Pasco y todo su apoyo.

A la UPeU, en especial a la Gerencia de Servicio por brindarme un espacio para realizar mi investigación en el campus, también agradecer por ayudarme con el transporte de los residuos orgánicos y parte del presupuesto de los análisis de laboratorio. También agradecer al Centro de Aplicación Editorial Imprenta Unión, mediante su Gerente CPC Juan Elías Ilquimiche Sánchez por darme las facilidades en la ejecución y los permisos pertinentes.

A mis docentes por su apoyo incondicional y su paciencia para atender mis inquietudes.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN -----	xvi
ABSTRACT-----	xvii
CAPITULO I EL PROBLEMA -----	18
1.1 Identificación del problema.....	18
1.2 Justificación de la investigación.....	21
1.3 Objetivos.....	22
1.1.1 Objetivos Específicos -----	22
CAPITULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA -----	23
2.1 Normas Nacionales Referentes al Manejo de Residuos Orgánicos.....	24
2.1.1 Constitución política del Perú -----	24
2.1.2 Ley General del Ambiente (Ley 28611)-----	24
2.1.3 Ley y reglamento de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.L. 1278 y D.S. N° 014- 2017-MINAM) -----	25
2.2 Residuos Sólidos	25
2.2.1 Residuos Inorgánicos -----	27
2.2.2 Residuos Orgánicos -----	27
2.2.3 Materia Orgánica -----	28
2.3 Compostaje.....	31
2.3.1 Sistemas de compostaje-----	32
2.3.2 Inoculantes-----	39

2.3.3	Fases del proceso de compostaje -----	43
2.3.4	Biología del proceso de compostaje -----	46
2.3.5	Parámetros del proceso de compostaje -----	50
2.4	Compost.....	56
2.4.1	Normas referentes a la calidad el compost-----	59
2.4.2	Parámetro de calidad -----	59
2.4.3	Beneficios del compost -----	62
2.5	Métodos de medición de los factores de estudio.	65
2.5.1	Determinación de humedad -----	65
2.5.2	Determinación de pH -----	66
2.5.3	Determinación de nitrógeno total -----	66
2.5.4	Determinación de materia orgánica y cenizas -----	69
2.5.5	Determinación de carbono orgánico -----	70
2.5.6	Determinación de fósforo total -----	71
2.5.7	Determinación de potasio total -----	73
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS -----		76
3.1	Lugar de Ejecución.....	76
3.2	Materias Primas	76
3.3	Variables de Medición.....	76
3.4	Equipos, Materiales e Insumos.....	78
3.4.1	Equipo-----	78
3.4.2	Materiales -----	78

3.4.3	Insumos -----	79
3.5	Metodología Experimental	79
3.5.1	Generación de residuos -----	81
3.5.2	Pre compostaje -----	83
3.5.3	Compostaje -----	89
3.5.4	Análisis fisicoquímicos del compost-----	94
3.5.5	Comparación de medias -----	95
3.5.6	Eficiencia del tratamiento óptimo -----	98
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES-----		99
4.1	Condiciones climáticas	99
4.2	Análisis de la materia prima al proceso de compostaje.....	101
4.3	Análisis de los parámetros de control en proceso de compostaje	102
4.3.1	Temperatura en los tratamientos -----	102
4.3.2	Potencial de hidrogeno en los tratamientos -----	105
4.4	Análisis del compost.....	108
4.4.1	Influencia del proceso de compostaje -----	114
4.4.2	Calidad de compost-----	125
4.4.3	Tratamiento óptimo -----	137
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-----		142
5.1	CONCLUSIONES.....	142
5.2	RECOMENDACIONES	144
REFERENCIAS -----		145

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas de Compostaje	33
Tabla 2. Cuadro Comparativo entre los Sistemas de Compostaje	38
Tabla 3. Composición de los Estiércoles	39
Tabla 4. Porcentaje de Nutrientes del Estiércol Vacuno.....	40
Tabla 5. Composición Química del Estiércol de Cuy.....	41
Tabla 6. Producción de Estiércol de Gallinaza	41
Tabla 7. Nutrientes de la Gallinaza en el Tiempo.....	42
Tabla 8. Biología del Compostaje Aeróbico.....	47
Tabla 9. Temperaturas y Tiempo para la Destrucción de Patógenos.....	49
Tabla 10. Relación Carbono / Nitrógeno (C/N).....	52
Tabla 11. Relación C/N en Función a la Presencia de Carbono	53
Tabla 12. Especificaciones Referenciales de la Calidad del Compost	58
Tabla 13. Parámetros Óptimos del Compost Comunidad Europea (CE).....	59
Tabla 14. Relación Óptima de la Relación C/N.....	61
Tabla 15. Índice de Calidad Microbiológica del Compost	62
Tabla 16. Valores Permisibles de los Microorganismos Patógenos en el Compost	62
Tabla 17. Cantidades Utilizadas en la Curva de Fósforo.....	71
Tabla 18. Puntos de generación de residuos orgánicos.....	82
Tabla 19. Distribución de Tratamientos.....	88
Tabla 20. “Fase Mesófila”	90
Tabla 21. Fase Termófila	91
Tabla 22. Fase de Enfriamiento	91

Tabla 23. Fase de Maduración	93
Tabla 24. Parámetros Óptimos de Residuos Compostable	95
Tabla 25. Análisis de los Tratamientos.....	98
Tabla 26. Resultados de las Variables de la Materia Prima.....	102
Tabla 27. Resultados del Análisis de Compost en el Tratamiento 1	108
Tabla 28. Resultados del Análisis de Compost en el Tratamiento 2	109
Tabla 29. Resultados del Análisis de compost en el tratamiento 3.....	109
Tabla 30. Resultados del Análisis de Compost en el Tratamiento 4	110
Tabla 31. Pesos del Tamiz 15 mm y Peso Final	113
Tabla 32. Pruebas de Homogeneidad de Varianzas.....	138
Tabla 33. ANOVA de los Factores Fisicoquímicos.....	139
Tabla 34. Subconjuntos Homogéneos de la Fracción Degradada de 15 mm.....	140
Tabla 35. Comparación de los Parámetros Fisicoquímicos entre Tratamientos	141

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los Residuos (SPDA, 2009).....	26
Figura 2. Esquema de la Evolución de la Materia Orgánica que llega al Suelo (Adaptado de Ribo, 2004).	29
Figura 3. Reactor Cilíndrico (Saña y Soliva, 1987).....	36
Figura 4. Reactor Circular Dinámico (Saña y Soliva, 1987).	37
Figura 5. Hongo Indicador de la Fase Mesófito 2.....	45
Figura 6. Temperatura, Oxígeno y pH en el Proceso de Compostaje (P. Román, FAO, 2013). ..	46
Figura 7. Elaboración de Compost por Pilas Dinámicas, a partir de los Residuos Orgánicos de la UPeU (elaboración propia, 2018).	80
Figura 8. Plano de Ubicación de la Planta Piloto.....	82
Figura 9. Preparado de Terreno.	83
Figura 10. Instalación de Estructura.	84
Figura 11. Planta Piloto de Compostaje.....	84
Figura 12. Dimensión Piloto del Proceso de Compostaje.....	85
Figura 13. Contenedor de Segregación en el Comedor Universitario	86
Figura 14. Transporte de los Residuos de los Comedores	86
Figura 15. Deshumedación de los Residuos Orgánicos.....	87
Figura 16. Picado de los Residuos Orgánicos.....	87
Figura 17. Armado de Pilas en Base a los Tratamientos.	88
Figura 18. Termómetro Digital con Sonda.	89
Figura 19. Temperatura Ambiental del Mes de Abril del 2017.....	99
Figura 20. Temperatura Ambiental del Mes de Mayo del 2017.....	99

Figura 21. Temperatura Ambiental del Mes de Junio del 2017.....	100
Figura 22. Temperatura Ambiental del Mes de Julio del 2017.....	100
Figura 23. Temperatura del Tratamiento 1.	103
Figura 24. Temperatura del Tratamiento 2.	103
Figura 25. Temperatura del Tratamiento 3.	104
Figura 26. Temperatura del Tratamiento 4.	105
Figura 27. pH del Tratamiento 1.....	106
Figura 28. pH del Tratamiento 2.....	106
Figura 29. pH del Tratamiento 3.....	107
Figura 30. pH del Tratamiento 4.....	107
Figura 31. Comparación del pH Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.	115
Figura 32. Comparación de la Conductividad Eléctrica Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.	116
Figura 33. Comparación de la Humedad Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.....	117
Figura 34. Comparación de la Materia Orgánica Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.	118
Figura 35. Comparación del Nitrógeno Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.....	119
Figura 36. Comparación del Fósforo Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.	120
Figura 37. Comparación del Potasio Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.	121
Figura 38. Comparación del Calcio Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.	122
Figura 39. Comparación del Magnesio Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.	123
Figura 40. Comparación de la Diferencia de Peso de Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.	124

Figura 41. Comparación del pH con la Norma de Referencia de 5 a 8.5.	126
Figura 42. Comparación de la Conductividad Eléctrica con la Norma de Referencia de 3 dS/m a 8 dS/m.	127
Figura 43. Comparación de la Humedad con la Norma de Referencia de 30 % a 40 %.	128
Figura 44. Comparación de la Materia Orgánica con la Norma de Referencia mayor a 20 %...	129
Figura 45. Comparación del Carbono con la Norma de Referencia de 8 % a 50 %.....	130
Figura 46. Comparación del Nitrógeno con la Norma de Referencia de 1.4 % a 3.5 %.	131
Figura 47. Comparación del Fósforo con la Norma de Referencia de 1.4 % a 3.5 %.	132
Figura 48. Comparación del Potasio con la Norma de Referencia mayor de 1 %.....	133
Figura 49. Comparación del Calcio con la Norma de Referencia mayor de 1 %.	134
Figura 50. Comparación del Magnesio con la Norma de Referencia mayor de 1 %.....	135
Figura 51. Comparación de la Relación C/N con la Norma de Referencia menor a 15.	136
Figura 52. Comparación de la Reducción de Peso con la Norma de Referencia mayor a 70 %. 137	
Figura 53. Demostración gráfica del tratamiento óptimo.	141

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Implementación de la planta piloto de compostaje	155
Anexo 2: Generación, segregación y transporte de los residuos a compostar	158
Anexo 3: Laboratorios	159
Anexo 4: Almacenamiento, deshumedación y preparado de pilas.	160
Anexo 5: Proceso de Compostaje	163
Anexo 6: Pesos y tamizado del compost.....	168
Anexo 7. Descriptivos y prueba de normalidad de Shapiro - Wilk de los parámetros físicoquímicos, en función a los tratamientos.....	169
Anexo 8 Resumen de Prueba de T para muestras relacionadas.....	173
SW = Shapiro – Wilk. Anexo 9 Resumen de Prueba de T para una muestra.....	176
Anexo 10: Análisis de entrada realizadas en los laboratorios de suelos de la AGRARIA	181
Anexo 11: Análisis de materia orgánica de la gallinaza en los laboratorios de suelos de la AGRARIA	182
Anexo 12: Análisis de salida realizadas en los laboratorios de la INIA-DONOSO (Huaral)	183

RESUMEN

La investigación determinó la eficiencia de la gallinaza en la elaboración de compost mediante pilas dinámicas, a partir de los residuos orgánicos de la Universidad Peruana Unión. Se realizó el proceso de compostaje por un periodo de 93 días. Las pilas contenían: residuos frescos vegetales de comedores, poda de césped y la gallinaza; con estos se conformaron los siguientes tratamientos: tratamiento 1 con 75:15:10, tratamiento 2 con 75:10:15, tratamiento 3 con 75:5:20 y el tratamiento 4 75:0:25, cada tratamiento tuvo 3 réplicas. Se analizaron los parámetros fisicoquímicos de las materias primas, se controló en el proceso de compostaje el pH y la temperatura, y en el compost sus parámetros fisicoquímicos. Los parámetros fisicoquímicos del estudio fueron NPK, Fracción degradada de 15 mm, y peso final.

Obteniendo como resultado, que el tratamiento 4 tuvo una diferencia significativa con 3.6 kg de fracción degradada que pasó por el tamiz de 15 mm a diferencia de los otros tratamientos, y su caracterización fisicoquímica en promedio fue de pH 9.69, C.E. 6.1 dS/m 1:5, Humedad 7 %, Materia Orgánica 45.06 %, Nitrógeno 2.66 %, Fósforo 3.15 %, Potasio 3.92 %, Calcio 8.9 %, Magnesio 1.14 %, relación C/N de 10 y reducción de masa de 84.5 %.

Se concluye que el tratamiento 4 es el mejor, porque tiene significancia en la obtención de partículas degradadas menores a 15 mm recomendadas por la NCH 2880-2004. Con respecto a su calidad, el compost cumple con todas las referencias optadas por esta investigación.

Palabras Claves: Gallinaza, Compost, Residuos Orgánicos, NPK, Fracción Degradada.

ABSTRACT

The research determined the efficiency of the gallinaza in the elaboration of compost by means of dynamic piles, from the organic residues of the Universidad Peruana Unión. The composting process was performed for a period of 93 days. The piles contained: fresh vegetable waste from dining rooms, lawn mowing and the gallinaza; with these the following treatments were formed: treatment 1 with 75:15:10, treatment 2 with 75:10:15, treatment 3 with 75: 5: 20 and treatment 4 75: 0: 25, each treatment had 3 replications. The physicochemical parameters of the raw materials were analyzed, the pH and temperature were controlled in the composting process, and the physicochemical parameters in the compost. The physicochemical parameters of the study were NPK, Fraction degraded of 15 mm, and final weight.

Obtaining as a result, that treatment 4 had a significant difference with 3.6 kg of degraded fraction that passed through the 15 mm sieve unlike the other treatments, and its physicochemical characterization on average was pH 9.69, C.E. 6.1 dS / m 1: 5, Moisture 7%, Organic Matter 45.06%, Nitrogen 2.66%, Phosphorus 3.15%, Potassium 3.92%, Calcium 8.9%, Magnesium 1.14%, C / N ratio of 10 and mass reduction of 84.5% .

It is concluded that treatment 4 is the best, because it has significance in obtaining degraded particles smaller than 15 mm recommended by NCH 2880-2004. With respect to its quality, the compost complies with all the references chosen for this research.

Key Words: Gallinaza, Compost, Organic Waste, NPK, Degradation Fraction

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

La generación de residuos sólidos está aumentando paulatinamente, debido al crecimiento demográfico y por el cambio de patrón del consumo de la población. Según su composición los residuos sólidos se clasifican en: residuos inorgánicos y los residuos orgánicos. Los residuos sólidos se componen de un 60 % hasta 70 % de residuos orgánicos.

La alta generación de residuos orgánicos y su inadecuado manejo ocasionan problemas de contaminación ambiental (Aira, Gonzalez, & Dominguez, 2011). Tales como: generación de lixiviados, producción de gases de efecto invernadero, proliferación de vectores, enfermedades infecciosas, contaminación de suelo y agua (Junkes, 2012). Por lo que se requiere estrategias para el manejo de los residuos orgánicos (Del Puerto, Concepción, & Iglesias, 1999).

En América Latina los residuos orgánicos tienen su disposición final en un relleno sanitario, que es una alternativa poco amigable con el medio ambiente (MINAM, 2009). Por otro lado, la ausencia de un aprovechamiento de los residuos sólidos demanda la construcción de más rellenos sanitarios, con correctos criterios y zonas determinadas para su instalación, y un alto presupuesto para su construcción (Maldonado, 2006). Por lo que se propone la segregación de los residuos orgánicos para su aprovechamiento.

En el Perú no se acostumbra segregar los residuos orgánicos, debido a la falta de educación ambiental y ausencia de programas de segregación; de manera que se requieren estrategias óptimas para su aprovechamiento. La estrategia que se aplica en otros países es la elaboración de compost; porque este tratamiento se encarga de reducir el peso, el volumen y reactividad de los residuos orgánicos mediante la degradación de la materia orgánica, por la

acción de los microorganismos como: las bacterias y hongos, en su mayoría (Pomares & Canet, 2001).

El compostaje se encarga de estabilizar la materia orgánica proporcionando nutrientes para el suelo, que son aprovechados por la fauna microbiana y las plantas (Huerta, 2011).

La presencia de resto de comida en el proceso de compostaje ralentiza dicho proceso, por la presencia de carnes, lácteos, grasa, aceites, sales y restos de conserva. Esto provoca malos olores, no permite la higienización del compost y el aumento de la salinidad, como resultado la calidad del producto es inferior. Por ejemplo, en España, se realizó compostaje de residuos orgánicos en la fuente generadora (domicilio), en este estudio se presentaron inconvenientes generados por los residuos de comida, donde el proceso de compostaje generó una elevada humedad y acidez del medio, dejando desarrollar solo la fase mesofílica del proceso, lo que provocó un compost ácido y con mucho contenido de aceite (Aguirre, Ansorena, & Gundin, 2011). Este compost inmaduro no puede ser empleado en el suelo porque lo degradaría. De igual manera en muchos lugares del país, donde se elabora el compost de esta manera, ósea sin los conocimientos técnicos tanto para la entrada del proceso, los parámetros de control y los resultados de la calidad del compost. En el Perú, no existen lineamientos o normas nacionales en materia de elaboración y calidad del compost, por lo que al momento de emplearlo pueden estar deteriorando el suelo por el contenido de acidez, aceites y grasas (Ansorena, 2011).

En el proceso del compostaje el tiempo de estabilización de la materia orgánica depende del desarrollo de las poblaciones bacterianas, la temperatura y el pH (Mengs, 2011). Es por ello la importancia de elegir correctamente el agente inoculante con buena cantidad de microorganismos; dentro de los mejores están el estiércol de bovino, ovino, cuy y gallinaza. Siendo la gallinaza el mejor de todos, por su contenido de nitrógeno.

La Universidad Peruana Unión, no es ajena a este problema, debido a que no tiene políticas en el aprovechamiento de los residuos orgánicos. Según la caracterización de los residuos sólidos de la UPeU, se genera 220 kg/día de residuos orgánicos de sus comedores y 10 kg/día de residuos de poda de césped. Estos residuos son transportados internamente al centro de acopio final, y sin previa segregación son transportados a un relleno sanitario por el camión recolector de la municipalidad de Lurigancho. Esta práctica hace que la generación de residuos no aprovechables aumente y consuma la vida útil de los rellenos sanitarios. Cuando no se realiza la segregación y aprovechamiento de los residuos orgánicos, provoca la presencia vectores y malos olores por la putrefacción de los mismos. Complementando a esto, se suma el inadecuado manejo interno provoca en la persona, estrés y un impacto visual. En el Decreto Legislativo 1278 y Decreto Supremo 014-2017-MINAM, se considera la valoración de los residuos orgánicos mediante compostaje como alternativa de gestión y como prioridad, el cual decreta implementarlo, y en caso contrario se impondrán las sanciones pertinentes.

Es por ello que esta tesis tiene una importancia significativa porque promueve la disminución de los residuos orgánicos y su aprovechamiento para la elaboración de compost que va ser usado como abono agrícola o comercializado.

1.2 Justificación de la investigación

La elaboración de compost a partir de los residuos orgánicos, disminuyen la generación de residuos sólidos, que son dispuestos en los rellenos sanitarios, por lo tanto, prolonga la vida útil de los mismos. Además, evita la generación de lixiviados en los centros de acopio de residuos sólidos, disminuyendo la contaminación de los suelos y aguas subterráneas, reduce la proliferación de vectores y la formación de malos olores, el cual afectan a los estudiantes, trabajadores y residentes del campus universitario.

La elaboración de compost genera la reducción de costos para las empresas que tienen extensas áreas verdes, como la UPeU. Porque el compost se aplica a las mismas áreas verdes, tanto para la jardinería y paisajismo. Además, esto reduce el uso de abonos inorgánicos que perjudican la fertilidad del suelo.

El compost es una fuente de nutrientes para las plantas, en especial el nitrógeno que aumenta el follaje, ayudando al intercambio gaseoso y la captura de carbono. También se puede utilizar como enmienda de suelo, para aquellos suelos infértiles y obtener más áreas disponibles para la agricultura y forestación.

Al elaborar compost en la UPeU permitirá establecer políticas ambientales en el manejo de los residuos orgánicos, y servirán como metodología de enseñanza para los niveles secundario y universitario; incentivando, concientizando y creando actitudes proambientales en los actores de la Universidad Peruana Unión.

1.3 Objetivos

Determinar la eficiencia de la gallinaza en la elaboración de compost mediante pilas dinámicas, a partir de los residuos orgánicos de la Universidad Peruana Unión

1.1.1 Objetivos Específicos

- Medir los parámetros de control del proceso de compostaje
- Analizar los parámetros fisicoquímicos del compost.
- Comparar los parámetros fisicoquímicos del compost con las normas referenciales y entre tratamientos.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Existen tensiones que pueden interrumpir el orden global debido a la escasez de la energía convencional, el alto aumento de la población global con alta demanda de alimentos, el aumento de la brecha económica entre las clases sociales y también entre los países, sumando también el uso indiscriminado de los bienes de los ecosistemas, que generan el calentamiento global y por ende desastres naturales catastróficos (FWE, 2014).

Una Alternativa para evitar este problema es mediante el avance de la sustentabilidad ambiental de la industrias y la vida doméstica; en un enfoque económico de modelo circular (Braungart, 2005). El enfoque circular tiene una base ecológica y propone transformar al paradigma “reducir, reutilizar y reciclar”, a un enfoque profundo y duradero; con el objetivo de reducir el impacto ambiental causado por las actividades antropogénicas (Braungart, 2005). Este enfoque da una mayor relevancia a los residuos, considerando su reutilización inteligente, ya sea de origen natural o antropogénico, siguiendo el ciclo que tiene la naturaleza, dejando de ser un residuo y convirtiéndose en materia prima de los ciclos naturales o nuevos productos tecnológicos, con mínimos gastos energéticos (Lett, 2014).

Desde la perspectiva nacional los residuos sólidos carecen de un valor de uso, haciendo despreciable y requiriendo un pago para que sean evacuados lejos de su generación y presentándose como un mal dentro de la instalación (Andre & Cerda, 2008). Desde este punto de vista se ha considerado implementar sistema de gestión de residuos sólidos, donde se aplica el reaprovechamiento y la minimización de los mismos (CONAM, 2006). Por lo cual, se estaría cumpliendo el objetivo del enfoque cíclico, pero la realidad

peruana es diferente; en el 2002 se generó 12986 toneladas al día de residuos sólidos, de los cuales solo 1909 (14.7%) fueron reciclados y la mayoría de manera informal, por otro lado el 60% de estos residuos sólidos generados eran de origen orgánico (CONAM, 2006). Gran parte de estos residuos orgánicos son dispuestos a rellenos sanitarios, botaderos o como comida de animales, desaprovechando un bien natural que puede servir como nutriente para las plantas y enmienda de suelos (Angarita, 2010).

La tecnología aplicada al aprovechamiento de los residuos orgánicos es el compostaje, a continuación, las referencias más importantes sobre la legislación peruana en materia de residuos orgánicos y los componentes para el aprovechamiento de los residuos orgánicos (MINAM, 2011).

2.1 Normas Nacionales Referentes al Manejo de Residuos Orgánicos

2.1.1 Constitución política del Perú

En los artículos 2, 44, 54, 66, 67, 68, 69, 88, 89, 192 y 195; demanda de que la persona tiene el derecho a desarrollarse en un entorno saludable y adecuado para su desarrollo, también precisa que los diferentes niveles del estado tienen la obligación de mantener este derecho y establecer estrategias de sustentabilidad. Por otro lado, también manifiesta la soberanía y uso adecuado de nuestros recursos naturales, promoviendo el desarrollo sustentable de la población. Respecto a este motivo, el inadecuado manejo de los residuos orgánicos provoca una alteración a nuestro desarrollo y perjudica nuestro bienestar (Republica del Peru, 1993).

2.1.2 Ley General del Ambiente (Ley 28611)

Un Instrumento de Gestión Ambiental se considera al adecuado manejo de los residuos sólidos y que las autoridades municipales tienen que priorizar su gestión, también

compromete a los generadores tener un adecuado manejo de los mismos. Por lo cual, se tienen que implementar la minimización de los residuos sólidos, desarrollar estrategias y tecnologías que reduzcan y aprovechen los residuos en general, y la menor cantidad de residuos lleguen a la disposición final (MINAM, 2008).

2.1.3 Ley y reglamento de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.L. 1278 y D.S. N° 014-2017-MINAM)

La prioridad de la gestión integral de residuos sólidos consiste en la prevención y minimización de los mismos, luego las siguientes estrategias serán tomadas en base a la recuperación y la valorización material y energética de los residuos sólidos, dentro de los cuales se considera al compostaje como alternativa para el aprovechamiento y valoración de los residuos orgánicos, siendo el último recurso la disposición final en un relleno sanitario (MINAM, 2016). En el caso de generación de residuos orgánicos debe priorizarse la elaboración de compost frente a la disposición final, también debe implementarse una adecuada infraestructura y autorización para dicha estrategia. También dicha normativa tiene el enfoque de normalizar la gestión, el manejo y cualquier actividad del compostaje, esto llevará a la estandarización de los procesos y análisis del compost aplicable al suelo (MINAM, 2017).

2.2 Residuos Sólidos

Los residuos sólidos son aquellas materias que se generan a partir de los procesos de producción, actividades o consumo; que no cuentan con ningún valor para el proceso mencionado (Sztern & Parvia, 2010). También los residuos sólidos se pueden definir como materiales orgánicos o inorgánicos de naturaleza compacta, que han sido desechados luego de consumir su parte útil (Montes, 2009).

La normativa peruana de los residuos sólidos los considera como sustancia, productos o subproductos en estado sólido o semisólidos, desechados por su generador, el cual carece de valor económico (MINAM, 2016).

El SINIA (2013), afirma que la generación per cápita de residuos sólidos fue de 0.61 kg/hab/día en promedio; por lo tanto, en el Perú se generó alrededor de 6 709 753 ton/año de residuos sólidos, de los cuales solo se han dispuesto 2 737 627 en los rellenos sanitarios.

Según el SPDA (2009), se tiene la siguiente clasificación de residuos sólidos, vea la figura 1.

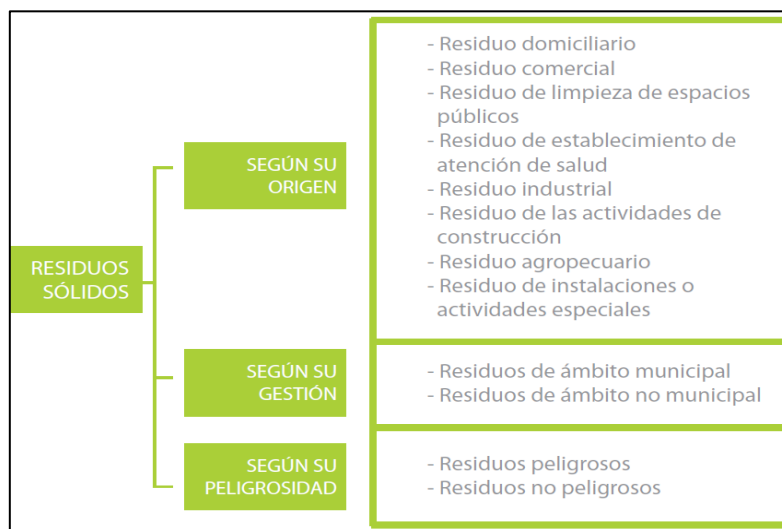


Figura 1. Clasificación de los Residuos (SPDA, 2009).

Se aprecia que existen varios enfoques de clasificación de residuos sólidos que tienden a simplificar la realidad, pero existe una clasificación que permite establecer dos categorías de residuos que están presente en todas las actividades humanas; esta clasificación es por su naturaleza química y son: los residuos inorgánicos o abiógenos, y los residuos orgánicos o biógenos (Sztern & Parvia, 2010).

2.2.1 Residuos Inorgánicos

Son residuos de origen mineral o industrializado, que tienen un proceso largo en degradarse en el medio ambiente; dentro de esta categoría se encuentran los metales, vidrios, plásticos, etc. Estos residuos pueden ser aprovechados mediante el proceso de reciclaje (OEFA, 2014).

2.2.2 Residuos Orgánicos

Son residuos de origen biológico (vegetal o animal), que pueden ser descompuestos por la acción natural de las lombrices, hongos y bacterias. Mediante un reaprovechamiento adecuado pueden utilizarse como mejoradores de suelo y fertilizantes (CONAM, 2006).

Según Sztern (2010), los residuos orgánicos están compuestos por: resto de cultivos y cosecha, excremento de animales, resto de alimentos de conserva, restos de lácteos, carnes y vísceras, cadáveres de animales, aceites y grasas, restos de verduras y frutas, resto de comidas, resto de madera y residuos de poda.

En el año 2013 en el Perú, los residuos sólidos estuvieron compuestos por restos orgánicos de cocina y alimentos en un 50,43 %, y aproximadamente a nivel nacional, del 50 % al 70 % de los residuos sólidos son residuos orgánicos (EVAGAM SAC, 2013), y la mayoría son dispuestos a rellenos sanitarios, botaderos y como comida de animales. Las tecnologías aplicadas para la minimización y aprovechamiento de los residuos orgánico son: la alimentación de animales como fuente de energía, y abono orgánico (Angarita, 2010).

El tratamiento óptimo donde se aprovecha todos los residuos orgánicos, es el compostaje, porque proporciona nutrientes al suelo y no genera ningún sub producto, a comparación de otras alternativas (Sztern & Parvia, 2010).

Desde el punto de vista medioambiental, este reciclaje de materiales y su aplicación al suelo, proporciona muchos beneficios, tales como el incremento de la materia orgánica en el suelo, la reducción del metano producido en los rellenos sanitarios o vertederos municipales, la sustitución de turba como sustrato, la absorción de carbono, el control de la temperatura edáfica y el aumento de la porosidad del suelo, reduciendo de esta manera el riesgo de erosión y la desertificación (Martínez, 2013).

2.2.3 Materia Orgánica

La materia orgánica es aprovechada por las plantas, la cual debe estar humificada para ser aprovechada. Esta teoría húmica se ha mantenido por más de 150 años. Pero según Von Liebig, (1843), demostró que el humus no era el principio nutritivo de la plantas, a cambio afirmó que las plantas necesitan solo agua y sustancias inorgánicas, es por ello que fomentó el uso de fertilizantes inorgánicos, los cuales tienen 20 a 100 veces más concentración de N, P y K, que los abonos orgánicos (Arens, 1983). Provocando el abandono de muchas técnicas antiguas de cultivo, una de las cuales fue el uso de residuos orgánicos como abono de cultivo (Navarro & al., 1995).

Según Mustin (1987), la materia orgánica representa del 95 a 99 % del total del peso seco de los seres vivos, a diferencia del suelo que algunas veces suelen pasar del 2 %. La materia orgánica del suelo contienen 5 % de N total, pero también contiene otros elementos como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes (Graetz, 1997). Debido a la descomposición de residuos vegetales como animales, mediante los microorganismos presente en el medio; transformando de una forma orgánica hacia una inorgánica, que puede ser aprovechada como nutriente por las plantas o humificarse hasta llegar hacer humus, mostrado en la figura 2 (Jaramillo & Zapata, 2008).

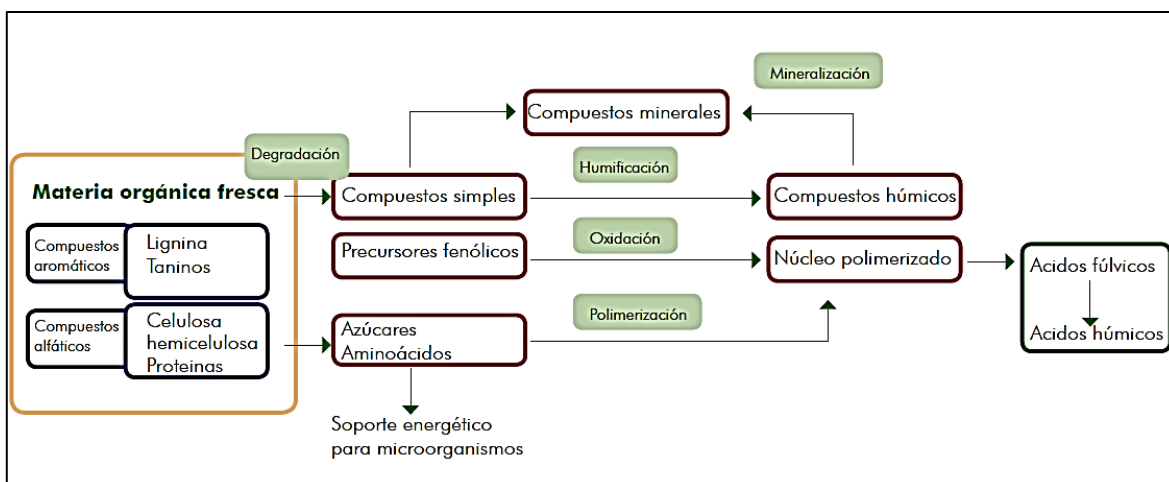


Figura 2. Esquema de la Evolución de la Materia Orgánica que llega al Suelo (Adaptado de Ribo, 2004).

En el compostaje ocurre el mismo proceso los nutrientes como los azúcares complejos y proteínas son descompuestos por los microorganismos para aumentar su población, generando biomasa, calor, agua y materia orgánica más descompuesta. Pero en el suelo no se puede garantizar eso, porque no se generan las condiciones necesarias como aeróbicas y de higienización, que si no son controladas, en vez de generar un beneficio perjudican a la salud y suelo (Martínez, 2013).

La materia orgánica puede ser aplicada en el suelo de tres formas: fresca (estiércol fresco), seca (paja o barbecho) y procesada (compost y otros), estas sustancias en el suelo alcanzan su máxima degradación y comienzan con la formación de un nuevo material que es el humus. El contenido de la materia orgánica en el suelo de los desiertos varía entre 2 y 8 gramos por kilogramo de suelo, y las turberas de 10 a 40 gramos por cada kilogramo de suelo (Magdoff & Weil, 2004).

Según Martínez (2013), la materia orgánica no solo depende de los microorganismos del suelo, sino también del tipo de suelo, la vegetación, las condiciones

ambientales, por lo que los microorganismos se multiplican y consumen más materia orgánica; es por ello que la aplicación de materia orgánica en el suelo debe ser permanente para generar los siguientes beneficios al suelo:

2.2.3.1 Propiedades físicas

Facilita el manejo del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua y favorece la penetración de agua, reduce el riesgo de erosión, regula la temperatura del suelo, reduce la evaporación del agua; formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas, regula la humedad y favorece al intercambio gaseoso (Graetz, 1997).

2.2.3.2 Propiedades químicas

Aumenta la capacidad de campo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal, la capacidad tampón del suelo, favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas, permite la absorción de sustancias peligrosas como los plaguicidas por la ayuda de los coloides del suelo, aporta macronutrientes como N, P, K y micronutrientes (Vangestel, 1996).

2.2.3.3 Propiedades biológicas

Aporta microorganismo (bacterias y hongos) que son capaces de transformar los compuestos insolubles del suelo en nutriente para las plantas y degradar cualquier sustancia nociva, aporta carbono para mantener la biodiversidad de micro y macrofauna (lombrices). Es por ello que favorece al proceso de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado (Graetz, 1997).

2.3 Compostaje

Se define como el proceso de descomposición y estabilización de la materia orgánica, desarrollando temperaturas termófilas que inhiben a los microorganismos patógenos y la mala hierba, generando un producto final estable llamado compost, que al aplicarse en el suelo genera beneficios (Álvarez J. , 2008).

Esta descomposición y estabilización de la materia orgánica llega a realizarse por la presencia de microorganismos en el proceso, ya sea por inclusión (estiércoles) o por el mismo contenido en la materia orgánica (CONAM, 2006). Así mismo la materia orgánica es cualquier residuo vegetal o animal, en otras palabras residuos orgánicos (Gallardo, 2013). La importancia de realizar compostaje a los residuos orgánicos radica en la reducción de basura que llega a los rellenos sanitarios, reduciendo los gases de efecto invernadero, proporcionando nutrientes a los suelos, y reemplazando los abonos inorgánicos, entre otros (Camacho, 2009).

Pero el compostaje es un proceso lento y costoso, debido a la duración que oscila entre 5 a 9 meses, es por ello que en la actualidad se aplican microorganismos nativos mediante laboratorio o el estiércol de animales, que actúan como agentes inoculantes (Vázquez, 2010).

Cabe recalcar que, manteniendo los procesos de descomposición del compostaje, se va obtener grandes resultados en la calidad del compost. Debido a esto, es importante decidir el sistema de compostaje que se va a realizar, el control de las fases del proceso de compostaje, los parámetros que afectan en el proceso; tanto de entrada, seguimiento y los parámetros óptimos para un compost (García & Gallardo, 2008).

Según Martínez (2013), sino se llegan a cumplir las diferentes condiciones en el compostaje, se corre el riesgo de tener:

- **Fitotoxicidad**, se refiere al material que no ha terminado el proceso de compostaje correctamente, donde el nitrógeno no se encuentra en forma de nitrato sino de amonio, este con la presencia del calor y la humedad se transforma a amoniaco, creando un ambiente tóxico para el crecimiento de las plantas y malos olores; también contiene compuestos químicos inestables como ácidos orgánicos que resultan tóxicos para la semilla y planta.
- **Bloqueo biológico del nitrógeno**, cuando no se llega a una correcta relación C/N, el material tiene alto contenido de carbono, lo cual es consumido primero por los microorganismos y rápidamente incrementa el consumo del N, agotando las reservas en el suelo.
- **Reducción del oxígeno radicular**, cuando el compost esta inmaduro y se aplica al suelo, los microorganismos utilizarán el oxígeno presente en el suelo para continuar con el proceso, agotándolo y no dejando nada para la planta.
- **Exceso de amonio y nitratos en las plantas**, cuando existe un exceso de nitrógeno en forma de amonio tiende a perderse por infiltración o volatilización, lo cual contamina las aguas superficiales y subterráneas. También puede ser extraída por las plantas, genera un aumento de nitratos que afecta al fruto, por ende, a la salud humana.

2.3.1 Sistemas de compostaje

Existen diferentes sistemas de compostaje para facilitar el control y la optimización de los parámetros operacionales, para obtener un compost de mayor calidad en menor

tiempo, aprovechando el mayor espacio disponible y generando el menor impacto al medio ambiente. Estos sistemas pretenden conseguir una aireación óptima y llegar a las temperaturas termófilas, para la eliminación de los patógenos (Dios, 2008). Los sistemas de compostaje se pueden clasificar en dos grupos según su dinámica en el movimiento y en tres grupos según el confinamiento en la Tabla 1 se observa la clasificación mencionada:

Tabla 1. *Sistemas de Compostaje*

	Sistemas abiertos	Sistemas semi-abiertos	Sistemas cerrados
Estáticos	Montones Pilas Mesetas	Pila con cubierta Semipermeable	Contenedores Túneles
Dinámicos	Pilas volteadas Mesetas volteadas	Trincheras Pilas o mesetas en nave cerrada	Túneles dinámicos Tambores

Fuente: Dios, 2008.

2.3.1.1 Sistemas abiertos

Estos sistemas son conocidos como los tradicionales, donde el sustrato a compostar se coloca en montones o pilas, que depende de la presencia del oxígeno en el medio; esta presencia de oxígeno se realiza de manera mecánica mediante volteos, o forzada donde se utilizan dispositivos que proporcionen el oxígeno. Generalmente estas pilas tienen una forma triangular, donde la altura de las pilas no puede ser mayor a 2.7 m porque oprime toda la masa cerrando los intersticios y complicando el proceso de compostaje. Por otro lado, tampoco puede ser tan bajo, debido a que la masa tiende a enfriar rápidamente, inhibiendo el proceso de higienización (Keener, 1993). Los sistemas más utilizados son:

- a. **Compostaje en pilas estáticas con aireación natural.** Se realiza en pilas, y durante el proceso de compostaje no se necesita realizar volteos, por tanto la

ventilación es natural; se trabaja con una altura máxima de 1.5 m, de ancho 2.5 a 3 m y de longitud deseada (Negro, 2000).

b. Compostaje en pilas estáticas con ventilación forzada. Tiene un sistema mecánico de ventilación por tuberías perforadas, que están conectadas con un ventilador que permite la entrada del oxígeno y la salida del dióxido de carbono; esta ventilación puede ser por succión o inyección (Negro, 2000).

c. Compostaje en pilas por volteos. Este método consiste en disponer el material en forma piramidal o trapecial, también llamados “pilas”. Según Martínez (2013), se recomienda este método para volúmenes mínimos de 1 metro cúbico, y que la altura sea por lo menos 1.5 m, siendo el ancho de igual proporción y el largo requerido, para el volumen tratado. Para proyectos de investigación se pueden utilizar volúmenes menores, pero teniendo en cuenta la proporción de altura y ancho, para que el material compostado, no pierda mucha temperatura o se colmaten los poros.

Estas pilas están diseñadas de la manera que naturalmente por los poros sean oxigenada periódicamente, para estos se maneja un diámetro del sustrato de 2 a 5 cm, también se hacen camas de aire, chimeneas y los volteos periódicos para evitar crear las bolsas anaeróbicas que perjudican el proceso de compostaje (Roman, 2012). Se requiere un espacio considerable para realizar los volteos, y la manera del volteo consiste en la parte superficial del sustrato (corteza), pase al centro de la nueva pila (núcleo) y así controlar la temperatura y la humedad (Negro, 2000). La periodicidad de los volteos depende de los factores mencionados, y en climas lluviosos se recomienda la protección del sustrato mediante techos para evitar condiciones anaeróbicas (Ryan, 2007).

2.3.1.2 Sistemas Cerrados

Son sistemas industrializados por la cantidad de residuos a compostar, se utilizan reactores donde la fase inicial es la fermentación de tipo horizontal o vertical; luego sigue una fase al aire libre donde se deja madurar el compost.

Las desventajas de estos sistemas tienen: un elevado costo en su instalación, el proceso no alcanza un grado de estabilización y es por ello que necesitan un proceso de compostaje de pilas para su maduración, tienen que contar con un sistema de depuración de olores y recirculación de los lixiviados. Las ventajas son: se puede controlar las condiciones necesarias que permiten acelerar el proceso y requieren menos espacio (Eweis J.B., 1999). Para ellos existen contenedores verticales o fermentadores verticales, los tambores o fermentadores horizontales, y compostaje de túneles.

a. Fermentadores verticales.

Operan de forma continua y discontinua; cuando operan de forma continua el material a compostar se encuentra en forma única, se utilizan reactores de 4 a 10 m de altura, con un volumen de 1000 a 3000 m³, los que constan de un cilindro cerrado, aislado térmicamente, que en su parte inferior posee un sistema de aireación y extracción de material mediante un tornillo alimentador, donde a medida que el residuo fresco va entrando por la parte inferior va saliendo el compost fresco, la aireación se controla por la temperatura y las características de los gases de salida y el tiempo de residencia es de 2 semanas (Figura 3).

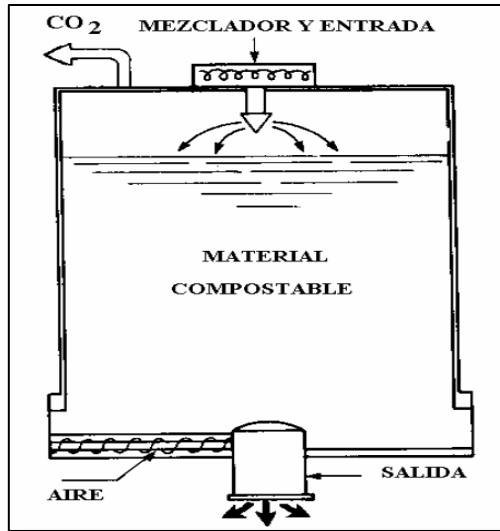


Figura 3. Reactor Cilíndrico (Saña y Soliva, 1987).

Cuando se opera de forma discontinua; estos dispositivos son depósito cilíndrico de grandes dimensiones dividido en varios niveles, el residuo a compostar se coloca en el piso más alto y mediante un mecanismo se voltea la masa y va descendiendo al piso inferior, la humedad se da por la evaporación del agua o por un sistema de suministro, cuando la materia orgánica llega al último piso se da por concluida la fermentación de los residuos y pasa al parque de maduración. El inconveniente de este sistema son los altos costos en la instalación y mantenimiento, el sistema se visualiza en la Figura 4 (Negro, 2000).

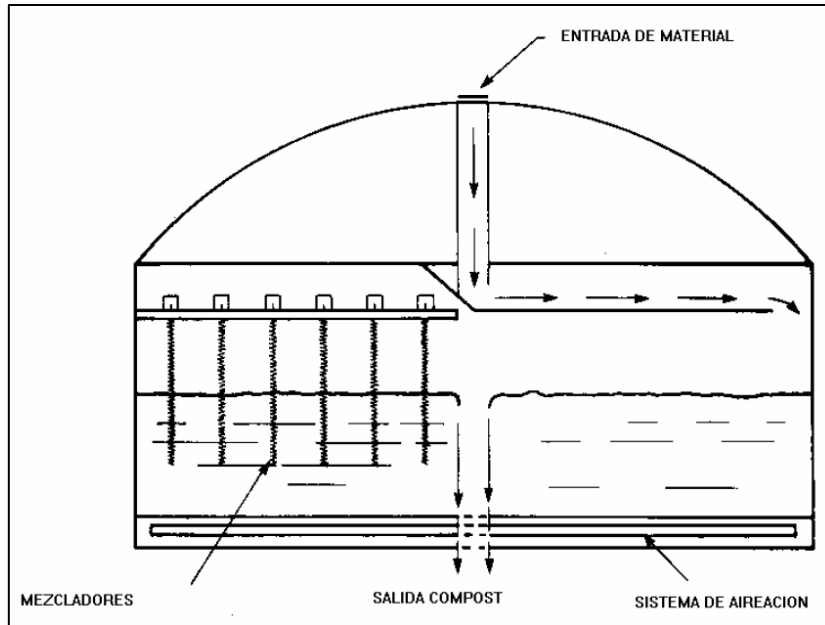


Figura 4. Reactor Circular Dinámico (Saña y Soliva, 1987).

b. Reactores horizontales.

Los Bioestabilizadores DANO, son reactores consisten de un cilindro horizontal que suele tener de dos a tres metros de diámetro y gira a una velocidad de 2 rpm a lo largo de su eje longitudinal. El proceso consiste en un tratamiento mecánico continuo, el tiempo de permanencia de los residuos dentro del fermentador es de 24-36 horas durante el cual la materia orgánica es físicamente separada del resto de componentes, al mismo tiempo que se inicia el proceso de degradación microbiana. En estos reactores no se produce un auténtico compostaje sino una fase de preparación del sustrato de tipo fisicoquímico. El material resultante es compostado finalmente en pilas o en el reactor (Negro, 2000).

c. Túneles.

Son túneles de 30 a 59 metros de longitud, con una altura y anchura de 4 a 6 metros, los que se construyen con hormigón armado. Este sistema es adaptable a varias cargas y ampliable porque es un sistema modular y la maduración resulta fácil. Mantiene el material aislado del exterior, lo cual no afecta a la temperatura y se puede controlar las emisión del proceso, también permite la homogeneidad de la masa, en la tabla 2 se puede observar las diferencia de los dos sistemas, tanto cerrado como abierto (Dios, 2008).

Tabla 2. *Cuadro Comparativo entre los Sistemas de Compostaje*

ELEMENTO DE COMPARACION	SISTEMA ABIERTO	SISTEMA CERRADO
Superficie	Grande	Reducida
Clima	Temperatura no extrema	Variable y frio
Sustrato	Todos, pero con agentes estructurales	Principalmente aquellos con elevada humedad
Tecnología	Relativamente sencilla. Sistema de aireación (forzada y volteo)	Relativamente sofisticada. Sistema de aireación (múltiples opciones)
Sistema	Discontinuo o semi-discontinuo	Semi-continuo o continuo
Inversión	De baja a moderada	De moderada a muy elevadas
Coste de explotación	Variable	Elevado
Consumo de energía	Bajo a medio	Medio a elevado
Mano de obra	Variable	Obrero especializado
Duración	Fermentación: semanas Maduración: meses	Fermentación: 3 a 15 días Maduración: meses
Tamaño	Pequeñas producciones < 12 TMS/día > 300 TMS/día	Altas producciones - 70 TMS/día - 73 TMS/día
Olores	Si no existiera correcta aireación	Controlado

Fuente: Mustin, 1987

2.3.2 Inoculantes

Los estiércoles están formados por el excremento y orina de animales de ganadería, también pueden estar agregados las camas de los animales que en su mayoría son de paja de cereales. La procedencia de este estiércol puede ser de ganadería vacuna, ovina, caprina, cerdos, caballos, cuyes, gallina entre otros. Esta clase de estiércol contiene una carga microbiana considerable para degradar los compuestos complejos o desechados, degradándolos de compuestos complejos a compuestos simples para el crecimiento, reproducción y estabilidad de las bacterias. También los estiércoles son fuente importante de nutrientes, es por ello que en el compostaje se utilizan los estiércoles como agentes inoculantes que proporcionan unos tipos de microorganismos que se necesita y está ausente en el material a compostar, además incrementan la población de microorganismos, también introducir un organismo más efectivo de los que se encuentran en los residuos orgánicos, y nutrientes necesarios (Navarro R. , 2002). Los microorganismos se desarrollan, degradan y mineralizan la materia orgánica, generando nutrientes asimilables por las plantas y micro fauna del suelo. Los inoculantes más destacados son el estiércol de vacuno, ovino, cuy y gallinaza, debido a su carga microbiana y al aporte de nutrientes en la siguiente tabla 3 se presenta algunas características de los estiércoles (Cajamarca, 2012).

Tabla 3. *Composición de los Estiércoles*

Animal	Agua %	M.O. (kg/t)	Nitrógeno N (kg/t)	Fósforo P ₂ O ₅ (kg/t)	Potasio K ₂ O (kg/t)
Ovejas	66	340	105	30	95
Gallinas	55	450	105	80	40
Cuy		380	105	50	35

Fuente: Guamán, 2010.

2.3.2.1 Bovino

Las vacas y toros son los generadores de este estiércol, y se encuentra en mayor cantidad en las explotaciones rurales o industriales, cuando es aplicado al suelo le da una consistencia única cuando se presentan arenosas, también da una ligereza al suelo gredoso y refresca los suelos cálidos. De todos los estiércoles el vacuno tiene un mayor tiempo de permanencia y uniformidad en el suelo (Paredes, 2014).

El contenido de nutrientes en el estiércol va depender de la alimentación que reciba el animal. También mediante laboratorio se corrobora que el estiércol vacuno, reduce las concentraciones de Al y Fe. El riesgo de olores es relativamente bajo y se descompone en pocas semanas, su relación C/N oscila entre 15 a 25. En la tabla 4 se presenta el porcentaje de nutrientes del estiércol vacuno (Severiano, 2014).

Tabla 4. *Porcentaje de Nutrientes del Estiércol Vacuno.*

Elementos	%
M.O.	52.2
Calcio	1.6
Nitrógeno	1.8
Magnesio	0.7
pH	8.8
Fósforo	4.9
Potasio	1.8

Fuente: Bardales, 2006.

2.3.2.2 Cuyaza

Son las heces y orina de los cuyes, contiene alto contenido de nitrógeno y lo proporciona por su alto índice de mineralización, lo que genera las plantas un rendimiento de asimilación y la composición química del estiércol se visualiza en la tabla 5 (Vizcarra, 1998).

Tabla 5. *Composición Química del Estiércol de Cuy*

Nutrientes (ppm)	Cuy
Nitrógeno	0.70
Fósforo	0.05
Potasio	0.31
pH	10

Fuente: Guamán, 2010

2.3.2.3 Gallinaza

Leyva, (2014), menciona que la gallinaza está constituida por excrementos de las gallinas solos o unidos a los productos que se extienden del suelo de los gallineros a modo de cama. El estiércol de gallinaza da un buen aporte de nitrógeno y su calidad depende de la alimentación del animal, la edad del animal, cantidad de alimento desperdiciado, las plumas, la temperatura y la ventilación del galpón (Mullo, 2012).

Pazmiño, (1981), afirma que la gallinaza de ponedoras en jaulas tiene mejor calidad, a diferencia que las ponedoras en piso, debido a que el estiércol de jaula tiene mayor concentración de nitrógeno porque no está diluido en la cama; también indica que la gallina produce 35.8 gr a 40.8 gr de estiércol al día, que cuenta con un 75 % de humedad y en la tabla 6 se estima el estiércol producido de las ponedoras.

Tabla 6. *Producción de Estiércol de Gallinaza*

Tipo de Gallinaza	Consumo de alimento gr/ave/día	Digestibilidad de alimento %	Materia Seca de deyecciones gr/ave/dia
Liviano	100 – 110	75 – 80	20 – 27
Semi - pesada	110 – 120	75 – 80	22 – 30

Fuente: Mullo, 2012.

El estiércol de gallinaza da un buen aporte de nitrógeno, porque el estiércol deyección del animal en una mezcla de orina y heces, esto puede variar según el tiempo de secado, en la tabla 7 se observa la variación de los nutrientes según el tiempo.

Tabla 7. *Nutrientes de la Gallinaza en el Tiempo*

Tipo	Humedad %	Nitrógeno %	Ácido fosfórico %	Potasio %
Fresca	70 – 80	1.1 – 1.6	0.9 – 1.4	0.4 – 0.6
Acumulado unos meses	50 – 60	1.4 – 2.1	1.1 – 1.7	0.7 – 1.0
Acumulado en fase profundo	12 – 25	2.5 – 3.5	2.0 – 3.0	1.4 – 2
Desecada industrialmente	7 – 15	3.6 – 5.5	3.1 – 4.5	1.5 – 2.4

Fuente: Mack, 1993.

La gallinaza es utilizada como alimento para animales por su valor nutritivo a diferencia de otros estiércoles, por sus altos contenido en proteínas y minerales, el alto contenido de fibras y nitrógeno no proteico, se considera un indicado alimento para los rumiantes. También la gallinaza tiene un potencial microbiológico, como el resto de las deyecciones de los animales; generando en su aplicación directa al suelo, daños adversos hacia el suelo y los cuerpos de agua. La gallinaza al igual que todos los agentes inoculantes o estiércoles, son aprovechados por dos procesos convencionales: sea la degradación anaeróbica mediante reactores conocidos como biodigestores, o el compostaje; para luego ser usado como abono orgánico (Mullo, 2012).

Es un buen agente inoculante que tiene una relación carbono considerablemente alta, la relación C/N en la gallinaza oscila entre 10 a 19. Según Guamán (2010), en su investigación, comparo tres tipos de estiércol de cuy, ovino y gallinaza, para el crecimiento

de cebollas. El abono que mejor actuó en la investigación fue la gallinaza, que tuvo 122.67 días para la cosecha, 16.83 cm de altura de planta, 5.32 cm de diámetro y 226 gr.

2.3.3 Fases del proceso de compostaje

El proceso de compostaje es un proceso biológico que necesita de condiciones aeróbicas, con una determinada humedad y temperatura, para una transformación higiénica de los residuos orgánicos en un material homogéneo y asimilables por las plantas.

En esta parte ocurre el proceso metabólico donde diferentes microorganismos, con la presencia del oxígeno aprovechan del nitrógeno y carbono para producir su propia biomasa, lo cual genera calor y sustrato sólido más estable llamado compost (Martínez, 2013).

Al descomponerse estos nutrientes se genera la liberación de energía, teniendo variación de temperatura el proceso de compostaje, por lo cual las fases se dividen de la siguiente manera (Ryan, 2007).

2.3.3.1 Preparación

Se acondiciona y mezcla el sustrato a compostar (residuos orgánicos y estiércol), considerando los parámetros de entrada, como: nutrientes (eliminar elementos de larga biodegradación), relación C/N y el tamaño de la partícula (Álvarez J. , 2008).

2.3.3.2 Mesófila

La materia orgánica comienza a degradarse a partir de la temperatura ambiente, luego entre los 40 a 45 °C es donde se degradan los azúcares y aminoácidos (Álvarez J. , 2008). Esto ocurre por la acción de los microorganismos mesófilos que se multiplican rápidamente, lo que provocando el aumento de la temperatura y producen los ácidos orgánicos, lo que provoca el descenso del pH entre 4.0 a 4.5, que favorece el crecimiento

de los hongos y el ataque a lignina y celulosas en esta primera fase (Roman, 2012). Esta fase dura pocos días, entre 2 a 8 días (Martínez, 2013).

2.3.3.3 Termófila

Cuando la temperatura alcanza los 45 °C, comienza la fase termófila, donde los microorganismos mesófilos son reemplazados por los microorganismos termófilos, que facilitan de las fuentes más complejas del carbono, como la celulosa y la lignina (Martínez, 2013).

Algunos microorganismos, como los hongos termófilos, bacterias esporígenas y actinomicetos; que se encargan de transformar el nitrógeno en amoníaco. Cuando se llega a una temperatura de 60 °C, aparece la predominancia de las bacterias esporígenas y actinomicetos que se encargan de degradar las ceras, proteínas y hemicelulosa, que produce la alcalinidad del medio, esto también genera una liberación de energía llegando hasta los 70 °C (Roman, 2012).

Esta fase puede durar de unos días hasta meses, depende del material a compostar, condiciones climáticas, lugar entre otros factores; esta fase también es conocido como la fase de higienización, debido a que todo el calor generado elimina los agentes patógenos del medio (Martínez, 2013).

2.3.3.4 Enfriamiento

Agotadas las fuentes de carbono y nitrógeno la temperatura desciende a 60 a 40 °C, donde aparecen los hongos termófilos y comienza a degradar la celulosa, y también aparecen algunos hongos visibles (Figura 5). Posterior comienza a descender más la temperatura del medio llegando hasta los 40 °C donde nuevamente se activan las bacterias

mesófilas que producen un descenso del pH a casi neutro, en esta fase de enfriamiento se puede pasar varias semanas y hasta confundirse con la fase de maduración (Roman, 2012).



Figura 5. Hongo Indicador de la Fase Mesófito 2

(Martínez, CATA-USM, 2013).

2.3.3.5 Maduración

En esta fase del proceso la temperatura llega a la temperatura inicial y un pH neutro entre 7 a 8; donde se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de humus, puede demorar meses y se presenta en la figura 6 (Roman, 2012).

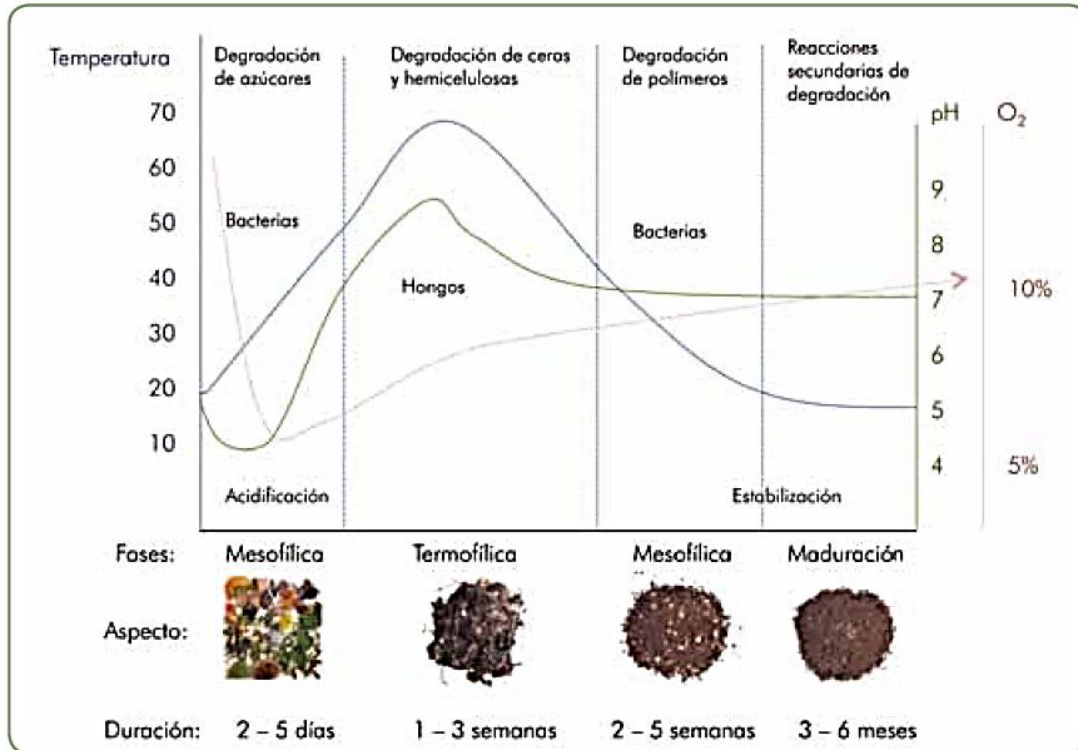


Figura 6. Temperatura, Oxígeno y pH en el Proceso de Compostaje (P. Román, FAO, 2013).

2.3.4 Biología del proceso de compostaje

Los microorganismos que se encuentra en el proceso de compostaje son heterótrofos, es decir necesitan de compuestos orgánicos para generar energía y desarrollan tejidos a partir del nitrógeno, el fósforo, carbono entre otros nutrientes. Entre los microorganismos se encuentra los hongos, bacterias y actinomicetos. Entre los microorganismo del proceso de compostaje se encuentra agentes patógenos; la variabilidad de la población de microorganismos depende de los factores que rigen al mismo proceso de compostaje, en la tabla 8 se presenta la descripción de la cantidad y presencia de especies en las fases del proceso de compostaje (Silva, 2000).

Tabla 8. *Biología del Compostaje Aeróbico*

Fase	Tiempo	T° 1E06 UFC/g	1E06 mesófilos/g	1E06 termófilos/g	Evolución de especies
Residuos frescos	> 1 día	Ambiente 8000	8000	0.1	Insectos, gusanos y huevos, protozoarios, semillas de hierba, patógenos, bacterias y hongos.
Fase Mesofílica	15 horas	20 a 50 °C 5000 a 6000	5000	0.2	Eclósión de huevos, larvas. Huida de insectos, bacterias y hongos mesofílicos.
Primera Fase Termófila	56 horas	50 a 65 °C 40 a 50	5	45	Destrucción de huevos de larvas de insectos y taenia. Inicia destrucción de patógenos, bacterias y hongos termófilos. Antibióticos.
Segunda Fase Termófila	12 días	55 a 75 °C 10 a 5	1	12	Destrucción de patógenos, salmonella, bacilos intestinales, bacterias termófilas y desaparición de hongos.
Fase Termófila Final	15 días	75 a 45 °C 6 a 10	0.5	8	Destrucción final de patógenos, bacterias termófilas y actinomicetes.
Maduración	20 días	45 a 25 °C 10 a 20	15	5	Desaparición de bacterias termófilas y mesófilas. Antibióticos, libre de patógenos

Fuente: Silva, 2000.

2.3.4.1 Bacterias

Dentro del proceso de compostaje las bacterias son aeróbicas y en algunos casos facultativas, dependiendo de las condiciones que se generen en el sustrato, estas bacterias se clasifican de acuerdo a su rango que son: la mesófilas que están en el rango de temperatura de 20 a 40 °C y las termófilas que viven en el rango de 40 a 75 °C, las cuales son responsables de degradar las proteínas, carbohidratos, lípidos entre otros, generando un incremento de temperatura en el sustrato por la generación de energía (Ryan, 2007).

2.3.4.2 Hongos

Para descomponer la materia orgánica compleja y la celulosa se necesitan de los hongos, pero la mayoría de estos se destruyen a temperaturas mayores de 55°C y otros queda en estado de latencia reactivándose en la fase de enfriamiento, por otro lado otros factores que inhiben su crecimiento son condiciones acidas y anaeróbicas (Ryan, 2007).

2.3.4.3 Actinomicetos

Son considerados entre las bacterias procariotas primitivas y los hongos eucariotas; poseen un micelio ramificado como los hongos, también hifas unicelulares con diámetros muy pequeños y su reproducción se dividen en trozos pequeños formando verdaderas cadenas como las bacterias (Ryan, 2007).

Los actinomicetos pueden resistir a condiciones adversas y para su nutrición metabolizan toda clase de materia orgánica como: glúcidos, almidones, alcoholes, ácidos orgánicos y entre otros, generando proteasa, amilasa, lipasas y también forman ácidos orgánicos a partir de los glúcidos y amoniaco a partir del nitrógeno orgánico, estos actinomicetos resisten a la temperaturas que ocurren en el proceso de compostaje; por ejemplo el thermoactinomyces que resiste hasta 68 °C y mínimos de 45 °C (Silva, 2000).

2.3.4.4 Organismos patógenos

Los sustratos utilizados en el proceso de compostaje contienen organismos patógenos debido a que se usan inoculantes como el estiércol de la vaca, ovejas, cuy, gallinaza y entre otros (Martin 1980). Un compostaje bien controlado inhibe a las bacterias patógenas debido a una temperatura alta, el tiempo del proceso y la liberación de amoniaco en el proceso, se presenta en la tabla 9 (Silva, 2000).

Tabla 9. *Temperaturas y Tiempo para la Destrucción de Patógenos*

Microorganismo	A		B	
	Temperatura °C	Tiempo (min)	Temperatura °C	Tiempo (min)
Salmonella	55 - 60	30	60	20
Tifosa				
Salmonella sp	55	60	60	15 - 20
Shigela sp	50	60		
Entamoeba histolítica	45	Pocos segundos	55	Pocos segundos
Taenia	55	Pocos segundos		
Larvas	50	Pocos segundos	60	Pocos segundos
Trichinella spiralis				
Brucella Abortis	62.5	3		
Escherichia Coli	55	60		15 - 20
Huevos de Ascaris	50	60		
Lumbricoides	66	15 - 20	67	Poco
Micro bacterias				
Tuberculosis				

Fuente: Haug, 1993.

Mediante la tabla 9 se puede identificar que la mayoría de microorganismos son destruidos a una temperatura de 55 °C y con exposición máxima de 60 minutos, no obstante, existe un grupo pequeño que necesita 67 °C para ser neutralizado.

Según Álvarez (2008), con una temperatura mayor a 55 °C por un lapso de tiempo de 5 horas se puede eliminar cualquier microorganismo patógeno. Por otro lado, Gotass,

(1956), afirma que, para eliminar todo agente patógeno de los lodos depurados en el compostaje, se necesita 66 °C por un lapso de 15 a 20 minutos, eliminando al patógeno más resistente como (*Mycobacterium tuberculosis*).

Por ello se concluye que a una temperatura de 60 °C y tiempo de 1 hora se eliminan todos los patógenos del sustrato.

2.3.5 Parámetros del proceso de compostaje

Con la presencia de microorganismos en el medio y el efecto que ellos generan en la materia orgánica, tales como: proliferación microbiana, la mineralización de la materia orgánica y desaparición de microorganismo patógenos (Cronje, 2003). Es necesario que se controlen los parámetros físicos y químicos del proceso de compostaje (Körner, 2003). Existen parámetro físicos y químicos que tiene que ser controlados en el transcurso del proceso, los cuales son parámetros de seguimiento y parámetros de entrada (Madejón E. , Díaz, López, & Cabrera, 2001).

2.3.5.1 Parámetros de Entrada

2.3.5.1.1 Tamaño de la pila.

En el caso de utilizar pilas en el proceso de compostaje esta debe estar en una relación de 1.5 m de altura, un ancho de 1.5 a 3 m y la longitud de la pila estará en función del área requerida o manejo del compost. Debido a que la altura afecta directamente a los parámetros de humedad, al oxígeno y la temperatura. Por otro lado, se tiene que tener en cuenta que al finalizar el proceso de compostaje el volumen del material compostado disminuye hasta un 50% (Martínez, 2013).

2.3.5.1.2 *Tamaño de la partícula.*

Mientras mayor sea el área de contacto de los residuos con los microorganismos, disminuirá significativamente el tiempo de compostaje. Pero existe un prejuicio, si las partículas son muy finas se reduce el espacio entre partícula, lo cual no permite la circulación del oxígeno y dióxido de carbono, inhibiendo la proliferación de microorganismos que se encarga de deteriorar la materia orgánica, produciendo condiciones anaeróbica y fermentación, que deterioran el proceso de compostaje (Haug, 1993). Según estudios las dimensiones que recomiendan son: de entre 1 a 5 cm (Haug, 1993), entre 2 y 5 cm (Kiehl, 1985), entre 2.5 a 2.7 cm (Tchobanogolus, 1994) o entre 5 a 30 cm (Martínez, 2013).

2.3.5.1.3 *Relación C/N.*

Influye significativamente en la velocidad del compostaje y la pérdida de amoníaco, debido a que permite la proliferación de microorganismos en el proceso. Diferentes estudios recomiendan que la relación C/N inicial deba estar entre 25 a 35, algunos consideran comenzar con una relación C/N de 30 porque generan mejores resultados al compost. Por otro lado cuando la relación C/N es mayor a lo indicado, el proceso de compostaje tiende a ralentizarse debido a que los microorganismos tienden a degradar el carbono excedente y cuando la relación C/N es muy baja el exceso de nitrógeno se desprende en forma de amoníaco, el cual es considerado un gas de efecto invernadero; también la relación C/N no es un buen indicador de la madurez del compost (Hedegaard, 1996). En la tabla 10 se puede apreciar algunas relaciones C/N, donde se puede observar que la relación carbono/nitrógeno del estiércol de gallina es de 14, para los residuos compostables o residuos vegetales es de 11 a 13 y para los residuos de poda es de

17. En la tabla 11 se puede observar los residuos orgánicos respecto a su relación C/N para poder balancear y obtener la relación C/N recomendada.

Tabla 10. *Relación Carbono / Nitrógeno (C/N)*

Material	Humedad (%)	Nitrógeno (%)	Relación C/N
Residuos de frutas	80	1.4	40
Pepas de aceituna	8 a 10	1.2 a 1.5	30 a 35
Residuos vegetales	-	2.5 a 4	11 a 13
Residuos de maíz	12	0.6 a 0.8	56 a 123
Residuos de tomate	62	4.5	11
Residuos de frutas	80	1.4	40
Residuos de matadero	10 a 78	13 a 14	3 a 3.5
Residuos de pescado	76	10.6	3.6
Estiércol de gallina	37	2.7	14
Estiércol de vacuno	81	2.4	19
Estiércol de ovino	69	2.7	2.7
Estiércol de caballo	72	1.2	41
Purines	80	3.1	3.1
Maíz de ensilado	65 a 68	1.2 a 1.4	38 a 43
Heno	8 a 10	2.1	15 a 32
Paja de cereales	12	0.7	80
Residuos de papel periódico	3 a 8	0.06 a 0.14	398 a 852
Aserrín	39	0.24	442
Cortes de pastos	82	3.4	17
Hojas	38	0.9	54
Poda de arboles	70	3.1	235 a 496

Fuente: Rynk, 1992.

Tabla 11. *Relación C/N en Función a la Presencia de Carbono*

Nivel alto de nitrógeno 1:1 – 24:1		C:N Equilibrado 25:1 – 40:1		Nivel alto de carbono 41:1 – 1000:1	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines fresco	5	Estiércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza Pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol Porcino	10:1	Crotalaria	27:1	Paja de caña de azúcar	49:1
Desperdicios de cocina	14:1	Pulpa de café	29:1	Basura urbana fresca	61:1
Gallinaza camada	18:1	Estiércol ovino/caprino	32:1	Cascarilla de arroz	66:1
		Hojas de plátano	32:1	Paja de arroz	77:1
		Restos de hortalizas	37:1	Hierba seca (gramíneas)	81:1
		Hojas de café	38:1	Bagazo de caña de azúcar	104:1
		Restos de poda	44:1	Mazorca de maíz	117:1
				Paja de maíz	312:1
				Aserrín	638:1

Fuente: PNUD-INIFAT, 2002.

Las diferentes mezclas que se utilizan en el compost necesitan tener un balance determinado de relación C/N de 25 a 35, mayormente estas características optimas no se puede encontrar por si solas (Ryan, 2007). Es por ello que se tiene que realizar una mezcla de proporciones adecuadas en la ecuación 1 se puede visualizar la fórmula:

$$S = \frac{(C \text{ en } 1 \text{ kg de B}) - (\text{relación C/N deseada}) \times (N \text{ en } 1 \text{ kg de B})}{(N \text{ en } 1 \text{ kg de A}) \times (\text{relación C/N deseada}) - (C \text{ en } 1 \text{ kg de A})} \quad (1)$$

Dónde:

S = Kg. de residuo A

C = contenido de carbono

N = contenido de nitrógeno

2.3.5.1.4 Nutrientes.

Es importante identificar las características químicas del sustrato que se piensa a compostar, debido a que esto proporcionará los nutrientes al compost (Kiehl, 1985). Así mismos los microorganismos solo pueden aprovechar compuestos simples como el amoníaco entre otros, las sustancias importantes para lo microorganismo son el C, N y P; el carbono sirve para la formación del protoplasma, lípidos, grasas y carbohidratos, lo cual constituye el 50 % de la célula y 25 % el anhídrido carbónico que se desprende en la respiración. El nitrógeno está presente en la reproducción celular, por su naturaleza proteica, es por ello la importancia de entrada en el proceso de compostaje; y el fósforo que se encarga de formar compuesto ricos en energía (Castaldi, 2005).

2.3.5.2 Parámetro de Seguimiento

2.3.5.2.1 Temperatura

El indicador más claro para visualizar que la actividad microbiana ha comenzado, es el cambio de temperatura en el medio (Miyatake, 2006). Debido a la temperatura se puede identificar la eficiencia y el grado de estabilización de la materia orgánica, debido a que existe una relación entre la degradación de la materia orgánica y la temperatura; estos pequeños cambios en la temperatura afectan también a la humedad, pH y C/N, también puede tener altas temperaturas que inhiben el crecimiento microbiano, conocida como suicidio microbiano.

Existe tres fases bien marcadas en el proceso de compostaje es: la fase mesófila inicial ($T < 45\text{ }^{\circ}\text{C}$) donde se producen los ácidos orgánicos, luego la fase termófila ($T > 45\text{ }^{\circ}\text{C}$) y la última es la fase mesófila final, regresando a su temperatura inicial; en cada fase se

encuentra microorganismos con el potencial necesario para degradar la materia orgánica (MISMO).

2.3.5.2.2 Humedad

El agua es necesario para los procesos fisiológicos de los microorganismos, como medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento para la célula y producto de deshecho de las reacciones del proceso (Madejón E., Díaz, López, & Cabrera, 2002).

La humedad óptima en el compostaje es de 45 a 60%, cuando la humedad está por debajo del 45% el crecimiento microbiano disminuye y cuando está por encima de los 60% genera malos olores y proceso anaeróbicos, debido a que el agua desplaza al aire, cuando se presenta el exceso de humedad en el compost se aplica aireación (Haug, 1993). En algunos estudios se han identificado para cada residuos su humedad, a continuación: para la paja de cereales está entre 75 % y 85%, para astillas de madera entre 75 % y 90% y para residuos sólidos urbano (RSU) entre 50 % y 55% (Haug, 1993).

2.3.5.2.3 Potencial de hidrogeno

Mediante el pH se puede controlar la aireación del compostaje, debido a que, si existe un descenso en el pH, se está generando ácidos orgánicos, esto quiere decir, condiciones anaeróbicas (Sundberg y col, 2004). El pH presenta tres fases en el compostaje; la primera fase se presenta una disminución del pH debido a la generación de ácidos orgánicos, en esta fase cuando el pH desciende abruptamente significa que se está generando condiciones anaeróbica; en la segunda fase se pierden los ácidos orgánicos y predomina la generación de amoníaco por la descomposición de la proteínas; y en la

tercera fase se generan los compuesto húmicos que dan la estabilización del pH y mantiene el pH neutro (Sánchez, 2001).

2.3.5.2.4 Aireación

Para el proceso de compostaje es necesario la presencia del oxígeno, debido a que los microorganismos que en ella actúa son aeróbicos; en la parte externa de la pila de compostaje el oxígeno está en un 18 a 20 %, mientras que en la corteza, el oxígeno se encuentra en un 2 a 0.5 % (Ekinci, 2004). Cuando no existe una aireación correcta comienza a predominar los microorganismos anaeróbico que retrasan la descomposición de la materia orgánica y la generación de sulfuro de hidrogeno que generan malos olores (Bidlingmaier, 1996). Por otro lado, con un exceso de ventilación la actividad microbiana disminuye (Zhu, 2006). Mediante la temperatura y la humedad se puede identificar indirectamente la concentración de oxígeno (Kulcu, 2004).

2.4 Compost

Es un abono orgánico y el producto final del proceso de compostaje, el cual consiste en la degradación de la materia orgánica, a partir de diversos productos orgánicos, ya sea por descomposición aerobia como anaerobia, por la acción de los microorganismos (en su mayoría bacterias y hongos), degradan el compuesto complejo al simple para su crecimiento y reproducción. Se va llamar compost de calidad, aquel que llegue a la madurez e higienización pertinente, lo cual depende de la elección de residuos orgánicos que puedan compostarse, del agente inoculante, el tipo de sistema de compostaje, el control de los parámetros de entrada (básicamente la humedad, pH y temperatura), seguimiento y

producto final. Por consiguiente, la materia orgánica se va humificar y estabilizar, y al aplicar al suelo va mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

Ruiz (2003) manifiesta, que el compost es un abono orgánico producto de la descomposición de los desechos vegetales y animales, los cuales son transformados por la microfauna y la microflora del suelo, en un abono que mejora la estructura y la estabilidad del suelo.

Chunga (2014) agrega, que el compost es un abono orgánico sólido que posee de una manera equilibrada los micronutrientes necesarios para las actividades bioquímicas de la planta.

La Norma Chilena 2880 (2004) define al compost como producto final que resulta del proceso de compostaje. Está constituido por materia orgánica estabilizada, donde no se reconoce su origen, puesto que se degrada generando partículas más finas y oscuras. También menciona que se produce en base a los residuos orgánicos y específicamente es utilizada para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, de manera que mejora su estructura, drenaje, aireación retención de agua y nutrientes, prevención de la erosión, recuperación de suelos degradados. Considera la mejor herramienta ambiental para el reciclaje de los residuos orgánicos y permite la minimización de la disposición en los rellenos sanitarios.

La calidad del compost está en función a su madurez que consta de la ausencia de tóxicos para la planta, inocuidad de patógenos y nutrientes necesarios. Un compost ya estabilizado no debe contar con la presencia de sustancias tóxicas para la planta y el medio ambiente, como por ejemplo la presencia de amoníaco y sulfatos con un exceso de humedad generan el ácido sulfhídrico, óxido de nitrógeno y metano aumentado la

proporción de Gases de Efecto Invernadero (Martínez, 2013). También el compost tiene que contar con la inocuidad del medio, debido a que se utiliza estiércol como agente iniciador el cual contiene una concentración considerable de patógenos, es por ello que mediante el mismo proceso sucede la liberación de energía en el medio, que aumenta la temperatura y por consiguiente elimina a los patógenos (Berna, 2009). Por último el aporte de nutrientes del compost, como el contenido de materia orgánica, macronutrientes principales (nitrógeno, fósforo y potasio) y secundarios (magnesio, azufre y calcio), y lo micronutrientes (hierro, zinc, manganeso, boro, cobre, molibdeno y cloro) (Martínez, 2013).

En la siguiente tabla 12 y 13 se muestran los parámetros físicos y químicos recomendados para la calidad del compost.

Tabla 12. *Especificaciones Referenciales de la Calidad del Compost*

Parámetro	Rango permisible
Humedad (%)	40 – 60
Tamaño de partícula (mm)	5 – 10
Materia Orgánica (%)	25 – 50
Nitrógeno total	0.4 – 3.5
Fósforo como P ₂ O ₅ (%)	0.3 – 3.5
Potasio como K ₂ O (%)	0.5 – 1.8
Cenizas (%)	20 – 65
Calcio como CaO (%)	20 – 65
Relación C:N	< 15

Fuente: Cantanhede, A.; Monge, G.; 2013.

Tabla 13. *Parámetros Óptimos del Compost Comunidad Europea (CE)*

Tipo	Descripción	Mínimo de nutrientes %
Abono orgánico NPK de origen animal	Producto sólido obtenido por tratamiento de excrementos animales, - con o sin cama -, sin ácidos minerales. Se incluyen los restos de pescado compostado	- N + P ₂ O ₅ + K ₂ O: 6% - C/N no mayor de 10 - Cada nutriente debe ser al menos un 1,5% - El N orgánico debe ser al menos un 50% de N total, con un mínimo del 1% - El N nítrico no debe exceder del 1,5%
	Producto sólido obtenido por tratamiento de excrementos animales mezclados con materias orgánicas vegetales y/o materias orgánicas animales	- N + P ₂ O ₅ + K ₂ O: 4% - C/N no mayor de 15 - Cada nutriente debe ser al menos un 1%

Fuente: Real Decreto 506/2013, 2013.

2.4.1 Normas referentes a la calidad el compost

Las normas internacionales aplicables que estandarizan la calidad del compost son:

- Norma Chilena 2880
- Norma Española, Real Decreto 506/2013
- WHO
- FAO

2.4.2 Parámetro de calidad

2.4.2.1 Humedad

Según la norma chilena 2880-2004, la humedad se determina con el peso seco del compost mediante condiciones de tiempo y temperatura. Se recomienda que el compost tenga una humedad de 30 % a 45 %, para su aplicación.

La humedad puede ser manipulable, tanto al agregar agua o dejarlo secar, es por ello, que cuando existe una baja humedad se le agrega agua, o cuando tiene mucha humedad se lo deja secar, en otras palabras no es un factor determinante para la calidad de compost, pero si un indicador para su aplicación en el suelo (Chunga, 2014).

2.4.2.2 Tamaño de partículas

El tamaño ideal del compost debe estar entre los 0.5 cm a 1 cm, porque mejora la aireación de suelo (Mendoza, 2012). La norma chilena 2880-2004 establece que el tamaño de partícula sea menor a 15 mm.

2.4.2.3 Color y olor

El color del compost debe estar oscilando desde un marrón claro hasta un marrón oscuro, por la formación de cromóforos (Morel, 1982).

El olor en las primeras fases tiene un olor característico, debido a la presencia de ácidos orgánicos como: acético, propiónico, butírico, etc; y también a los olores típicos de fermentaciones anaerobias como el ácido sulfhídrico, amoniac (muy común con relaciones C/N bajas) y mercaptanos. Lo cual cuando el compost llega a una madurez estos olores desaparecen y llegan a tener un olor agradable (parecido al humus o a tierra mojada) olor producido por los actinomicetos (Dios, 2008).

2.4.2.4 Factores fisicoquímicos

Un compost óptimo su pH tiene que oscilar entre 6.5 a 8, sus valores recomendados para el nitrógeno total debe estar entre el 0.4 % al 3.5 %, de la materia orgánica está en el rango de 25 a 50 % y el carbono orgánico entre 8 a 50 % (Chunga, 2014).

2.4.2.5 Relación C/N

En el compost mientras más bajo sea la relación C/N, se corrobora el grado de mineralización del compost, por tanto, la calidad del compost es mayor. A continuación, en la tabla 14 se presenta la relación C/N en función a su calidad.

Tabla 14. *Relación Óptima de la Relación C/N*

Relación C/N	Calidad del compost
Menor a 8	Muy buena
8 – 10	Buena
12 – 15	Mediana
15 – 20	Deficiente
20 – 30	Mala
Mayor a 30	Muy mala

Fuente: Arrea, 2013.

2.4.2.6 Fósforo total

Cumple un rol fundamental en la maduración de la flores, semillas y frutos, mediante el desarrollo y formación de la raíces de la planta, ésta puede variar de 0.3 y 3.5 % en forma de óxido fosfórico “P₂O₅” (Mendoza, 2012). Se recomienda obtener un porcentaje de fósforo de 0.3 a 3.5 % (Chunga, 2014)

2.4.2.7 Potasio total;

Ayuda al desarrollo de la planta desde la raíz hasta el fruto, aumentando sus dimensiones. Por otro lado, ayuda a prevenir y fortalecer ante las plagas. El rango de potasio en el compost es de 0.8 a 1.5 % (Cantanhede, 2013).

2.4.2.8 Microbiológicos

Se conoce mediante la bibliografía que los microorganismos presentes en el mismo proceso son lo que degradan los residuos orgánicos (Álvarez J. , 2009). A continuación, en la tabla 15 se visualiza los parámetros microbiológicos fundamentales:

Tabla 15. *Índice de Calidad Microbiológica del Compost*

Grupos funcionales	UFC / g de compost
Bacterias totales	5×10^{10}
Hongos totales	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^7$
Actinomicetos totales	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^8$
Bacterias fijadoras de nitrógeno	1×10^5
<i>Pseudonomas</i>	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$
Coliforme fecales	Ausentes
<i>Salmonella spp</i>	Ausente en 25 g de compost

Fuente: Álvarez J. , 2009.

Para los patógenos se está considerando las siguientes variables, debido a que no contamos con normativa nacional para el compost, en la tabla 16 se presentan los valores.

Tabla 16. *Valores Permisibles de los Microorganismos Patógenos en el Compost*

Parámetro	EPA (Norma 503)	ICONTEC	Norma chilena (NCh.2880.2003)
Microorganismo termotolerantes	$< 1 \times 10^5$ NMP / 100 g de compost	Ausencia	$< 1 \times 10^5$ NMP / 100 g de compost
Estreptococos fecales			Ausencia
<i>Salmonella spp</i>	< 3 UFC / 4 g de compost	< 3 UFC / 4 g de compost	Ausencia
Huevos de helminto viables			Ausencia

Fuente: Bonilla, 2007.

Es por ello que en el compost se recomienda que los coliformes estén debajo de los 1×10^5 NMP / 100 g de compost.

2.4.3 Beneficios del compost

El compost produce efectos positivos en el suelo, a través de la mejora de sus propiedades físicas químicas y biológicas. Su incorporación en el suelo reduce la compactación y la erosión, aumenta la retención de agua y el intercambio gaseoso. En lo biológico, aumenta los nutrientes en el suelo para alimentación de los microorganismos, suministra lentamente los nutrientes por la mineralización de la materia orgánica, también

es un supresor de enfermedades porque permite la competencia entre organismo benéficos y patógenos, parasitismo y antibiosis (Ryan, 2007).

Por los beneficios que presenta el compost son innumerable los usos que se le da en la agricultura, lo cuales son: enmienda orgánica de suelos, fertilizante, acolchado de suelo, sustrato entre otros.

2.4.3.1 Enmienda Orgánica de Suelo

Es usado como un material para mantener o incrementar los niveles de materia orgánica en el suelo, debido a que la materia orgánica presente en el suelo ayuda a la estructura del suelo, en el aumento de la capacidad de retención de agua y de aireación, así como la disminución de erosión y compactación, también su capacidad de intercambio catiónico, que es responsable de la retención de nutrientes y de muchos contaminantes, el color, que afecta a su capacidad de calentamiento, el sostenimiento de la microflora del suelo, etc. Por ello, muchas de las funciones del suelo, particularmente la capacidad de almacenamiento e infiltración de agua, suministro de nutrientes y capacidad degradativa, están relacionadas con el contenido de materia orgánica del suelo. La materia orgánica en el suelo está en función a la incorporación de compuestos orgánicos y su mineralización; un determinado suelo reduce su contenido de materia orgánica cuando se tienen una especialización y monocultivo (Ryan, 2007).

2.4.3.2 Fertilizante Orgánico

Las primeras civilizaciones emplearon para el mantenimiento de la fertilidad del suelo sustancias orgánicas para compensar las pérdidas de la fertilidad como consecuencia de la agricultura. Posteriormente mediante los estudios llegaron los abonos químicos que daban mejores resultados, pero con el paso del tiempo, y el uso excesivo de los abonos

químicos se llevó a la contaminación de suelos y aguas. El compost de residuos orgánicos contiene N, P, K, Ca, Mg, y otros elementos; este puede ser aplicado al voleo en cultivos intensivos, en camellones de hortalizas o localizado en papas, maíz y frutales. Su uso al voleo es la aplicación directa en los potreros, ya se sobre pastos, praderas establecidas o al preparar el suelo para los cultivos. Su utilización en las chacras, hortalizas, para preparar cama alta, los camellones y la almaciguera son de forma localizada. También se puede aplicar una capa alrededor una planta, sobre el surco de riegos antes de aporcar, y en la taza de árboles frutales (Martínez, 2013).

2.4.3.3 Te de compost

Es una mezcla de 90 % de agua con 10 % de compost, que se le echa sobre las hojas de la planta para la nutrición foliar, modificación foliar inhibiendo la generación de esporas patógenas, también promueve los antagonistas.

Una forma fácil de prepararlo consiste en colocar en un tambor de 200 l un saco con 20 a 30 kilos de compost y llenar el tambor con agua. Se deja fermentar por 4 a 6 días, apretando algunas veces la bolsa de compost. Es importante una buena oxigenación de modo de reproducir las bacterias que contienen el compost. Para su aplicación éste debe diluirse en agua al 15 o 20%. Este producto se aplica cada 10 días o según necesidad al follaje de las plantas, como riego o por fertirrigación (Ryan, 2007).

2.4.3.4 Control de maleza

Es un compost inmaduro de 8 semanas que se aplica en el cultivo para producir la disminución de la maleza, porque este compost disminuye el paso de la luz y sus ácidos grasos fitotóxicos inhiben la germinación de la semilla (Ryan, 2007).

2.4.3.5 Sustrato

El compost maduro puede reemplazar de forma parcial la turba utilizada como sustrato de almácigos y plantas en macetas obteniendo buenos resultados. Sin embargo, para poder utilizar compost como reemplazo de turba este debe poseer una baja salinidad ya que, si no disminuye la germinación y el buen desarrollo de las plantas. Diversos estudios señalan que utilizando compost en rangos de 10 a 40% de la mezcla complementado con turba y perlita son los más indicados (Ryan, 2007).

2.5 Métodos de medición de los factores de estudio.

2.5.1 Determinación de humedad

Para determinar la humedad se utiliza el método de la estufa, que consiste en la pérdida de peso de los residuos orgánicos compostable al ser sometido a una temperatura y tiempo estandarizado. Para este análisis se utiliza una balanza analítica con sensibilidad de 0.001 g, espátula para la balanza, estufa, placas petri, Desecador con deshidratante y equipo usual de laboratorio.

Se coloca una placa petri abierta y su tapa en la estufa a 120 °C durante dos horas, transcurrido ese tiempo se tapa la placa dentro de la estufa e inmediatamente se pasa al desecador durante dos horas como mínimo o hasta obtener peso constante. Luego se deposita la muestra sin compactar hasta un 50 % del volumen de la placa. Se pesa la placa cerrada con la muestra y se introduce destapada a la estufa a 60 °C durante dos horas, se deja enfriar y se pesa nuevamente. Se repite esta operación las veces que fuesen necesarias hasta obtener peso constante (Ruiz, 2003).

Se emplea la ecuación 2:

$$W(\%) = \frac{(G - G1)}{G} \times 100 \quad (2)$$

Dónde:

W = Porcentaje de humedad

G = Peso de la muestra húmeda en gramos

G1 = Peso de la muestra seca en gramos

Se tendrá en cuenta que para obtener G y G1, se descuenta el peso de la placa petri.

2.5.2 Determinación de pH

Se calibra el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de pH = 4, pH = 7 y pH = 11; según fuese el tipo de residuos por analizar.

Se pesan 10 g de la muestra y se transfieren a un vaso de 250 ml, luego se añade 90 ml de agua destilada, se mezcla por medio de un agitador durante 10 minutos. A continuación, se sumerge el electrodo. El valor del pH de la solución, es la lectura obtenida en la pantalla del potenciómetro.

Se saca el electrodo de la solución y se lava con agua destilada. La diferencia máxima permisible en el resultado de pruebas efectuadas por duplicado, no debe exceder 0,1 unidades de pH, en caso contrario se debe repetir la operación (Ruiz, 2003).

2.5.3 Determinación de nitrógeno total

El nitrógeno es un elemento indispensable para la vida, forma parte de las principales biomoléculas de todos los seres vivos. Es también uno de los elementos más abundantes de la Tierra, pues en su forma gaseosa (N₂) constituye 78% de la atmósfera. Sin embargo, la cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico. El nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire.

Dentro del suelo es aprovechado por las plantas, animales y microorganismos que lo incorporan a sus tejidos. Cuando dichos organismos se mueren, el nitrógeno reingresa al suelo completando el ciclo. Este ciclo es complejo e involucra una serie de reacciones y organismos con diferentes metabolismos. Siempre comienza con compuestos orgánicos sencillos (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , N_2 , NH_3) y termina con compuestos orgánicos complejos; que a través de la descomposición regresan a la etapa de compuestos sencillos.

En los microorganismos la carencia de nitrógeno puede afectar el crecimiento, por lo que la población microbiana no tendrá un desarrollo óptimo. En contraste, demasiado nitrógeno permite el crecimiento microbiano rápido y acelera la descomposición; pero puede crear problemas de olor en condiciones anaerobias. Además, el exceso de nitrógeno puede ser liberado como amoníaco; en tanto que el nitrógeno aprovechable escapará en forma de gas. Para la mayoría de los materiales una relación C/N cercana a 10:1 mantendrá estos elementos en equilibrio aproximado. En los suelos normalmente el contenido de nitrógeno varía de 0.05 a 2% en sus diferentes formas.

La cantidad de nitrógeno total se determina mediante el método Kjeldhal que se emplea para la determinación de nitrógeno en sustancia de origen vegetal, animal o en otros compuestos orgánicos.

2.5.3.1 Procedimiento

- Se seca la muestra a 75 °C durante dos horas.
- Con un papel fino se saca 200 kg de la muestra y se introduce a tubo de digestión.

- Seguido se agrega 0,4 g de sulfato de cobre (CuSO_4), 0,1 g de selenio metálico, 2 ml de agua destilada y 4 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), para convertir las aminas en sulfato de amonio.
- Se procede a realizar la digestión, llevando el tubo de digestión a la cocinilla del digestor, donde se realizan 5 repeticiones y un blanco. Con una temperatura 175 °C por un tiempo de 6 a 8 horas, por este tiempo se forma humos blancos y la digestión termina cuando la solución toma un blanquecino verdoso.
- Se procede a retirar los tubos, luego se los deja enfriar y se agrega agua destilada hasta completar 20 ml y Se conectan a un sistema de destilación.
- En el punto final del condensador del sistema de destilación se coloca un frasco de Erlenmeyer de 250 ml con 20 ml de ácido bórico al 2 % ($\text{H}_3\text{BO}_4 + \text{H}_2\text{O}$), 0,5 ml de indicador rojo de metilo y 0,25 ml de indicador azul de metilo, toda esta mezcla se torna a un color fucsia en donde será absorbido el amoniaco.
- Cuando la primera gota de destilado cae en el frasco de Erlenmeyer con ácido bórico, la solución vira de un color fucsia a verde si la muestra contiene amoniaco (en caso contrario mantiene el color inicial).
- La destilación se mantiene durante 10 minutos, que es tiempo suficiente para que destile todo el amoniaco presente en la solución tratada. Se utilizan 6 frascos de Erlenmeyer, pues el proceso de destilación se realiza para cada uno de los tubos de digestión.
- Finalmente se retira el frasco de Erlenmeyer con la solución ácida y se lleva a titular con ácido clorhídrico 0,1 N y se anota el gasto.

- El ensayo en blanco se realiza pesando 0,5 g de azúcar de caña o sacarosa, y se somete a un tratamiento similar (se toma el primer tubo de digestión para el ensayo en blanco) y se anota también el gasto.

2.5.3.2 Cálculo

El cálculo del contenido de nitrógeno se obtiene en la ecuación 3:

$$NT(\%) = \frac{(G - G_o)}{P} \times 1,4 \times 100 \quad (3)$$

Dónde:

NT = Porcentaje de nitrógeno total en la muestra

G = Gasto de ácido clorhídrico durante la valoración de la muestra

Go = Gasto de ácido clorhídrico durante la valoración de la muestra en blanco

1,4 = Factor de relación mg de nitrógeno/ml de ácido clorhídrico 0,1 N

P = Peso de la muestra inicial seca en mg

2.5.4 Determinación de materia orgánica y cenizas

Se coloca de 3 a 6 g de muestra seca y molida en un crisol, previamente tarado y calentado a 600 °C. Luego se reseca la muestra durante dos horas a 75 °C y se pesa, este valor se toma como el peso de la muestra inicial (Ruiz, 2003).

A continuación, se elevan los crisoles a la mufla fría y gradualmente se eleva la temperatura a 600 °C manteniéndola durante dos horas. Finalmente se enfría y se calcula el porcentaje de cenizas. Se emplea la ecuación 4:

$$Cenizas (\%) = \frac{P_{Secada}}{P_{Inicial}} \times 100$$

(4)

Dónde:

P_Secada = Peso de la muestra secada a 600 °C

P_Inicial = Peso de la muestra inicial

Sólidos volátiles es lo mismo que materia orgánica, puesto que la calcinación de la muestra es realizada para eliminar la materia orgánica presente. La materia orgánica presente en los residuos sólidos se calcula con la ecuación 5:

$$MO(\%) = 100 - Cenizas(\%) \quad (5)$$

Dónde:

MO = Porcentaje de materia orgánica en la muestra

2.5.5 Determinación de carbono orgánico

El carbono orgánico, multiplicado por 1,72 proporciona una estimación de la materia orgánica. Esta definición se basa en el procedimiento de Walkley-Black. En este caso se tiene el dato de la materia orgánica, por tanto, el cálculo del carbono orgánico se determina mediante la ecuación 6:

$$C (\%) = \frac{MO(\%)}{1,72} \quad (6)$$

Dónde:

C = Porcentaje de carbono orgánico

2.5.6 Determinación de fósforo total

El fósforo elemental (P) no se encuentra en estado libre en la naturaleza porque se oxida muy fácilmente; sin embargo, son muy comunes los compuestos orgánicos y principalmente minerales que contienen fósforo. En términos generales, el fósforo del suelo se clasifica en fósforo orgánico e inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos que forme. La forma orgánica se encuentra en el humus y la materia orgánica, y sus niveles en el suelo pueden variar desde 0 hasta mayores que 0.2%. La fracción inorgánica está constituida por compuestos de hierro, aluminio, calcio y flúor, entre otros, y normalmente son más abundantes que los compuestos orgánicos. Solo una pequeña parte del P aparece en solución en suelo ($< 0.01-1 \text{ mg L}^{-1}$).

El P es un macronutriente esencial para las plantas y los microorganismos, junto con el nitrógeno y el potasio. Puede ser un nutrimento limitante, ya que es un componente de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos. Los análisis de P sirven fundamentalmente para el control de la dosificación de productos químicos en tratamientos de agua o suelos, o como un medio para determinar que un sistema presenta contaminación por exceso de este compuesto (Muñoz, 2000).

2.5.6.1 Determinación de curva

- Se deben establecer los estándares de 0 - 0.2 - 0.4 - 0.6 - 0.8 y 1 ppm para la curva patrón que se utilizará.
- En cada vaso de precipitado de 250 ml se agregan las cantidades de solución 5 ppm de fósforo, agua destilada y solución de molibdato de amonio - ácido sulfúrico indicadas en la tabla 17.

Tabla 17. *Cantidades Utilizadas en la Curva de Fósforo*

Punto	Concentración	Solución 5 ppm de P (ml)	Agua destilada (ml)	Solución molibdato de amonio
0	0.0	0	20	80
1	0.2	4	0	96
2	0.4	8	0	92
3	0.6	12	0	88
4	0.8	16	0	84
5	1.0	20	0	80

Fuente: Ruiz, A., 2002.

- Se agita la mezcla contenida en cada vaso de precipitado por 20 minutos y luego se coloca una alícuota en cada celda.
- Tomar lectura de la absorbancia para cada celda, colocándolas en el espectrofotómetro para obtener la curva con la que se trabajará.

2.5.6.2 Preparación del blanco

- Colocar en un frasco Erlenmeyer de 100 ml, 1 g de carbón decolorado.
- Agregar 25 ml de bicarbonato sódico.
- Agitar durante 30 minutos.
- Filtrar en bomba de vacío y recibir el extracto en frasco Erlenmeyer de 100 ml.
- Tomar 2 ml de alícuota del extracto en un frasco Erlenmeyer de 100 ml.
- Añadir 8 ml de solución de molibdato de amonio - ácido sulfúrico.
- Agitar la mezcla por 20 minutos y luego colocar una cantidad en las celdas.
- Tomar lectura introduciendo las celdas al espectrofotómetro.

2.5.6.3 Preparación de la muestra

- Colocar en un Erlenmeyer (de 125 ml) 0,5 g de suelo tamizado en tamiz de 2 mm.

- Agregar aproximadamente 1 g de carbón decolorador.
- Agregar 25 ml de la solución de bicarbonato sódico.
- Agitar 15 minutos o dejarlo al menos 1 hora, mientras se hace otra cosa agitando de vez en cuando.
- Filtrar en frasco de Erlenmeyer de 125 ml.
- Tomar 2 ml del extracto en tubo de ensayo.
- Añadir 8 ml de la solución de molibdato de amonio–ácido sulfúrico (no olvidar que para 8ml de solución se añaden 0.008 g de ácido ascórbico).
- Tomar lectura en 30 minutos. Para ello se usa un espectrofotómetro (Milton Ray – Spectronic Génesis 5), filtro 640.
- En tubo de ensayo se agregan las cantidades de solución 5 ppm. de fósforo, agua destilada y solución de molibdato de amonio–ácido sulfúrico, luego se lleva al espectrofotómetro para obtener la curva con la que se trabajará.

2.5.7 Determinación de potasio total

El potasio encerrado en materiales insolubles del suelo, se solubilizan cuando el material de suelo finamente molido se mezcla íntimamente con un peso igual de cloruro y ocho veces el peso del material del suelo de carbonato de calcio y se incinera. Entonces, puede extraerse todo el potasio con agua. El extracto se filtra y el calcio se separa de los cloruros de sodio y potasio por precipitación de carbonato de amonio. El filtrado de la precipitación de calcio se completa al volumen y se toma una alícuota para determinar el potasio mediante el método de cobalto de cobaltinitrito de sodio o procedimiento de fotometría de llama (Chapman, 2004).

2.5.7.1 Ignición y preparación

- Moler en un mortero 0.5 g de material de compost a analizar con 0.5 g de cloruro de amonio.
- Agregar 4 g de carbonato de calcio y moler hasta que quede bien mezclado
- Poner un poco de carbonato de calcio al fondo de un crisol de platino y carga el crisol con el contenido del mortero.
- Enjuagar con 0.5 g de carbonato de calcio y agregar al crisol los fragmentos recogidos sobre el papel satina.
- Dar golpes para que se asiente y calentar hasta que no escape humos de amoniaco.
- Encender el quemador y calentar por 45 minutos.
- Enfriar y soltar el material con una varilla y transferir al vaso precipitado de 250 ml
- Con 2 ml enjuagar el crisol y vertir en el vaso precipitado
- Echar 50 ml de agua de agua y digiriendo en un baño de vapor hasta que se desintegre por completo.
- Filtra por decantación sobre un filtro de 9 cm.
- Lavar el precipitado del filtro con agua caliente.
- Precipitar el calcio añadiendo una solución de carbonato de amonio e hidróxido de amonio a temperatura de ebullición.
- Filtrar y lavar con agua caliente, y re disuélvase el carbonato de calcio con un poco de ácido clorhídrico
- Precipitar y añadir el filtrado al primero.

- Evaporar el filtrado combinado y saque las sales de amoniaco a una temperatura al punto de al rojo vivo.
- Disolver lo residuos en agua y digerir en un baño de vapor de agua, filtrar y completar los 100 ml.
- Analizar por fotometría de llama

2.5.7.2 Precipitación de potasio mediante cobaltinitrito de sodio

- La alícuota para el análisis debe tener entre 2 a 15 mg de potasio, en una solución acuosa neutra de un volumen de 10 ml.
- Agregar 1 ml de ácido nítrico 1N y 5 ml de la solución de cobaltinitrito de sodio, mezclar y dejar reposar por 2 horas, a una temperatura de 20 °C.
- Filtrar por medio de succión en un crisol de porcelana de fondo poroso para filtración, cuyo peso tarado se conozca
- Utilizar un ácido nítrico 0.01 N en una botella de lavado para efectuar la transferencia.
- Lavar 10 veces con dos porciones de 2 ml de ácido nítrico 0.01 N diluido y cinco veces con porciones de 2 ml de alcohol etílico.
- Evacuar hasta que quede completamente seco.
- Enjuagar el exterior con un trapo y seque durante una hora a 110 °C, enfriar en un decantador y pesar.
- La composición del precipitado puede representar por la formula $K_2NaCo(NO_2)_6 \cdot H_2O$, el potasio será el 17 % de este compuesto.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de Ejecución

Este experimento se ejecutó en el sector “La Mansión” de la Universidad Peruana Unión que está ubicada a la altura del km 19.5 de la carretera central, en el distrito de Lurigancho, Lima - Lima. Está situada cerca al Río Rímac, compartiendo el Valle de Río Rímac con los distritos de Ate y Chaclacayo. Desde los 510 msnm hasta los 550 msnm, posee un clima soleado con 21 °C en promedio la mayor parte del año.

Para acceder a la UPeU se puede realizar por dos vías, una es por la avenida Atahualpa ubicada en la comunidad Puerto Nuevo Ñaña o por la avenida Cusipata en dirección a Carapongo. Sus coordenadas son 11°59'24" S y 76°50'29" W en formato GMS (grados, minutos, segundos) o -11.98991657 y -76.84130556 (en grados decimales). Su posición UTM es 18L 0299876 y se encuentra a una altitud promedio de 539 msnm y el análisis de materia prima y producto final se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina y laboratorios del INIA Donoso – Huaral (Anexo 3).

3.2 Materias Primas

Las materias primas que se usaron para la investigación fueron: Los residuos vegetales frescos, los residuos de poda de césped y el estiércol de gallina (Gallinaza).

3.3 Variables de Medición

Las variables que se midieron son:

- Concentración de gallinaza

- Poda de césped
- Residuos orgánicos
- Temperatura del proceso compostaje
- Temperatura ambiental
- pH
- Nitrógeno
- Fósforo
- Potasio
- Fracción degradada de 15 mm
- Peso Total

3.3.1 **Variables independientes fueron:** Volumen de gallinaza en 25 %, 20 %, 15 % y 10 %. Volumen de poda de césped en 15 %, 10 %, 5 % y 0 %. Y el volumen de 75 % de residuos vegetales frescos.

3.3.2 **Variables dependientes fueron:** Características fisicoquímicas del compost (Nitrógeno (%), Fósforo (%) y Potasio (%), Fracción degradada de 15 mm y Peso Final).

3.3.3 **Variables evaluadas, más no controladas:** pH, Temperatura de la pila y Temperatura Ambiental.

3.3.4 **Formulación de hipótesis:**

H₁: Los parámetros fisicoquímicos de entrada son diferentes a los parámetros fisicoquímicos de salida (Parámetro de entrada \neq Parámetro de salida).

H₂: Los parámetros fisicoquímicos del compost son menores o mayores si lo requiere a la norma de referencia (Parámetro fisicoquímico < > Norma internacional).

H₃: Los tratamientos tienen diferentes valores en los parámetros fisicoquímicos del compost ($T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4$).

3.4 Equipos, Materiales e Insumos

3.4.1 Equipo

- ✓ Peachímetro
- ✓ Termómetro digital con sonda
- ✓ Medidor de tierra 4 en 1 S20
- ✓ Estufa
- ✓ Bomba de vacío.
- ✓ Balanza romana 50 kg.

3.4.2 Materiales

- ✓ Barreta
- ✓ Pico
- ✓ Pala
- ✓ Cuchillo
- ✓ Fiolas volumétricas de 1000 ml.
- ✓ Soporte universal y agitador magnético.
- ✓ Vasos de precipitado de 250 ml.
- ✓ Frascos Erlenmeyer de 100 ml.
- ✓ Crisoles de platino y cubiertas
- ✓ Papel satinado
- ✓ Kitasato.
- ✓ Tijeras
- ✓ Regla
- ✓ Baldes
- ✓ Tamiz
- ✓ Bitácora
- ✓ Lapicero
- ✓ Listones de madera
- ✓ Geomenbrana
- ✓ Malla rashel
- ✓ Rafia
- ✓ Bolsas plásticas
- ✓ Tachos de basura

3.4.3 Insumos

- ✓ Residuos orgánicos frescos
- ✓ Gallinaza
- ✓ Poda de césped
- ✓ Agua
- ✓ Bicarbonato sódico 0,1 N
- ✓ Carbón activado
- ✓ Solución de molibdato de amonio-ácido sulfúrico
- ✓ Solución estándar de fosfato de 50 ppm
- ✓ Solución de 5 ppm de fósforo
- ✓ Cloruro de amonio
- ✓ Carbonato de calcio
- ✓ Carbonato de amonio, solución al 10 %
- ✓ Hidróxido de amonio, concentrado
- ✓ Cobaltinitrito trisodico
- ✓ Ácido nítrico, 1N
- ✓ Ácido nítrico, 0.01N

3.5 Metodología Experimental

En la figura N° 7 se detalla el flujo del proceso de compostaje para evaluar la eficiencia de la gallinaza mediante pilas dinámicas, a partir de los residuos sólidos de la UPeU

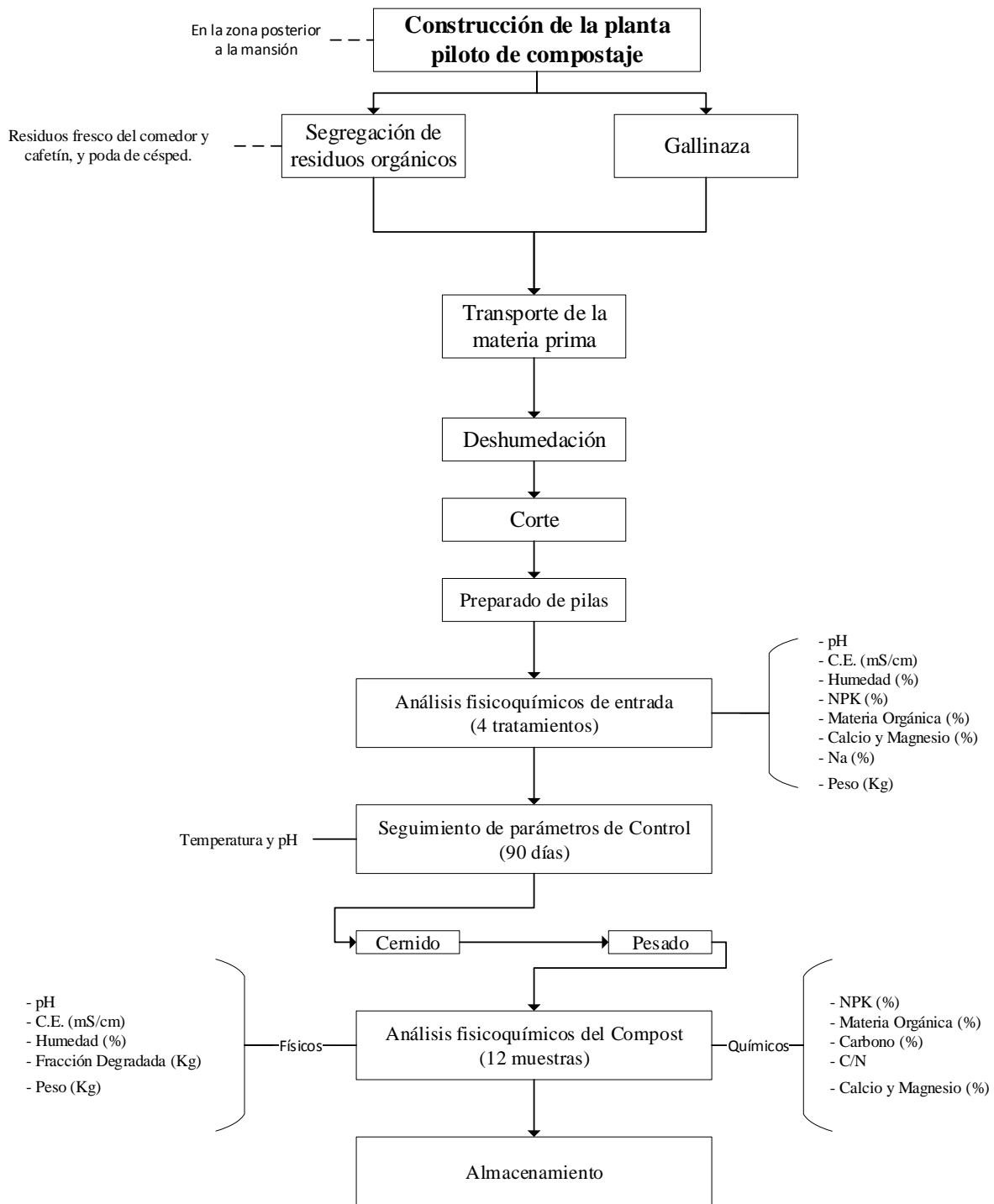


Figura 7. Elaboración de Compost por Pilas Dinámicas, a partir de los Residuos Orgánicos de la UPeU (elaboración propia, 2018).

Se realizó el proceso de compostaje con los residuos orgánicos frescos de la Universidad Peruana Unión. Previamente los residuos orgánicos frescos fueron segregados en los comedores,

se tomaron residuos de poda de césped de las áreas verdes del campus universitario, y por último el estiércol de gallina se consiguió de la empresa Avícola Gloria SAC. Estos residuos se consideran como buena materia compostable, debido a los bajos contenidos de grasas, aceites o sales.

El modelo de compostaje fue diseñado en función a la propuesta de la FAO (2013): un modelo abierto de pilas con volteos, y se utilizó como agente inoculante la gallinaza. El proceso de compostaje comenzó el 13 de abril y terminó el 19 de Julio del año 2017 (90 días). Los parámetros de medición fueron los nutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio, también se consideraron el tamaño de partícula que pasa a través de un tamiz de 15 mm (fracción degradada) y peso final de la pila.

3.5.1 Generación de residuos

Los residuos que entraron al proceso de compostaje fueron los residuos orgánicos frescos de los comedores y la poda de césped de las áreas verdes (Aguirre, Ansorena, & Gundin, 2011). Como agente inoculante se utilizó el estiércol de gallina. Para los residuos segregados de los comedores se utilizó un tacho de color marrón con una bolsa plástica verde y se colocó en lugares estratégicos dentro de la cocina. Para la poda del césped se coordinó previamente con el jefe del área de ornato para obtener la cantidad requerida, para la planta piloto de compostaje. Se recolecto la cantidad necesaria de los residuos orgánicos de la UPeU, teniendo en cuenta la caracterización de residuos sólidos realizado el año 2015 (Rodriguez & col, 2015). Los puntos de segregación se aprecian en la tabla 18.

Tabla 18. *Puntos de generación de residuos orgánicos*

Residuos Orgánicos	Generación	Coordenada Este	Coordenada Norte	Elevación
Residuos orgánicos fresco	Comedor UPeU	299282.00 m E	8673595.00 m S	542 m
Residuos orgánicos fresco	Cafetín UPeU	299679.75 m E	8673719.87 m S	521 m
Poda de césped	Áreas verdes UpeU	299626.26 m E	8673767.47 m S	524 m
Estiércol de Gallina	Avícola Gloria SAC	302147.00 m E	8674969.00 m S	567 m

Fuente: Elaboración propia.

Todos los residuos fueron llevados a la planta piloto de compostaje ubicada 299939.15 m E, 8674259.13 m S y una altitud sobre el mar de 530 m, que se presenta en la figura 8.



Figura 8. Plano de Ubicación de la Planta Piloto

(Google Earth, 2018).

3.5.2 Pre compostaje

- **Diseño e implementación de planta de compostaje**

La planta piloto de compostaje se construyó cerca del punto de acopio final de todos residuos, debido a que permitía el transporte del residuo y también había un punto cercano de agua. Primero se preparó el terreno con la ayuda de picos, rastrillos y palas; como se aprecia en la Figura 9 (Chunga, 2014).



Figura 9. Preparado de Terreno.

Para la estructura se usaron listones de bambú Guayaquil, en el suelo se instaló la geomembrana para evitar la contaminación por el lixiviado, además se cubrió el perímetro de la planta de compostaje con malla raschel y malla antihierba para controlar los fuertes vientos y el polvo. Como se aprecia en la Figura 10.



Figura 10. Instalación de Estructura.

Además, se colocó un techo de malla rashel para reducir la radiación solar y evitar la pérdida de humedad de la pila, las dimensiones del área de experimento fueron 6.5 m x 6.5 m (un área total de 42.3 m²). Se agregó un área de 2 m x 2 m para la recepción y deshumedación de los residuos orgánicos frescos, y una poza de recolección de lixiviado. Como se aprecia en la Figura 11 y 15.



Figura 11. Planta Piloto de Compostaje.

Según la metodología empleada se instalaron 4 tratamiento y con 4 repeticiones. Para los análisis del compost se descartó 1 repetición aleatoriamente. Se utilizó un área de 1 m x 0.5 m, con altura de pila de 50 cm. En total son 16 pilas de compostaje y se presenta en la figura 12.

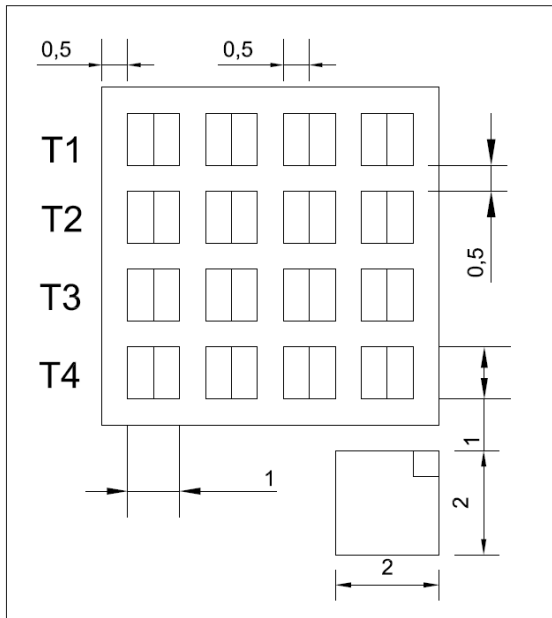


Figura 12. Dimensión Piloto del Proceso de Compostaje
(elaboración propia).

- **Puesta en marcha del proceso de compostaje**

Las recolecciones de los residuos se llevaron a cabo del 6 al 12 abril del 2017, se obtuvieron 600 kg de residuos orgánicos frescos de los comedores, 100 kg de poda de césped y 150 kg de gallinaza. Estas materias primas fueron transportadas por un motocarro de recolección hasta la planta piloto de compostaje. En la Figura 13 se aprecia el contenedor recolector y en la figura 14 el transporte de los residuos.



Figura 13. Contenedor de Segregación en el Comedor Universitario



Figura 14. Transporte de los Residuos de los Comedores

Una vez recepcionados los residuos orgánicos frescos, se dejaron reposar en la zona de deshumedación por un periodo de 3 horas para reducir la humedad hasta un 60%. Luego los residuos fueron picados y cortados en un tamaño de 2.5 cm en promedio, seguidamente se procedió a pesar según las concentraciones. Cada tratamiento tenía 4 repeticiones lo cual dio un

total de 16 pilas de compostaje. En la figura 15 se aprecia los lixiviados y en la figura 16 el picado manual.



Figura 15. Deshumedación de los Residuos Orgánicos.



Figura 16. Picado de los Residuos Orgánicos.

Según los pesos indicados en la tabla 19, las pilas se generaron en una mezcla homogénea, mezclando el estiércol fresco de gallina, los residuos vegetales fresco y la poda de césped, como se aprecia en la figura 17.

Tabla 19. *Distribución de Tratamientos*

Gallina/Césped	Gallinaza	Residuos vegetales frescos	Poda de césped	Total de pila (kg)
Tratamiento 1	10 % (4 kg)	75 % (30 kg)	15 % (6 kg)	40 kg
Tratamiento 2	15 % (6 kg)	75 % (30 kg)	10 % (4 kg)	40 kg
Tratamiento 3	20 % (8 kg)	75 % (30 kg)	5 % (2 kg)	40 kg
Tratamiento 4	25 % (10kg)	75 % (30 kg)	0 % (0 kg)	40 kg

Fuente: Elaboración propia.



Figura 17. Armado de Pilas en Base a los Tratamientos.

- **Parámetros fisicoquímicos**

La toma de muestra de entrada al proceso de compostaje se realizó sacando de cada pila 250 gramos de cada tratamiento. También se analizó a la gallinaza para determinar sus propiedades fisicoquímicas.

Los parámetros fisicoquímicos que se analizaron a la entrada del proceso de compostaje fue un análisis de materia orgánica, que midió los siguientes parámetros: Conductividad eléctrica (dS/m), pH, materia orgánica (%), nitrógeno (%), P₂O₅ (%), K₂O (%), CaO (%), MgO (%), Humedad (%) y Na (%). Para el estudio solo se consideró los nutrientes principales tales como: Nitrógeno (%), P₂O₅ (%), K₂O (%). Los análisis se realizaron en el laboratorio de análisis de suelos, plantas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la Universidad Nacional Agraria La

Molina, ubicado en las coordenadas este 288065.00 m E y coordenada norte 8663513.00 m S, a una elevación de 241 m (Ruiz, 2003).

3.5.3 Compostaje

Según la FAO (2013) se hicieron el control de la temperatura y el pH del proceso, se midieron con un termómetro digital con sonda (figura 18), las mediciones fueron interdiario hasta semanales, y también esos días se realizaron los volteos. Se controló únicamente el pH y las temperaturas, con el volteo de las pilas y su riego con agua.

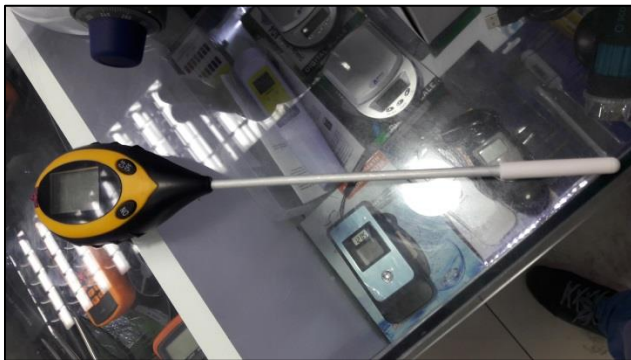


Figura 18. Termómetro Digital con Sonda.

Los volteos se realizaron poniendo la parte externa como parte interna, y la interna como externa con el fin de homogenizarla degradación en la pila, todo con la ayuda de una pala. Se utilizó 1 litro de agua en cada pila para mantener la humedad el proceso de compostaje, esto se realizó después de cada volteo, durante el proceso de compostaje se realizó esta tarea 19 veces.

La temperatura ambiental se determinó por el Centro Meteorológico de la Estación Ñaña, de tipo convencional – meteorológico, ubicada en la coordenada este 299448.00 m y coordenada norte 8674159.00 m S, a una altura 555 m.s.n.m. Este centro meteorológico pertenece a la red de centros meteorológicos del SENAMHI.

El proceso de compostaje consta de 4 fases:

- **Mesófila**

Se consideró para la fase mesófila los 7 primeros días. El primer día se midió los parámetros de temperatura y pH, luego los días 2 y 7 se realizaron todas las actividades, en la tabla 20 se presenta el control del proceso de la fase mesófila.

Tabla 20. “Fase Mesófila”

Día de proceso	"Fase Mesófila"						
	1	2	3	4	5	6	7
Fechas	13/04	14/04	15/04	16/04	17/04	18/04	19/04
Temperatura y pH	X	X					X
Volteos y riegos		X					X

Fuente: Elaboración propia.

- **Termófila**

Se consideró para la fase termófila del día 8 hasta el día 28. Los días 9, 11, 13, 15, 19, 23 y 27 se realizaron todas las actividades, solo día 20 hubo un día más de medición. En la tabla 21 se presenta el control del proceso de la fase termófila.

Tabla 21. *Fase Termófila*

"Fase Termófila 1"											
Día de proceso	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Fechas	20/04	21/04	22/04	23/04	24/04	25/04	26/04	27/04	28/04	29/04	30/04
Temperatura y pH		X		X		X		X			
Volteos y riegos		X		X		X		X			
"Fase Termófila 2"											
Día de proceso	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Fechas	01/05	02/05	03/05	04/05	05/05	06/05	07/05	08/05	09/05	10/05	
Temperatura y pH	X	X				X				X	
Volteos y riegos	X					X				X	

Fuente: Elaboración propia.

- **Enfriamiento**

Se consideró 5 semanas para la fase de enfriamiento del día 29 hasta el día 63, para este tiempo los volteos se realizaron semanales y el riego de agua. Los días 30, 37, 44, 51 y 58, donde se realizaron todas las actividades de medición y volteos. En la tabla 22 se presenta el control del proceso de la fase de enfriamiento.

Tabla 22. *Fase de Enfriamiento*

"Fase Enfriamiento"							
Día de proceso	29	30	31	32	33	34	35
Fechas	11/05	12/05	13/05	14/05	15/05	16/05	17/05
Temperatura y pH		X					
Volteos		X					

"Fase Enfriamiento"							
Día de proceso	36	37	38	39	40	41	42
Fechas	18/05	19/05	20/05	21/05	22/05	23/05	24/05
Temperatura y pH		X					
Volteos		X					
Día de proceso	43	44	45	46	47	48	49
Fechas	25/05	26/05	27/05	28/05	29/05	30/05	31/05
Temperatura y pH		X					
Volteos		X					
Día de proceso	50	51	52	53	54	55	56
Fechas	01/06	02/06	03/06	04/06	05/06	06/06	07/06
Temperatura y pH		X					
Volteos		X					
Día de proceso	57	58	59	60	61	62	63
Fechas	08/06	09/06	10/06	11/06	12/06	13/06	14/06
Temperatura y pH		X					
Volteos		X					

Fuente: Elaboración propia.

- **Maduración**

Se consideró 5 semanas para la fase de maduración del día 64 hasta el día 98, para este tiempo los volteos se realizaron semanales y el riego de agua. Los días 65, 72, 79, 86 y 93, donde se realizaron todas las actividades de medición y volteos. En la tabla 23 se presenta el control del proceso de la fase de enfriamiento.

Tabla 23. *Fase de Maduración*

"Fase Maduración"							
Día de proceso	64	65	66	67	68	69	70
Fechas	15/06	16/06	17/06	18/06	19/06	20/06	21/06
Temperatura y pH		X					
Volteos		X					
Día de proceso	71	72	73	74	75	76	77
Fechas	22/06	23/06	24/06	25/06	26/06	27/06	28/06
Temperatura y pH		X					
Volteos		X					
Día de proceso	78	79	80	81	82	83	84
Fechas	29/06	30/06	01/07	02/07	03/07	04/07	05/07
Temperatura y pH		X					
Volteos		X					
Día de proceso	85	86	87	88	89	90	91
Fechas	06/07	07/07	08/07	09/07	10/07	11/07	12/07
Temperatura y pH		X					
Volteos		X					

"Fase Maduración"							
Día de proceso	92	93	94	95	96	97	98
Fechas	13/07	14/07	15/07	16/07	17/07	18/07	19/07
Temperatura y pH		X					
Volteos		X					

Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar el proceso de compostaje se descartó una repetición aleatoriamente para cada tratamiento y se procedió a realizar el pesado de las pilas para compararlo con el peso de entrada y determinar el porcentaje de disminución de masa. Luego el compost se cernió por un tamiz de 15 mm y se pesó para identificar la cantidad de fracción degradada que pueda ser aplicada al suelo.

3.5.4 Análisis fisicoquímicos del compost

Se determinó los análisis fisicoquímicos del compost en el laboratorio de INIA-DONOSO ubicada en Huaral. Los parámetros fisicoquímicos que se analizaron a la entrada del proceso de compostaje fue un análisis de materia orgánica, que midió los siguientes parámetros: pH, Conductividad eléctrica (mS/cm), humedad (%), materia orgánica (%), nitrógeno (%), Carbono (%), P_2O_5 (%), K_2O (%), CaO (%), MgO (%) y C/N. Para el estudio solo se consideró los nutrientes principales tales como: Nitrógeno (%), P_2O_5 (%), K_2O (%). Los análisis se realizaron en los laboratorios de suelo en la Estación Experimental Agraria Donoso Kiyotada Miyagawa, ubicada en Huaral, que pertenece a la red de laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ubicado en la coordenada este 256184.00 m E y coordenada norte 8725388.00 m S, a una elevación de 127 m. La calidad de compost se determinó mediante la

evaluación de parámetro fisicoquímicos que siguen los siguientes requerimientos mostrados en la tabla 24.

Tabla 24. *Parámetros Óptimos de Residuos Compostable*

Parámetros del Compost	Método	Óptimo	Referencia
pH (%)	Potenciometría	5 – 8.5	NCH2880 - 2004
Conductividad Eléctrica (dS/m)	Medición indirecta del contenido de sales solubles (dilución 1:5)	3 a 8 dS/m	NCH2880 - 2004
Humedad (%)	Proceso de calcinación	30 a 45 %	NCH2880 - 2004
Materia Orgánica (%)	Proceso de calcinación	> 20 %	NCH2880 - 2004
Carbono Orgánico (%)	Calculo de la M.O.	8 – 50 %	WHO
Nitrógeno Total (%)	Método de Microkjeldahl	1.4 – 3.5	WHO
P ₂ O ₅ (%)	Olsen modificado	1.4 – 3.5	WHO
K ₂ O (%)	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	> 1 %	Real Decreto 506/2013
Ca (%)	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	> 1 %	Real Decreto 506/2013
Mg (%)	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	> 1 %	Real Decreto 506/2013
Relación C/N	Proporción	< 15	Real Decreto 506/2013
Fracción degrada F 15 mm	Kilogramos	< 15 mm	NCH2880 - 2004
Reducción de masa	Diferencia de Volumen	< 70 %	FAO, 2013

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5 Comparación de medias

Se tienen datos de entrada y salida al proceso de elaboración de compost, se consideran 3 réplicas en los 4 tratamientos, dejan un total de 4 muestras analizadas al inicio y 12 muestras en el producto final. Para ello, se determinó que los parámetros fisicoquímicos fueron afectados significativamente por el proceso de compostaje. Los resultados de los análisis del compost también se compararon con normas de referencia de la calidad del compost. Para lo cual, se utilizó el programa SPSS 23.0, donde los datos fueron introducidos y analizados, por lo cual se utilizaron los siguientes métodos estadísticos:

3.5.5.1 Diferencias de los parámetros fisicoquímicos

Se utilizó el método estadístico T para muestras relacionadas, y se determinó la diferencia significativa de los parámetros fisicoquímicos en la elaboración del compost, tanto para la materia prima (entrada) y el compost (salida). Cabe recalcar, que en el análisis inicial solo se tuvo una muestra significativa por tratamiento (4 muestras con datos de parámetro fisicoquímicos de entrada), por lo cual se utilizó el artificio de repetir el mismo valor para las repeticiones de cada tratamiento, para comprobar se utilizó prueba de T para una muestra, y se tuvieron los mismos resultados. Con el fin de hacer comprensible la interpretación.

Para todos los análisis las muestras fueron un total de 3 ($N = 3$), los grados de libertad fueron 2 ($gl = 2$) y la hipótesis planteada fue:

H_0 : Los parámetros fisicoquímicos de entrada son iguales a los parámetros fisicoquímicos de salida (Parámetro de entrada = Parámetro de salida).

H_a : Los parámetros fisicoquímicos de entrada son diferentes a los parámetros fisicoquímicos de salida (Parámetro de entrada \neq Parámetro de salida).

Esta hipótesis se cumplió para todos los tratamientos y cada una de sus parámetros de análisis. Para distribución normal se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, debido a que la muestras son menores de 30 y también cumple el siguiente criterio en su hipótesis:

H_0 : La distribución de la variable parámetro fisicoquímico ES IGUAL a la distribución normal

H_a : La distribución de la variable parámetro fisicoquímico ES DISTINTA a la distribución normal.

3.5.5.2 Calidad de compost

Se utilizó el método estadístico prueba de T para una muestra, para comparar los resultados de las variables con las normas internacionales, mencionados en la tabla 24, con lo cual se determinó la calidad del compost. Para todos los análisis las muestras fueron un total de 3 ($N = 3$), los grados de libertad fueron 2 ($gl = 2$) y se plantearon 2 hipótesis para comparar el valor mayor y menor en caso amerite, para el valor mayor fue:

H_0 : Los parámetros fisicoquímicos del compost son igual o menores a la norma de referencia (Parámetro fisicoquímico \leq Norma internacional).

H_a : Los parámetros fisicoquímicos del compost son mayores a la norma de referencia (Parámetro fisicoquímico $>$ Norma internacional).

Y para el valor menor fue:

H_0 : Los parámetros fisicoquímicos del compost son igual o mayores a la norma de referencia (Parámetro fisicoquímico \geq Norma internacional).

H_a : Los parámetros fisicoquímicos del compost son menores a la norma de referencia (Parámetro fisicoquímico $<$ Norma internacional).

Para el caso de rangos se comprobó que el parámetro cumpla con las dos condiciones, ser mayor al rango inferior y ser menor al rango superior de la norma de referencia.

Para distribución normal se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, debido a que la muestras son menores de 30 y cumple el siguiente criterio en su hipótesis:

H_0 : La distribución de la variable parámetro fisicoquímico ES IGUAL a la distribución normal

H_a : La distribución de la variable parámetro fisicoquímico ES DISTINTA a la distribución normal.

3.5.6 Eficiencia del tratamiento óptimo

Para determinar el mejor tratamiento se aplicó el método experimental ANOVA de un factor, para la comparación de grupos independientes (intersujetos), se compararon los resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos del compost, los cuales tuvieron 3 replica. Este método estadístico responde a la siguiente hipótesis con respecto a sus variables dependientes (parámetros fisicoquímicos):

H₀: Los tratamientos tienen los mismos valores en los parámetros fisicoquímicos del compost ($T_1 = T_2 = T_3 = T_4$).

H_a: Los tratamientos tienen diferentes valores en los parámetros fisicoquímicos del compost ($T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4$).

En la tabla 25 se muestran las concentraciones de los residuos que fueron combinados y los parámetros de medición.

Tabla 25. *Análisis de los Tratamientos*

Tratami entos	T1 10 % gallinaza 75 % R.O.C. 15 % poda	T2 15 % gallinaza 75 % R.O.C. 10 % poda	T3 20 % gallinaza 75 % R.O.C. 5 % poda	T4 25 % gallinaza 75 % R.O.C. 0 % poda
Parámet ros	Nitrógeno total (%)	Nitrógeno total (%)	Nitrógeno total (%)	Nitrógeno total (%)
	Fósforo (%)	Fósforo (%)	Fósforo (%)	Fósforo (%)
óptimos	Potasio (%)	Potasio (%)	Potasio (%)	Potasio (%)
(3	Fracción degradada	Fracción degradada	Fracción degradada	Fracción degradada
repetici	15 mm (kg)	15 mm (kg)	15 mm (kg)	15 mm (kg)
ones)	Peso final (kg)	Peso final (kg)	Peso final (kg)	Peso final (kg)

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Condiciones climáticas

En el mes de abril se reflejó una temperatura máxima de 26.5 °C, mínima de 17.4 °C y promedio de 22 °C, ver la figura 19.

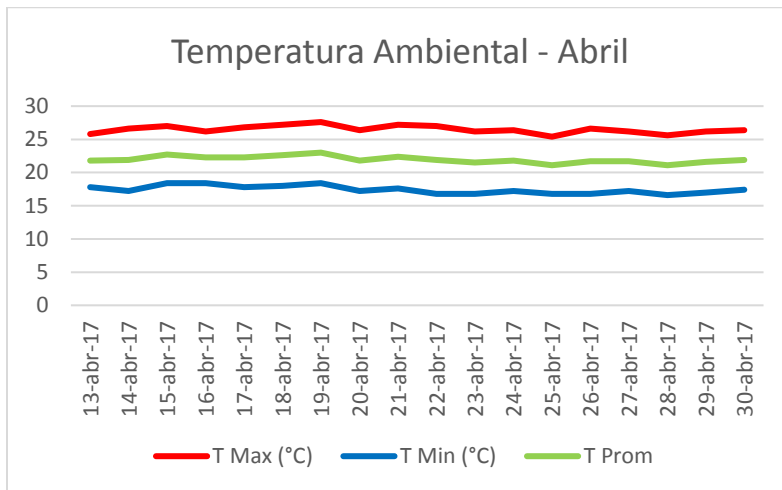


Figura 19. Temperatura Ambiental del Mes de Abril del 2017.

Para el mes de mayo la temperatura máxima fue de 25.2 °C, mínima de 15.8 °C y promedio de 20.5 °C, ver la figura 20.

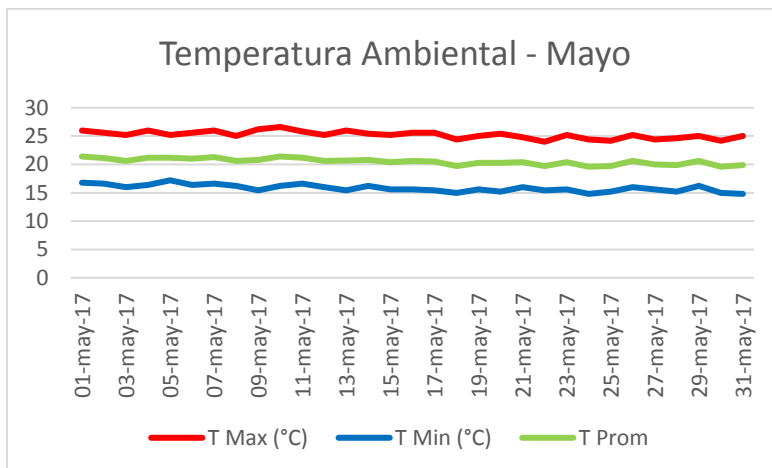


Figura 20. Temperatura Ambiental del Mes de Mayo del 2017.

Para el mes de junio la temperatura máxima fue de 24 °C, mínima de 13.8 °C y promedio de 18.9 °C, ver la figura 21.

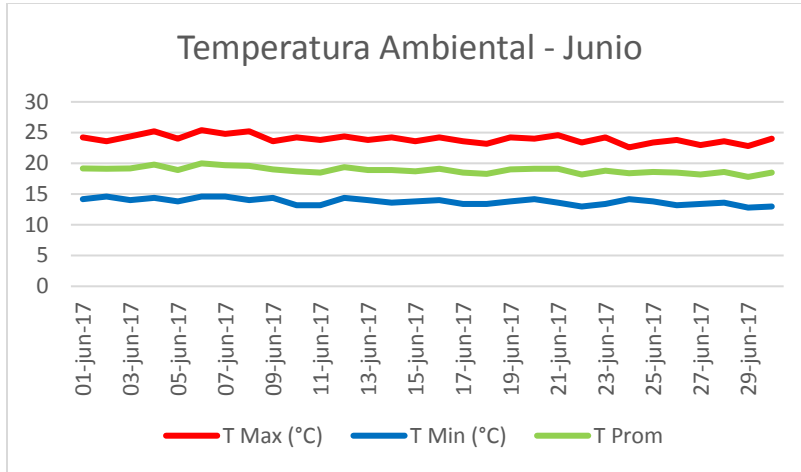


Figura 21. Temperatura Ambiental del Mes de Junio del 2017.

Para el mes de julio la temperatura máxima fue de 22.7 °C, mínima de 12.4 °C y promedio de 17.5 °C, ver la figura 22.

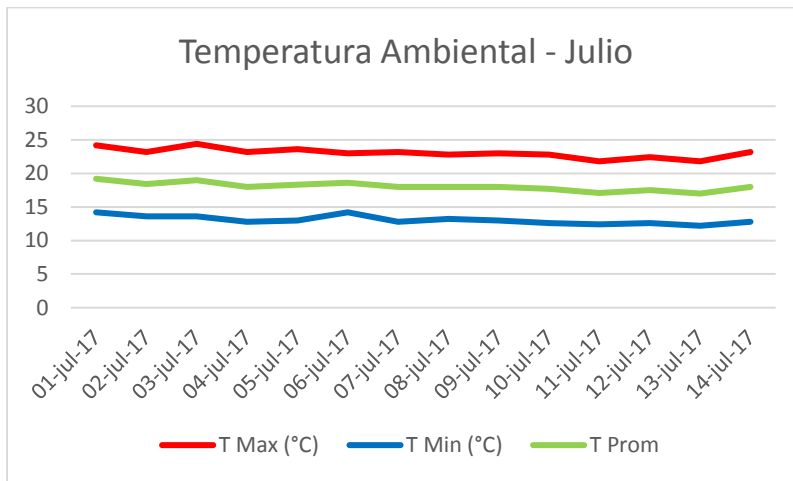


Figura 22. Temperatura Ambiental del Mes de Julio del 2017.

Desde abril la temperatura promedio de 22 °C descendió hasta 17.5 °C para el mes de Julio, esto presenta que el proceso de compostaje se trabajó en un clima semifrío.

4.2 Análisis de la materia prima al proceso de compostaje

Los tratamientos iniciaron con pH 5.96 a 6.47 semi ácido comparando con los resultados de Chunga (2014) y teniendo conocimiento que el tratamiento 1 tiene más contenido de poda de césped (15% al peso de la pila) se confirma que la reducción de pH en el medio es consecuencia del contenido de poda. Por otro lado, Cantanhede (1993) presenta los residuos de mercado con un pH de 5.48 que son similares a los residuos del estudio. Por ello, los pH determinados en los tratamientos demuestran que están influenciados por el contenido de residuos orgánicos, y la gallinaza tiene un impacto sobre el pH que es de 6.92, el pH fue óptimo para el ingreso al proceso de compostaje (Roman, 2012).

Con respecto a la humedad que oscila desde 75.08 a 68.44 se puede determinar que por la cantidad de los residuos orgánicos en la mezcla, los residuos orgánicos fresco tienen mayor contenido de humedad (Cantanhede, 1993). Tanto la FAO y la OPS recomiendan hasta un 60 % de humedad, pero para esta investigación fue difícil descender la humedad debido a las mismas características del residuos, porque iba demandar la putrefacción de los mismos, y se vio la manera de trabajar con una gallinaza en 54.03 % en promedio de humedad para equilibrar, aun así la humedad fue mayor al 60 %, los dos entes internacionales determinan que si se trabaja bajo esos criterios se tenga una correcta ventilación (volteo) y la cual se obtuvo.

La conductividad eléctrica aumenta de 9.52 a 20.7 en función a la presencia de gallinaza en los tratamientos, donde el tratamiento 1 tiene 10 % de gallinaza hasta el tratamiento 4 que tiene más contenido de gallinaza con un 25%, esta información respalda el contenido de C.E. de la gallinaza que alcanza a 33 dS/m.

La materia orgánica desciende de 76.98 a 58.84, que se puede interpretar que a mayor combinación de los residuos orgánicos (residuos de comedor, gallinaza y poda de césped) y

menor cantidad de gallinaza es mayor la materia orgánica, esto también respalda Chunga (2014) que en su análisis de residuos de jardín tiene un 76.73 % de materia orgánica. Con respecto a los nutrientes NPK, se puede determinar que el tratamiento 4 es el que cuenta con mayor contenido de NPK, Ca y MgO, que está relacionado con el mayor contenido de estiércol (25 %) y ausencia de césped de poda (0 %). Todo lo mencionado anteriormente se aprecia en la tabla 26.

Tabla 26. *Resultados de las Variables de la Materia Prima*

Variables	T1	T2	T3	T4	Gallinaza
pH	5.96	6.01	6.23	6.47	6.92
Humedad (%)	71.42	75.08	71.48	68.04	54.03
C.E. (dS/m)	9.52	13.4	16.2	20.7	33
M.O. (%)	76.98	72.11	64.57	58.84	52.73
N (%)	2.26	2.29	2.49	2.74	2.92
P ₂ O ₅ (%)	1.43	2.02	2.87	4.67	4.58
K ₂ O (%)	2.81	3.35	3.51	4.43	3.67
CaO (%)	3.77	5.64	8.33	9.31	12.32
MgO (%)	0.54	0.82	0.94	1.5	1.69

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Análisis de los parámetros de control en proceso de compostaje

4.3.1 Temperatura en los tratamientos

En la figura 23 se muestra que tratamiento 1 inicia con una temperatura de 40 °C manifestando así la fase mesófila, sube con máximo de 60 °C para la determinar así la fase termófila en el segundo día de medición, luego de 5 días se puede determinar que la temperatura cae 47.1 °C que determina el fin de la fase termófila, durante un mes la temperatura cae de 42.8 °C hasta 24.1 °C que manifiesta que este periodo está marcando la fase de enfriamiento. Posteriormente la fase de maduración dura 1 mes y 2 semanas, donde la temperatura se mantiene entre 21.6 °C a 20.2 °C (Mendoza, 2012).

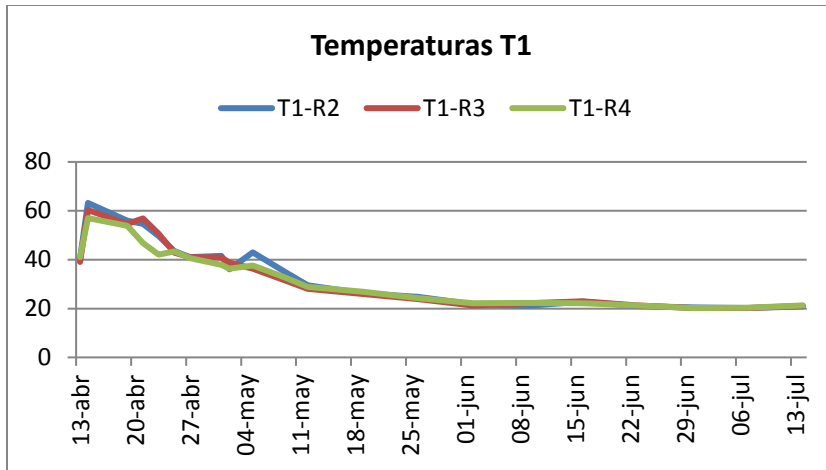


Figura 23. Temperatura del Tratamiento 1.

En la figura 24, se muestra que tratamiento 2 inicia con una temperatura de 55,7 °C en promedio, manifestando así la fase termófila, sube con máximo de 57 °C para la determinar así la fase termófila en el segundo día de medición, luego de 9 días se puede determinar que la temperatura cae 45.3 °C que determina el fin de la fase termófila, durante un mes la temperatura cae de 45.3 °C hasta 23.1 °C que manifiesta que este periodo está marcando la fase de enfriamiento. Posteriormente la fase de maduración dura 1 mes y 2 semanas, donde la temperatura se mantiene entre 21.2 °C a 19.9 °C.

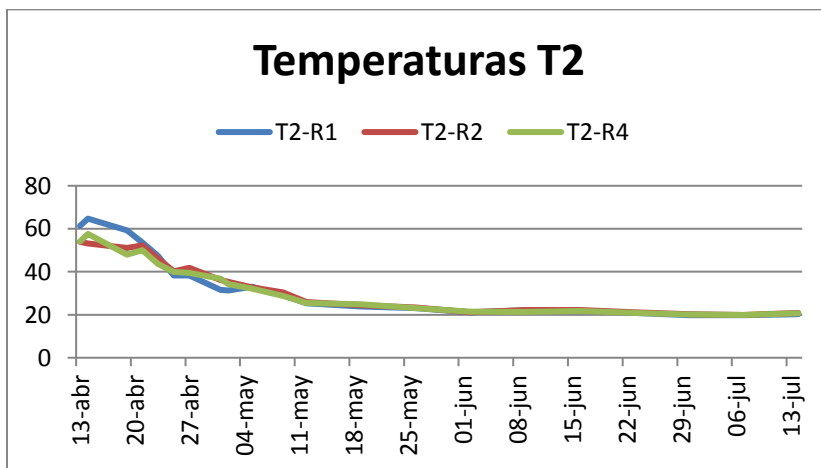


Figura 24. Temperatura del Tratamiento 2.

En la figura 25, se muestra que tratamiento 3 inicia con una temperatura de 51,7 °C en promedio, manifestando así la fase termófila, sube con máximo de 53,8 °C para la determinar así la fase termófila en el segundo día de medición, luego de 7 días se puede determinar que la temperatura cae 46 °C que determina el fin de la fase termófila, durante un mes la temperatura cae de 41.8 °C hasta 24.1 °C que manifiesta que este periodo está marcando la fase de enfriamiento. Posteriormente la fase de maduración dura 1 mes y 2 semanas, donde la temperatura se mantiene entre 22.1 °C a 20.1 °C.

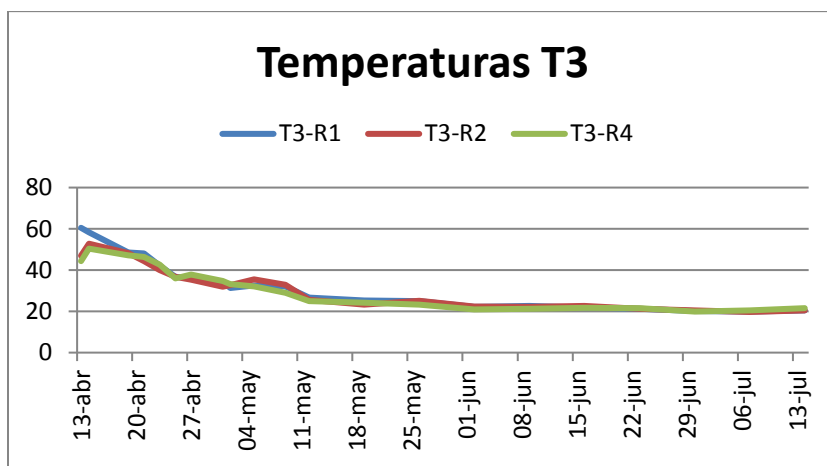


Figura 25. Temperatura del Tratamiento 3.

En la figura 26, se muestra que tratamiento 4 inicia con una temperatura de 47,6 °C en promedio, manifestando así la fase termófila, por otro lado, no hay ascenso de temperatura y por 6 días mantiene fase termófila llegando hasta una temperatura de 43.3, durante un mes la temperatura cae de 43.3 °C hasta 23.7 °C que manifiesta que este periodo está marcando la fase de enfriamiento. Posteriormente la fase de maduración dura 1 mes y 2 semanas, donde la temperatura se mantiene entre 23.7 °C a 20.5 °C.

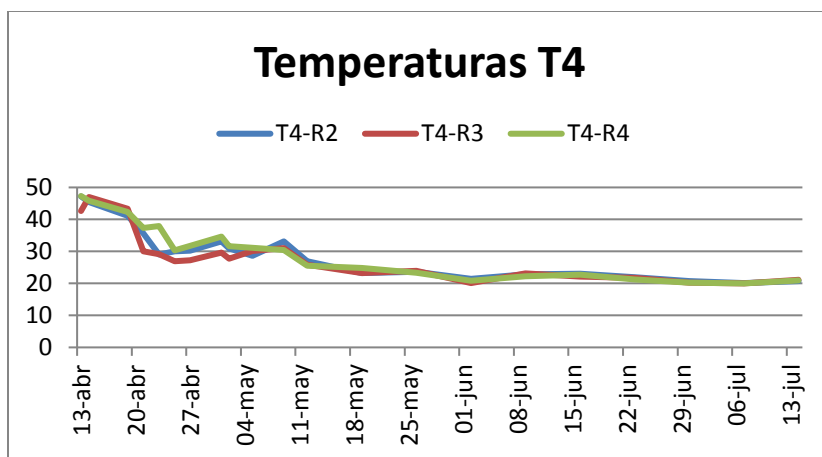


Figura 26. Temperatura del Tratamiento 4.

Se puede determinar que las pilas comenzaron con la fase mesófila en las dos primeras horas. La fase termófila duro en un lapso de 6 a 10 días, siendo la mayor duración con la presencia de poda de césped de 15 % (6 kilos). Para la fase de enfriamiento de 30 a 36 días, siendo el mayor de días con los que tenían mayor contenido de estiércol de gallina de 25 % (10 kilos). Para la fase de maduración fueron de 42 días para todas las pilas. Por lo cual se evidencia las temperaturas bien marcadas las cuales fueron estimadas.

Para todos lo tratamiento con respecto a la temperatura, la oscilación que presenta el grafico se asemejan, y están dentro de los valores presentados por Cantanhede (1993), Ruiz (2003), Mendoza (2012), Chunga (2014) y Cabrera (2016) con respecto a sus investigaciones en el proceso de compostaje.

4.3.2 Potencial de hidrogeno en los tratamientos

En la figura 27, se muestra que el tratamiento 1 con el respecto al pH, comienza ligeramente acido con 3.5, luego con proceso de compostaje, en la fase termófila va tornándose alcalino hasta llegar a una base relativa de 8.1. Luego el pH se reduce hasta 6,6 en la fase enfriamiento y la fase de maduración concreta el pH de 7 óptimo para un compost óptimo.

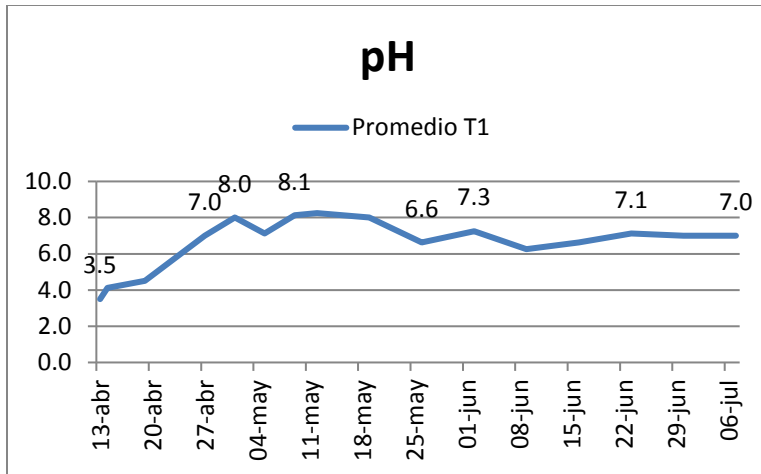


Figura 27. pH del Tratamiento 1.

En la figura 28, se muestra que el tratamiento 2 con el respecto al pH, comienza ligeramente ácido con 3.5, luego con proceso de compostaje, en la fase termófila va tornándose alcalino hasta llegar a una base relativa de 8.4. Luego el pH se reduce hasta 6,3 en la fase enfriamiento y la fase de maduración concreta el pH de 7 óptimo para un compost óptimo.

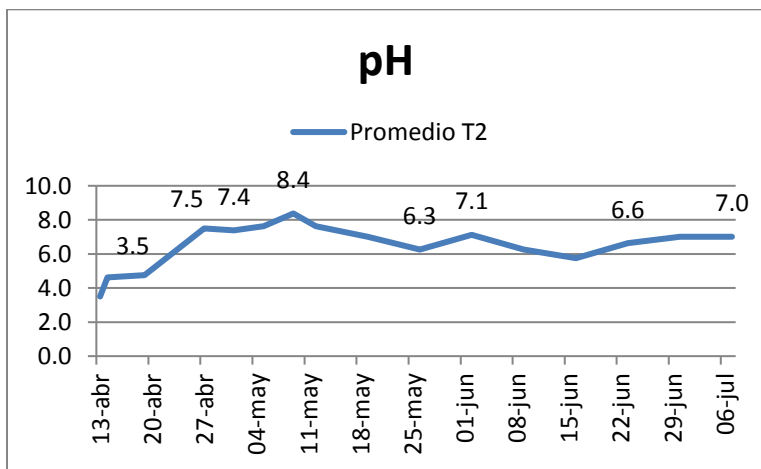


Figura 28. pH del Tratamiento 2.

En la figura 29, se muestra que el tratamiento 3 con el respecto al pH, comienza ligeramente ácido con 3.1, luego con proceso de compostaje, en la fase termófila va tornándose

alcalino hasta llegar a una base relativa de 8.3. Luego el pH se reduce hasta 6,9 en la fase enfriamiento y la fase de maduración concreta el pH de 7 óptimo para un compost óptimo.

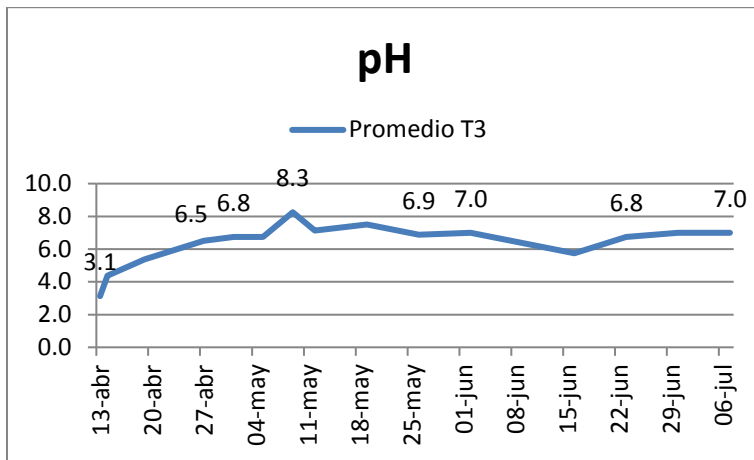


Figura 29. pH del Tratamiento 3.

En la figura 30, se muestra que el tratamiento 4 con el respecto al pH, comienza ligeramente ácido con 4.3, luego con proceso de compostaje, en la fase termófila va tornándose neutro hasta llegar a 7.1. Luego el pH se reduce hasta 6,6 en la fase enfriamiento y la fase de maduración concreta el pH de 6.9 óptimo para un compost óptimo.

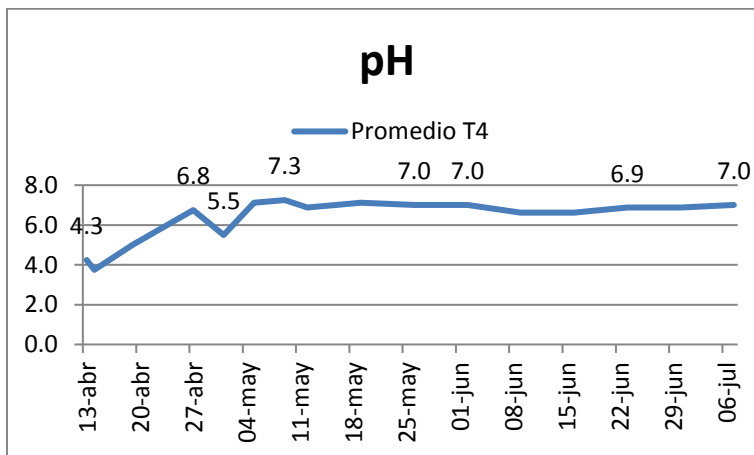


Figura 30. pH del Tratamiento 4.

En los tratamientos T1, T2 y T3 se puede evidenciar que tienen las características normales de un proceso de compostaje desde una zona acida hasta alcalina, luego de eso la caída del pH hasta ligeramente ácido y por último la nivelación del pH en 7. Solo en T4 el pH fue irregular porque no se presenta una parte alcalina.

En los pH de los tratamientos, su oscilación de cantidades y secuenciales tiene un comienzo acido, un ascenso alcalino y bajada a zona neutra de pH, estos se asemejan a los de Mendoza (2012) donde su pH en el proceso alcanza hasta 8.2 y existen un descenso hasta 7.39. Para Ruiz (2003) en su pila 2, compuesta de residuos de jardín, algarrobo, estiércol de oveja y residuos de comida alcanza pH de 8.94.

4.4 Análisis del compost

En las siguientes tablas 27, 28, 29 y 30 se presentan los resultados del análisis completo del compost, con sus respectivos promedios:

Tabla 27. *Resultados del Análisis de Compost en el Tratamiento 1*

TRATAMIENTO 1: 75 % RRSS, 15 % PODA Y 10 % GALLINAZA FRESCA				
ÍTEM	T1 - R2	T1-R3	T1-R4	PROMEDIO
pH	8.75	9.3	8.9	8.98
C.E. (mS/cm) 1:2,5	10.5	11.8	10.6	10.97
Humedad (%)	5.34	7.29	9.24	7.29
Carbono (%)	22.5	28.86	29.25	26.87
M.O. (%)	38.8	49.85	50.44	46.36
N (%)	2.38	2.38	2.8	2.52
P ₂ O ₅ (%)	3.22	2.94	3.04	3.07
K ₂ O (%)	3.24	4.6	4.21	4.02
CaO (%)	8.89	6.72	6.97	7.53
MgO (%)	0.98	0.76	1.01	0.92
C/N	9.45	12.13	10.45	10.68

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Resultados del Análisis de Compost en el Tratamiento 2

TRATAMIENTO 2: 75 % RRSS, 10 % PODA Y 15 % GALLINAZA FRESCA				
ÍTEM	T2 - R1	T2-R2	T2-R4	PROMEDIO
pH	8.5	9.1	9.7	9.10
C.E. (mS/cm) 1:2,5	11.5	13.2	12.6	12.43
Humedad (%)	9.68	8.49	8.67	8.95
M.O. (%)	53.53	53.56	51.53	52.87
Carbono (%)	31.05	31.07	29.71	30.61
N (%)	3.92	2.73	2.87	3.21
P ₂ O ₅ (%)	2.96	3.02	3	2.99
K ₂ O (%)	4.61	4.79	4.99	4.80
CaO (%)	6.22	6.41	8.96	7.20
MgO (%)	0.87	0.92	0.95	0.91
C/N	7.92	11.38	10.35	9.88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Resultados del Análisis de compost en el tratamiento 3

TRATAMIENTO 3: 75 % RRSS, 5 % PODA Y 20 % GALLINAZA FRESCA				
ÍTEM	T3 - R1	T3-R2	T3-R4	PROMEDIO
pH	8.7	9.73	9.2	9.21
C.E. (mS/cm) 1:2,5	12.1	13.9	13.2	13.07
Humedad (%)	8.14	8.09	7.65	7.96
M.O. (%)	46.46	48.36	48.97	47.93
Carbono (%)	26.95	28.05	28.4	27.8
N (%)	1.89	2.59	2.87	2.45
P ₂ O ₅ (%)	2.97	3.01	3.26	3.08
K ₂ O (%)	4.57	4.71	4.32	4.53
CaO (%)	8.46	7.27	7.21	7.65
MgO (%)	1.33	0.97	0.91	1.07
C/N	14.26	10.38	9.9	11.51

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. *Resultados del Análisis de Compost en el Tratamiento 4*

TRATAMIENTO 4: 75 % RRSS, 0 % PODA Y 25 % GALLINAZA FRESCA				
ÍTEM	T4 - R2	T4-R3	T4-R4	PROMEDIO
pH	9.73	9.8	9.55	9.69
C.E. (mS/cm) 1:2,5	9.8	12.8	13.8	12.13
Humedad (%)	8.18	6.45	6.38	7.00
M.O. (%)	48.31	45.59	41.28	45.06
Carbono (%)	28.02	26.44	23.94	26.13
N (%)	3.22	2.24	2.52	2.66
P ₂ O ₅ (%)	3.07	3.06	3.32	3.15
K ₂ O (%)	4.18	3.69	3.88	3.92
CaO (%)	8.16	8.93	9.6	8.90
MgO (%)	1.17	1.11	1.14	1.14
C/N	8.7	11.8	9.5	10.00

Fuente: Elaboración propia.

La ampliación de los descriptivos y las pruebas de normalidad de los tratamientos se pueden visualizar en el anexo 7.

Con respecto a la C.E. para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 tienen valores por encima de 9.8 mS/cm a 13.8 mS/cm, y en los resultados se presenta una dilución de 1:2.5, entonces para una dilución de 1:5 serían los valores a la mitad de 4.9 mS/cm a 6.9 mS/cm, los cuales son valores aceptables al comparar con la norma chilena, que manifiesta que para la clase de compost de “tipo A” debe ser menor a 3 mS/cm y la clase B de 3 a 8 mS/cm. Por otro lado, en algunas referencias europeas mencionadas por Ansorena (2011) para el uso de compost como sustrato recomienda 1 mS/cm y en la producción frutícola hasta 2 mS/cm. Según el Instituto Paisajismo Británico (2010) un rango óptimo de 2 a 3 mS/cm, por otro lado, en la Norma Técnica Española NTJ hasta un máximo de 4 mS/cm, estas normas refieren con respecto a la aplicación de compost en suelos de uso paisajístico, que se parece al uso que nuestro compost puede ser aplicado. El incremento de C.E. en el compost elaborado en UPeU puede estar influenciado por el alto

contenido de C.E. de la gallinaza (33), el no contar con recirculación de lixiviados y la pérdida de humedad hasta un mínimo de 5.34 %.

La humedad de los tratamiento fluctúa de 5.34 % a 9.24 %, esto se debe a que el compost se dejó secar para poder cernir, también mencionar que la humedad no es un parámetro determinante para la calidad de compost, porque si hubiera excesos se lo pone a secar, y si hubiera déficit se le pone a regar, pero si afecta directamente al pH y la conductividad eléctrica del compost, y eso se evidencia en los enunciados anteriores (Chunga, 2014).

El contenido de materia orgánica en todos los tratamientos osciló de 38.8 % hasta 53.53 %, esto indica que el compost elaborado tiene un alto contenido de materia orgánica, la norma chilena 2880 (2004) considera optimo mayo a 20 %, mientras que la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 (2008) considera un rango de 20% a 50% y corrobora la WHO (1963) una referencia de 25 % a 50%. Estos valores obtenidos superan a su estudio de Cabrera (2016) de 34 % de materia orgánica.

El nitrógeno en los tratamientos oscila de 1.89 % hasta 3.92 %, teniendo en cuenta que la norma española Real Decreto 506/2013 recomienda que el nitrógeno disponible sea mayor a 2%. Casi todas las muestras cumplen ese criterio, solo en el T3-R1 se presenta en 1.89 %. Luego los tratamientos y sus repeticiones están por encima de 2 %. También las muestras del estudio superaron a las obtenidas por Ruiz (2003) que obtuvo un máximo de 1.8 %, y a Mendoza (2012) que obtuvo un máximo de 1.33 % en su último volteo. Cabrera (2016) con los residuos orgánicos de Miraflores – Lima obtuvo un máximo 1.7 %, este aporte significativo de nitrógeno se da porque el proceso de compostaje se realizó en óptimas condiciones y la gallinaza tiene un gran aporte de nitrógeno al compost.

Para el fósforo, en todos lo tratamiento estamos en un rango optimo con un mínimo de 2.94 % hasta 3.32 %. Esto se corrobora con la norma española Real Decreto 506/2013 que recomienda mayo de 1 %, y también la Organización mundial de la Salud (1956) recomienda un rango de 0.3 % a 3.5 % (Gotass, 1956). Para chungu (2014) el fósforo obtenido en sus compost fueron inferiores 0.035 %, y esto se debe a que sus residuos utilizados no tenían la presencia de este macro elemento, a diferencia del resultado del estudio que al iniciar se obtuvo 4.67 % de fósforo, debido a la presencia de fósforo de todos los residuos orgánicos compostados.

En el potasio los valores fueron altos desde 3.06 % hasta 4.99 %, comparados con los resultados de Cabrera (2016) que obtuvo en un rango de 1.08 % a 1.12%. Para la norma española Real Decreto 506/2013 recomienda que después del nitrógeno los demás macro-nutrientes como fósforo y potasio, deben aporta un mínimo de 1%. Gotaas (1956) por un estudio de la OMS recomienda un rango 0.5 % a 1.8 %. Con respecto la FAO (2013) propone 0.3 % a 1.0 %.

Respecto al calcio los valores obtenidos son 6.22 % hasta 9.60 %, semejantes a los resultados de Cabrera (2016). La norma española Real Decreto 506/2013 recomienda mayor a 1 %, sin embargo, Gotaas (1956) plantea 20 % a 65 %, el calcio es muy importante en el crecimiento de la planta porque es un elemento esencial porque forma parte y crea las paredes celulares. Con el magnesio no se encontró ninguna norma referente solo el criterio de la norma española Real Decreto 506/2013, que recomienda los macronutrientes mayores a 1 %. El magnesio en el estudio estuvo en el rango de 0.87 % a 1.33 % similares a los valores de Cabrera (2016), que fueron 1.2% a 1.5%.

La relación C/N fue de 7.92 hasta 14.26 lo cual demuestra un compost estable, respaldado por lo valores de Cantanhede (1993) que tuvo valores de C/N de 12 a 17, de Ruiz (2003) un valor de 13.9, de Chungu (2014) unos valores de 6.69 a 8.29 y Cabrera (2016) con

valores de 11.56 a 12.71. Para la norma técnica española Real Decreto 506/2013 recomienda que la relación C/N sea menor a 15.

En la tabla 31 siguiente se muestran los pesos obtenidos por tamices 15 mm y el peso final del compost que varía de 5 kg hasta 6 kg. La fracción degradada de 15 mm tuvo un rango de 1.9 kg hasta 3.4 kg, se toma de referencia este tamaño de partícula debido a que es aceptada por la norma chilena NCH2880 (2004) que recomienda partículas menores a 15 mm. Las muestras descartadas son T1-R1, T2-R3, T3-R3 y T4-R1, las cuales como se menciona anteriormente fueron descartadas aleatoriamente. En función al peso total del inicio del proceso de compostaje todas las pilas ingresaron con 40 kg y con los datos obtenidos se puede determinar que se tuvo un rango de reducción de masa de 85 % a 87.5 %. El material aplicable como compost óptimo de acuerdo al tamaño de partícula (15 mm) fue de 4.75 % a 8.5 %. Estos resultados pueden ser respaldados por Chunga (2014) que tuvo reducción de 78.69 % hasta 83.06 %, hasta podemos afirmar que nuestra de reducción de masa supero a Chunga (2014).

Tabla 31. *Pesos del Tamiz 15 mm y Peso Final*

N° Repetición	Cernido	Tratamiento 1 (kg)	Tratamiento 2 (kg)	Tratamiento 3 (kg)	Tratamiento 4 (kg)
1	FD < 15 mm	3	3	2.8	3.6
	Peso Final	6.5	5	5.2	6
2	FD < 15 mm	2.8	3	2.8	3.8
	Peso Final	5.5	4.9	5.7	7
3	FD < 15 mm	3.2	2.4	2.8	3.4
	Peso Final	6	5.1	5	5.5
Promedio	FD < 15 mm	3	2.8	2.8	3.6
	Peso Final	6	5	5.3	6.2

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1 Influencia del proceso de compostaje

En el análisis para la influencia del proceso de compostaje sobre los parámetros fisicoquímicos del estudio, se utilizó la prueba de T para muestras relacionadas y para su distribución normal de las variables la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, todos los datos están respaldados por la tabla de resumen del Anexo 7.

4.4.1.1 pH

El pH en los tratamientos 1, 2, 3 y 4 tuvieron un incremento de 3.02, 3.09, 2.98 y 3.22 respectivamente, para cada tratamiento la significancia fue menor a 0.05 ($p_1 = 0.003$, $p_2 = 0.012$, $p_3 = 0.010$ y $p_4 = 0.001$) y en la prueba de normalidad demuestra que todas las variables tienen distribución normal.

En los tratamientos el pH inicial es de 5.96 a 6.47 un pH ligeramente ácido, y al salir del proceso de compostaje de 9.98 a 9.69 que es ligeramente básico esto se debe a la pérdida de agua y la presencia de CaO y MgO. También se puede corroborar que el proceso de compostaje tiene un impacto significativo sobre el pH (Cantanhede, 1993). Esto se aprecia en la figura 31.

Al compararlo con otros casos, el tratamiento 1 tiene un pH que se acerca a los resultados por Cantanhede (1993) y en el proceso de compostaje para Ruiz (2003), donde el último volteo arrojó un pH de entre 8.75 y 8.94, por lo cual en el análisis final que mantuvo en su tesis, no debería variar significativamente según lo investigado, ambos compost tienen similitud de la composición inicial del estudio. Esto difiere con los resultados obtenidos por Álvarez (2013) que obtuvo de 7.73 y 7.74 para sus pilas respectivamente, donde se trabaja con residuos orgánicos y estiércol fresco de vacuno.

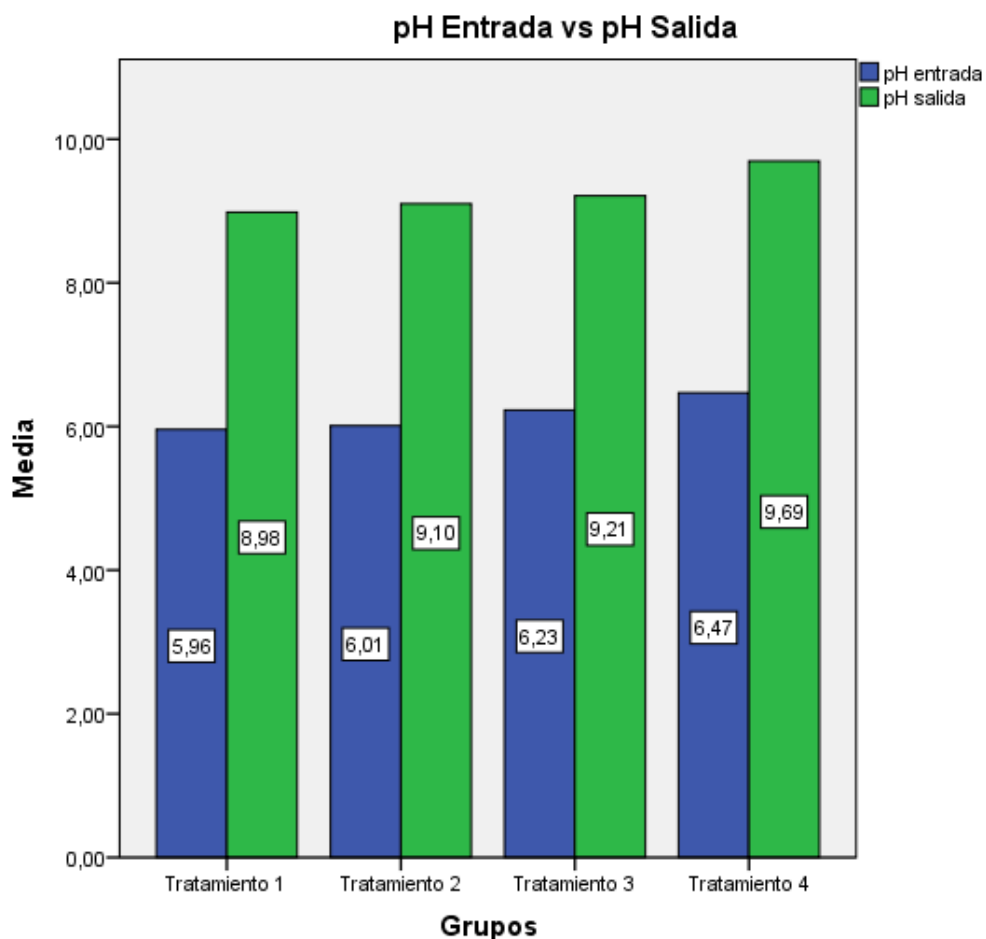


Figura 31. Comparación del pH Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.

4.4.1.2 Conductividad Eléctrica (C.E.)

La conductividad eléctrica en el tratamiento 1 tiene un incremento de 1.45 dS/m pero no es significativo por su “p valor = 0.074”. En el tratamiento 2 y 3 se presenta una disminución de 0.97 dS/m y 3.13 dS/m respectivamente, pero lo cual no es significativa porque su “p” es mayor a la significancia ($p_2 = 0.192$ y $p_3 = 0.27$), se puede afirmar que el tratamiento 1, 2 y 3 la conductividad eléctrica se ha mantenido. Por el contrario, el tratamiento 4 tiene una disminución significativa de 8.57 dS/m con un “p valor de 0.019”, se puede decir que el tratamiento 4 ha reducido significativamente la conductividad eléctrica de su medio, lo cual se busca en todo

compost. Todas las variables de los tratamientos tienen una distribución normal de 0.13, 0.68, 0.76 y 0.46 respectivamente. Como se aprecia en la figura 32.

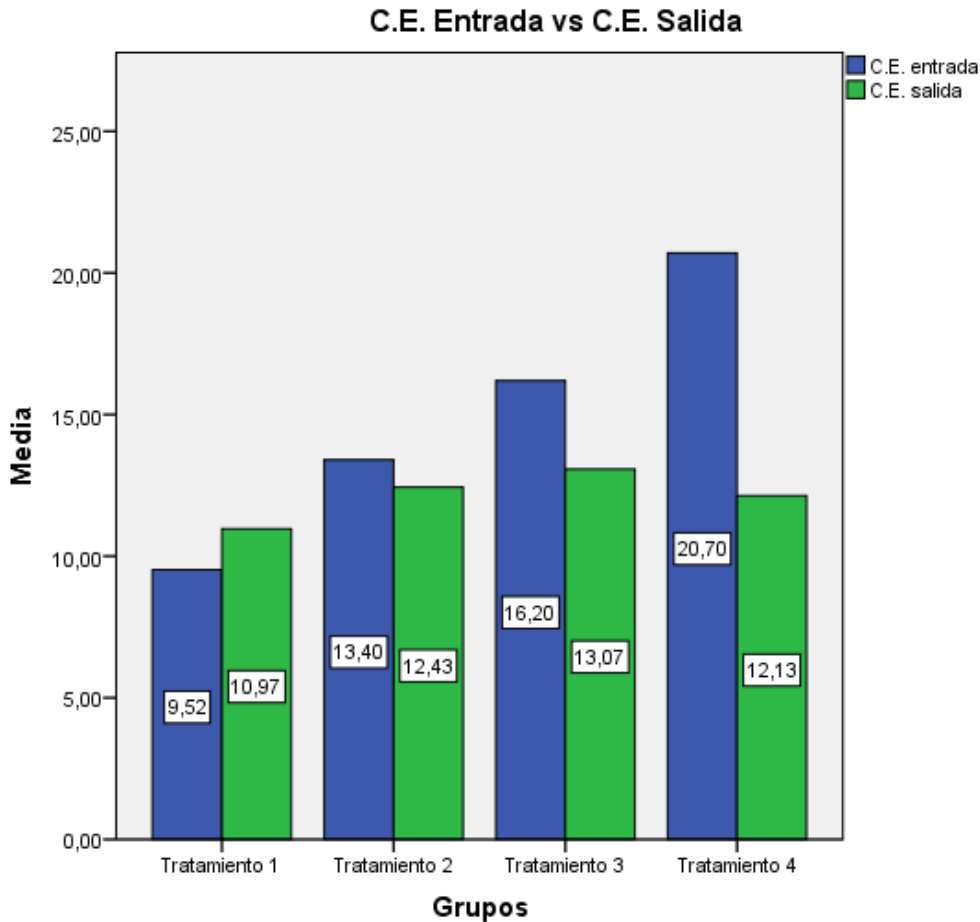


Figura 32. Comparación de la Conductividad Eléctrica Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.

4.4.1.3 Humedad

La humedad en los tratamientos 1, 2, 3 y 4 se ha reducido significativamente en 64.13 %, 66.13 %, 63.52 % y 61.04 %, con una significancia de 0 para los 4 tratamientos, también los tratamientos tienen una distribución normal por sus “p de Shapiro-Wilk” mayores a 0.05. La humedad de entrada de los tratamientos oscila de 61.04 % (tratamiento 4) a 66.13 %, esta humedad se acerca a lo recomendado Haug (1993) que es de 45 % a 60 %, una humedad aceptable para el proceso de compostaje. En la evaluación del compost la humedad de salida

oscila de 7 % (tratamiento 4) a 8.95 % (tratamiento 2) 7.9, que comparado con la norma chilena NCH2880-2004 que es de 30 % a 45 %, y con la recomendación de Chunga (2014) que es de 40 % a 60 %, es muy baja. El descenso de humedad se debe a que el compost se dejó de secar para el cernido y su pesado (Chunga, 2014). Como se aprecia en la figura 33.

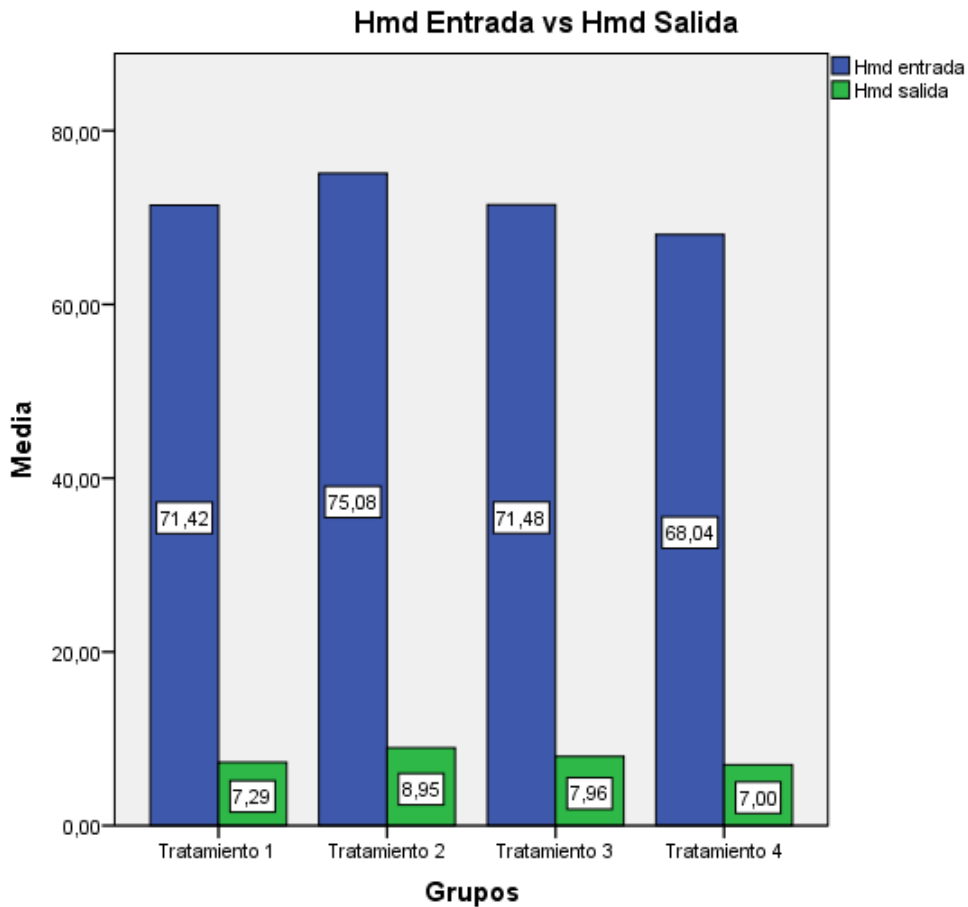


Figura 33. Comparación de la Humedad Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.

4.4.1.4 Materia Orgánica

La materia orgánica en los tratamientos 1, 2, 3 y 4 se ha reducido significativamente en 30.62 %, 19.24 %, 16.64 % y 13.78 % respectivamente, para los 4 tratamientos la significancia fue menor a 0.05. Solo el tratamiento 3 no tienen una distribución normal (0.03) y los demás cumple con la distribución normal. La materia orgánica entro de un 58.84 % (tratamiento 4) a

76.98 % (tratamiento 1) y finalizo en el compost con 45.06 % (tratamiento 1) a 52.87 % (tratamiento 2), está pérdida de materia orgánica se debe al consumo de nutrientes. El tratamiento 1 tuvo una mayor degradación de la materia orgánica, partiendo de 76.98 % perdió 30.62 % y dejando como resultado un 45.06%. Por lo tanto, la materia orgánica se degrado en todos los tratamientos esto demuestra un correcto crecimiento microbiano y mineralización de los nutrientes. La M.O. de entrada no es aprovechable sino ha pasado por un proceso de degradación el cual lo hace el compostaje (Mendoza, 2012). Esto se aprecia en la figura 34.

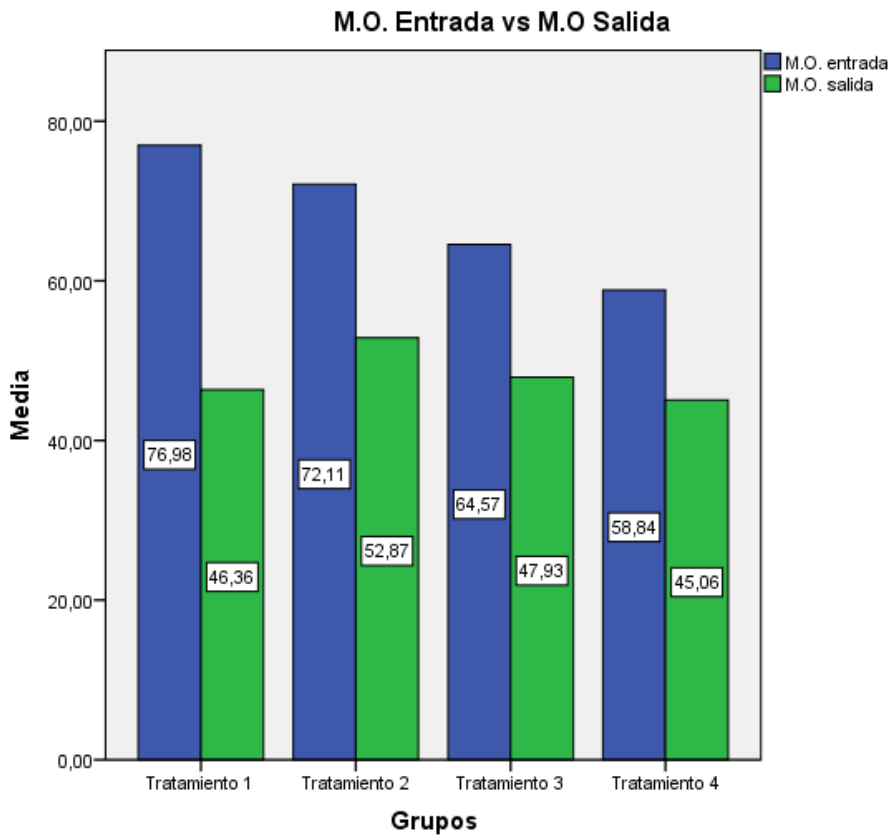


Figura 34. Comparación de la Materia Orgánica Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.

4.4.1.5 Nitrógeno

El nitrógeno en los tratamientos 1 y 2 ha aumentado en 0.26 % y 0.91 %, a diferencia de los tratamientos 3 y 4 donde el nitrógeno ha disminuido en 0.04 % y 0.08 respectivamente, en

ninguno de los tratamientos existe significancia, debido a que su “p valor” respectivamente son de 0.20, 0.13, 0.90 y 0.81. Solo el tratamiento 1 no tenía distribución normal (0.00). Lo que significa que la cantidad de nitrógeno no se ha perdido en el proceso de compostaje, porque existe respiración microbiana y fijación de nutrientes por las bacterias, y también la humificación de la materia orgánica influyen en el aumento de nitrógeno en el compost (Cantanhede, 1993). Esto se aprecia en la figura 35.

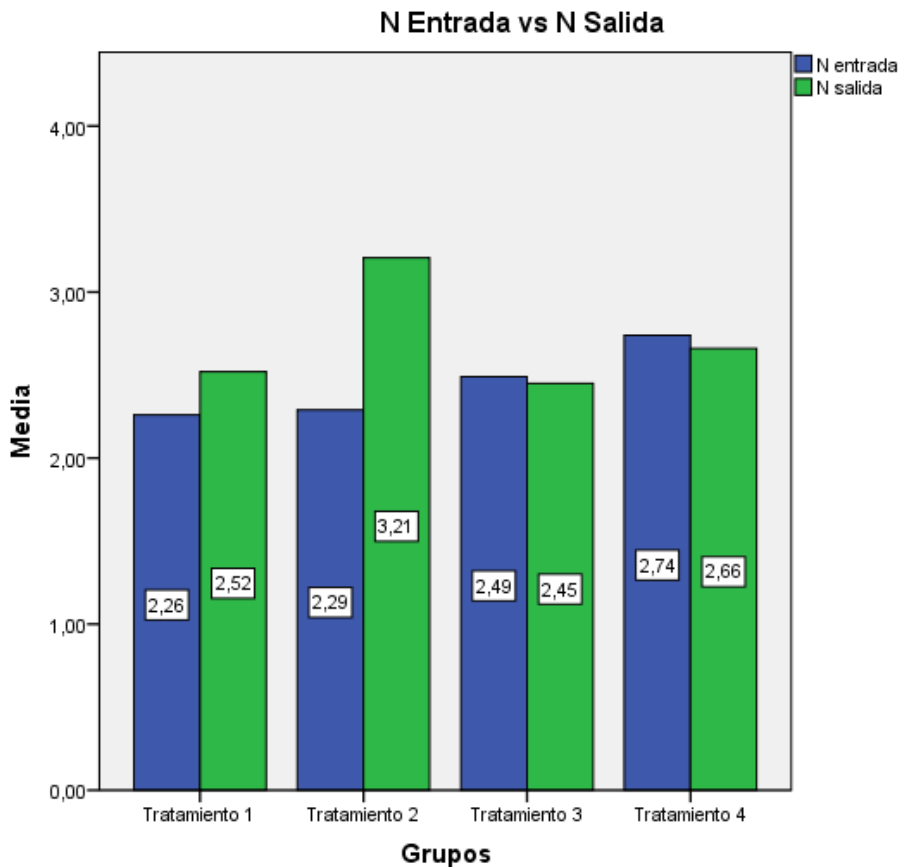


Figura 35. Comparación del Nitrógeno Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.

4.4.1.6 Fósforo “P₂O₅”

En el tratamiento 1 y 2 el fósforo ha aumentado significativamente en 1.62 % y 0.97 % respectivamente, teniendo una significancia de 0.002 y 0.000. El tratamiento 3 ha tenido un ligero aumento de 0.21 % que no es significativo y con un p valor de 0.15. Por último, el

tratamiento 4 ha disminuido significativamente en 1.52 % y con una significancia de 0.003. Todas las variables tienen distribución normal (0.67, 0.64, 0.24 y 0.07). En el fósforo de entrada se pudo observar que aumentaba a mayor cantidad de gallinaza, en el tratamiento 1 de 1.43% (10 % de gallinaza) hasta el tratamiento 4 con 4.67 % (25 % de gallinaza), pero en la salida del fósforo se pudo determinar que oscilaban en 2.99 % (tratamiento 2) al 3.15 % (tratamiento 4), como si fuera una estabilidad homogénea entre los tratamientos (Chunga, 2014). Como se aprecia en la figura 36.

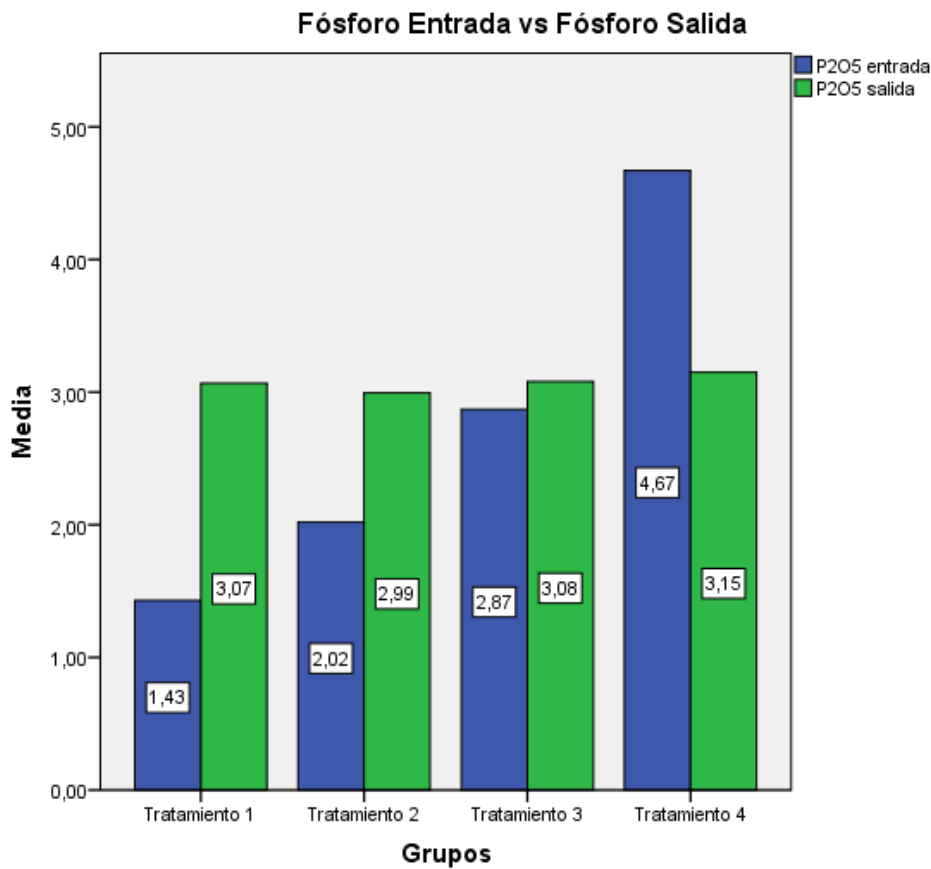


Figura 36. Comparación del Fósforo Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.

4.4.1.7 Potasio “K₂O”

El potasio en el tratamiento 1 aumenta en 1.21 pero no es significativo porque su “p valor” es igual a 0.096 y esto demuestra que el potasio se ha mantenido. Los tratamientos 2 y 3

tiene un aumento significativo de 1.45 % y 1.02 % de fósforo, con una significancia de 0.006 y 0.012. El tratamiento 4 ha disminuido en 0.51 % y no es significativo por su “p valor” de 0.069, por lo tanto el potasio se ha mantenido (Cabrera & Rossi, 2016). Como se aprecia en la figura 37.

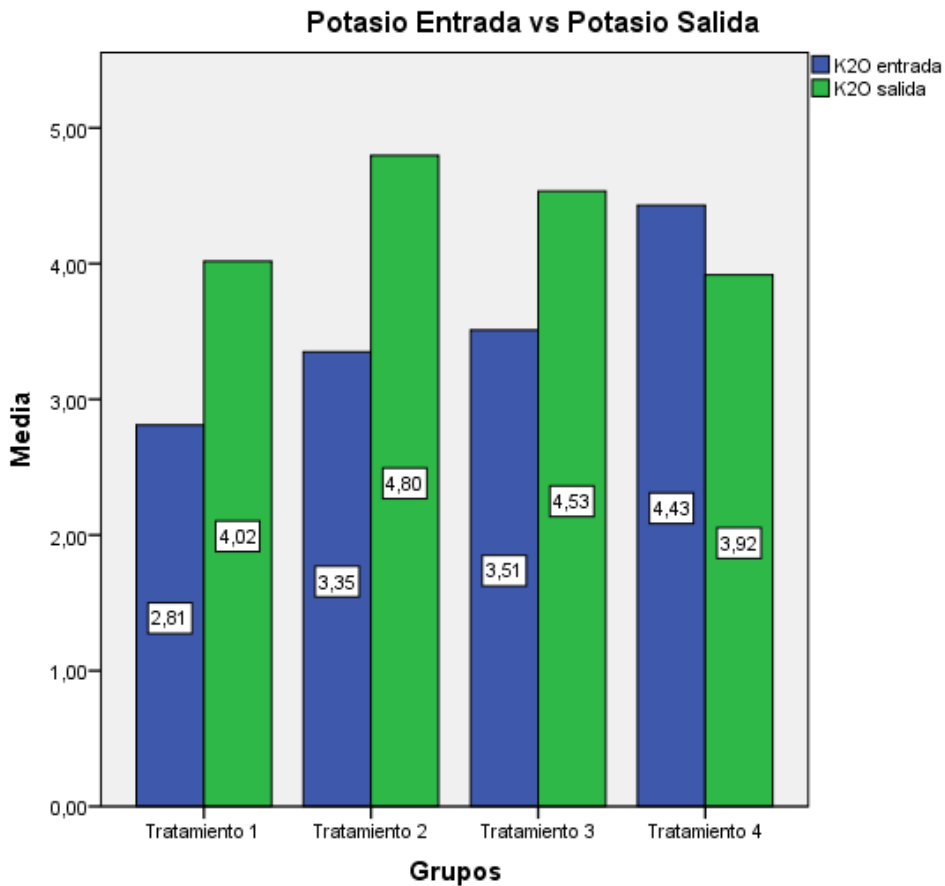


Figura 37. Comparación del Potasio Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.

4.4.1.8 Calcio “CaO”

El calcio en el tratamiento 1 y 2 presentan un aumento de 3.76 % y 1.56 %, los cuales no son significativos debido a que su significancia es de 0.32 y 0.22. En los tratamientos 3 y 4 el calcio se reduce en 0.68 y 0.41, pero al igual que los demás tratamientos no son significativos con un valor de significancia de 0.24 y 0.43. Los tratamientos cuentan con distribución normal

de 0.20, 0.12, 0.08 y 0.92 respectivamente. Esto afirma que el calcio se ha mantenido a través del proceso de compostaje. Como se aprecia en la figura 38.

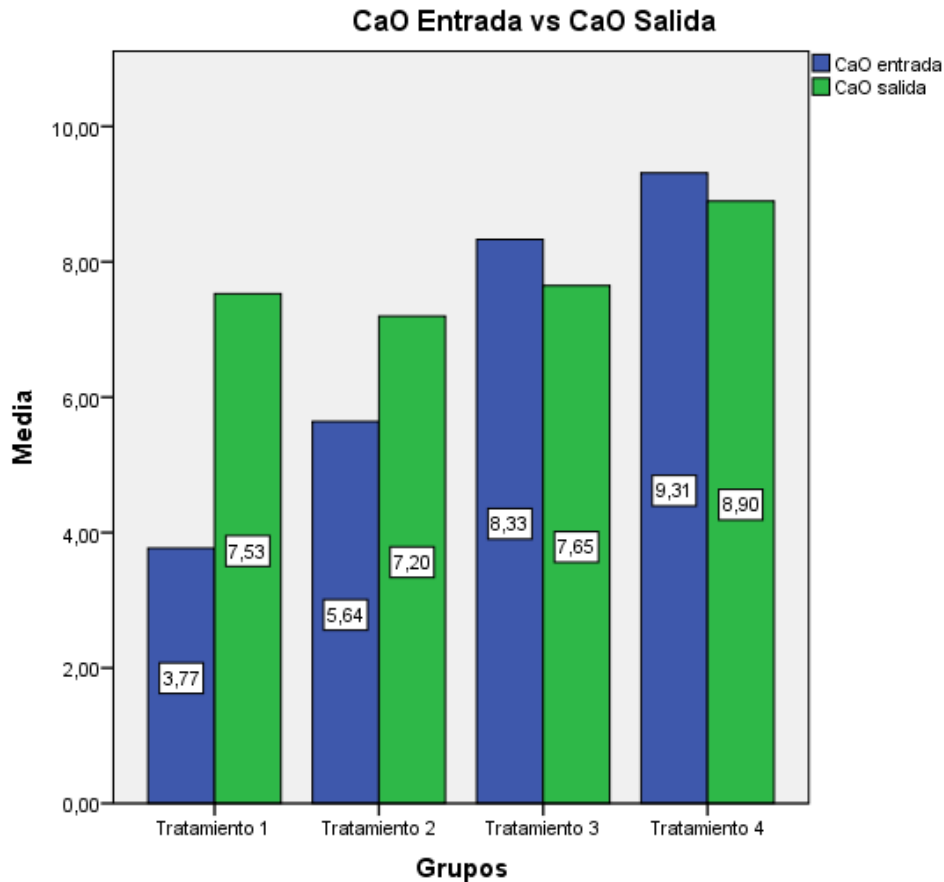


Figura 38. Comparación del Calcio Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.

4.4.1.9 Magnesio “MgO”

El magnesio en los tratamientos 1, 2 y 3 ha aumentado en 0.38 %, 0.09 % y 0.13 % respectivamente, pero los cuales no son significantes porque tienen su “p valor” igual a 0.41, 0.57 y 0.43, para estos tratamientos el nutriente se ha mantenido a través del proceso de compostaje. El tratamiento 4 tiene una reducción significativa de 0.36 % de magnesio y con un “p” igual a 0.002. Para todos los sujetos se evidencia que las variables siguen una distribución normal de 0.21, 0.73, 0.25 y 1.0. Como se aprecia en la figura 39.

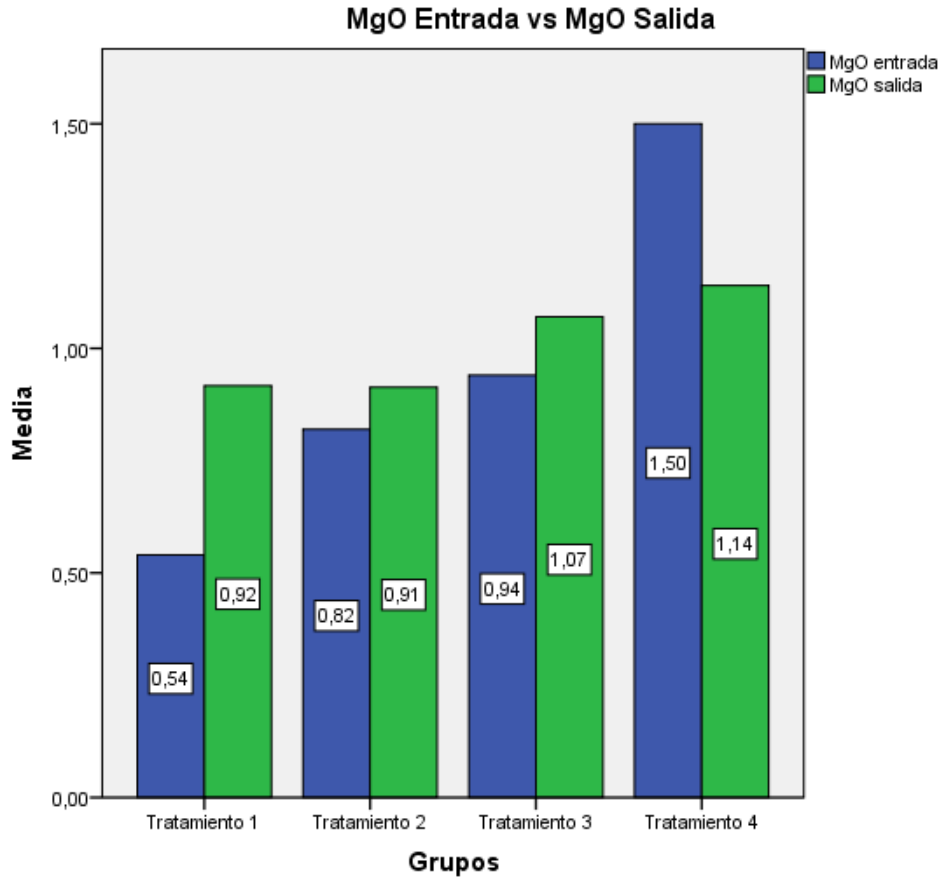


Figura 39. Comparación del Magnesio Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.

4.4.1.10 *Peso*

El peso inicial en todos los tratamientos fue de 40 kg de mezcla de residuos compostables, para el tratamiento 1 la reducción fue de 34 kg, en el tratamiento 2 de 35 kg, en el tratamiento 3 de 34.7 kg y el tratamiento 4 de 33.83 kg, todos con una significancia de 0.000 y distribución normal de 1.0, 1.0, 0.54 y 0.64 respectivamente. El porcentaje de reducción de masa fue de 87.5 % (tratamiento 2) hasta 84.6 % (tratamiento 4), siendo el tratamiento 4 el que más redujo la masa inicial. Como se aprecia en la figura 40.

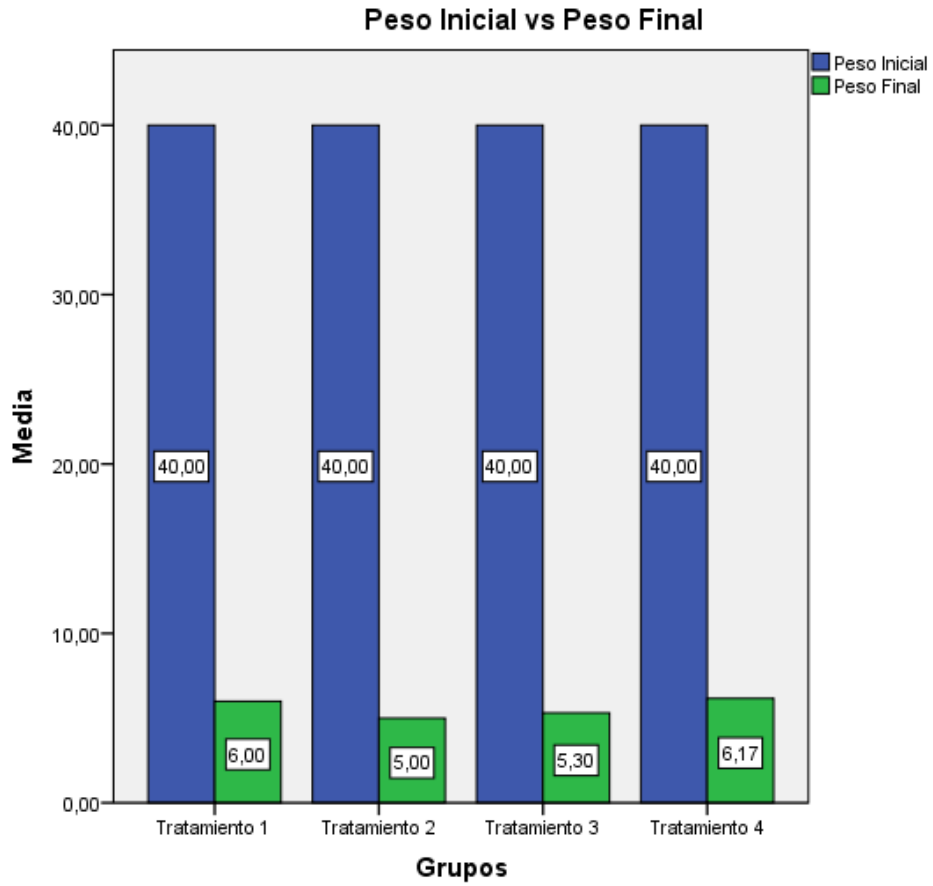


Figura 40. Comparación de la Diferencia de Peso de Entrada y Salida del Tratamiento de Compostaje.

4.4.2 Calidad de compost

Los datos obtenidos como resultado del análisis fisicoquímico del compost son comparados con las normas internacionales. Las formulaciones de las hipótesis son mencionadas en la metodología del estudio, tanto cuando se requiere tener un valor superior a la norma, como inferior. En el anexo 8 se respalda la información mediante una tabla de resumen y estadísticos del SPSS 23.

4.4.2.1 Comparación del pH

El pH recomendado por la norma chilena NCH2880 – 2004 es de 5 a 8.5. Al Compararlo con la media del pH de los tratamientos, los cuales son de 8.89, 9.1, 9.21 y 9.69 respectivamente (T1, T2, T3 y T4). Se tienen dos hipótesis con sus respectivas hipótesis nulas, para el caso de que los valores sean mayores a 5 e inferiores a 8.5, se tienen que cumplir estas dos condiciones para afirmar que el pH cumple la norma internacional. Las variables estudiadas tienen una distribución normal y se evidencia con el valor obtenido de 0.51, 1.00, 0.97 y 0.53.

Para el caso de los valores mayores a 5, es evidente que las medias están por encima de este valor, de igual manera se comprobó probabilísticamente, en donde las diferencias respecto al valor 5 fueron de 3.98, 4.1, 4.21 y 4.69, y con un “p unilateral” de 0.001, 0.004, 0.003 y 0.000 respectivamente. Por lo tanto, los valores son mayores a 5.

Para el caso de los valores inferiores a 8.5, es notorio que las medias obtenidas en el estudio son superiores al estándar. Para ello, se comprobó probabilísticamente si los valores obtenidos eran inferiores a 8.5, donde las diferencias respecto al estándar 8.5 fueron de 0.48, 0.60, 0.71 y 1.19 y con un “p unilateral” de 0.95, 0.87, 0.93 y 1.00 correspondientemente. Lo que significa que los valores no son menores a 8.5, sino mayores.

Es por ello, que se puede afirmar que el pH sobrepasa los valores recomendados por norma NCH2880 – 2004. Pero esto no determina que sea un compost de mala calidad, el pH se puede regular al agregar el agua, hacer un lavado o un balance para suelos que lo requieran, y en este rango se considera el pH ligeramente básico. En la figura 41 se evidencia lo mencionado.

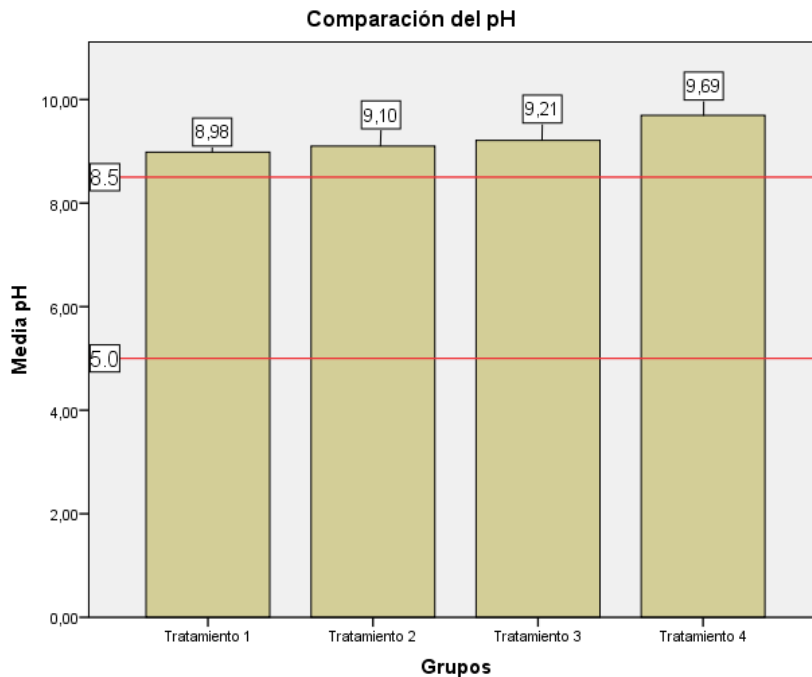


Figura 41. Comparación del pH con la Norma de Referencia de 5 a 8.5.

4.4.2.2 Comparación de la Conductividad Eléctrica

Los valores de la conductividad eléctrica fueron divididos entre 2, debido a que la solución era de 1:2.5 y la norma pide la comparación con una solución de 1:5. La norma chilena NCH2880 – 2004 determina un rango de C.E. de 3 dS/m a 8 dS/m para el compost de clase B, el cual se toma como referencia porque los valores obtenidos están dentro de este rango.

La media de la C.E. 1:5 es 5.48 dS/m, 6.22 dS/m, 6.53 dS/m y 6.07 dS/m respectivamente (T1, T2, T3 y T4). Se tienen dos hipótesis con sus respectivas hipótesis nulas, para el caso en que los valores sean mayores de 3 dS/m e inferiores a 8 dS/m. se tienen que cumplir estas dos

condiciones para afirmar que la C.E. 1:5 cumple la norma internacional. Las variables estudiadas tienen una distribución normal y se evidencia con un valor de 0.13, 0.68, 0.76 y 0.46.

Para el caso de los valores mayores de 3, se comprobó probabilísticamente, donde las diferencias respecto al estándar 3 dS/m fueron de 2.48, 3.22, 3.53 y 3.07, y con un “p unilateral” de 0.004, 0.003, 0.003 y 0.002 respectivamente. Por lo tanto, se afirma que los valores son mayores a 3 dS/m.

En los valores inferiores a 8.5, es claro que las medias de los valores del estudio son inferiores al estándar y se comprobó probabilísticamente, donde las diferencias respecto al estándar 8.5 fueron en 2.52, 1.78, 1.47 y 1.93, y con un “p unilateral” de 0.004, 0.001, 0.015 y 0.043 correspondientemente. Lo que significa que los valores son menores a 8 dS/m. Por lo tanto, todos los tratamientos cumplen con la norma NCH2880 – 2004 para un compost de clase B. En la figura 42 se evidencia lo mencionado.

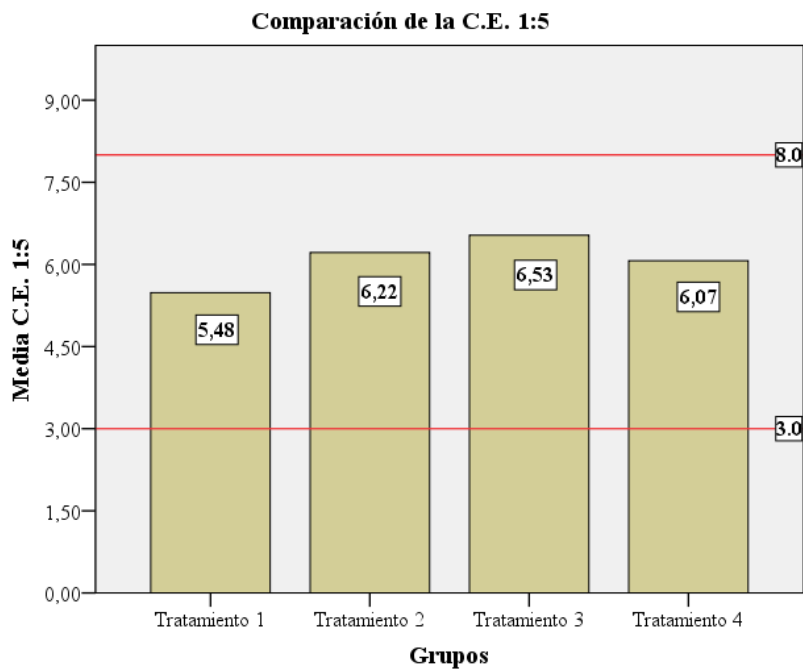


Figura 42. Comparación de la Conductividad Eléctrica con la Norma de Referencia de 3 dS/m a 8 dS/m.

4.4.2.3 Comparación de la Humedad

La norma chilena NCH2880-2004 determina una humedad óptima de 30 % a 45%, al compararlo con las medias obtenidas, las cuales fueron de 7.29, 8.95, 7.96 y 7.00 respectivamente (T1, T2, T3 y T4). Las variables estudiadas tienen una distribución normal y se evidencia con el valor obtenido de 1.00, 0.27, 0.18 y 0.07. Se apreció a simple vista que los valores son inferiores al rango estándar, pero se comprobó estadísticamente, contrastando con el valor mínimo de 30 % y se deduce que también aplica para el rango superior de 45 %. Se obtuvo un “p unilateral de 1.00” para todos los tratamientos, que rechaza nuestra hipótesis de trabajo (los valores son menores) y acepta la hipótesis nula donde los valores no son mayores significativamente a 30%, sino menores. Pero cabe recalcar que la humedad no es un factor determinante para la calidad de compost, porque depende de agregar o secar el agua del medio. En la figura 43 se evidencia lo mencionado.

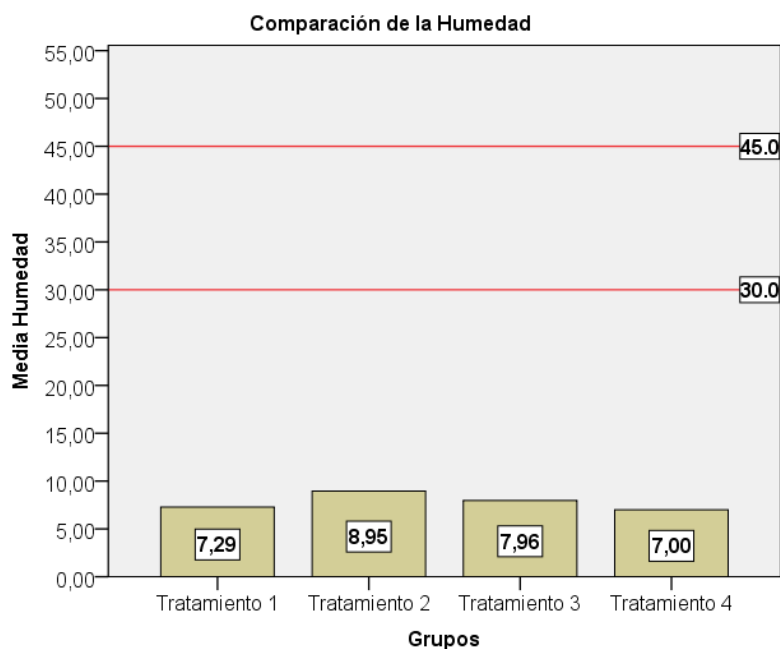


Figura 43. Comparación de la Humedad con la Norma de Referencia de 30 % a 40 %.

4.4.2.4 Comparación de la Materia Orgánica

La norma chilena NCH2880-2004 determina una materia orgánica óptima cuando es mayor a 20 %, para el estudio se obtuvo en promedio 46.36 %, 52.87 %, 47.93 % y 45.06 % respectivamente (T1, T2, T3 y T4) de M.O., las diferencias fueron mayores al estándar de 20 %, en 26.36 %, 32.87 %, 27.93 % y 20.06 %, y con “p unilateral” de 0.010, 0.000, 0.001 y 0.004. Esto demuestra que los valores son mayores significativamente al 20 %, y tienen una buena cantidad materia orgánica que beneficia al suelo. En la figura 44 se evidencia lo mencionado.

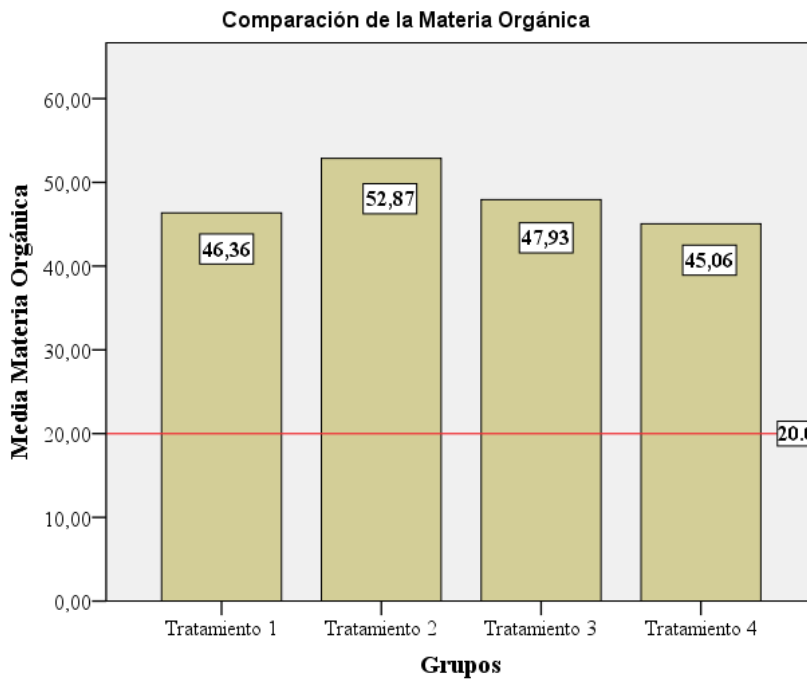


Figura 44. Comparación de la Materia Orgánica con la Norma de Referencia mayor a 20 %.

4.4.2.5 Comparación del Carbono

La OMS recomienda un carbono óptimo mayor de 8 % hasta 50 %, los promedios de carbono en los tratamientos fueron de 26.87 %, 30.61 %, 27.80 % y 26.13 % respectivamente (T1, T2, T3 y T4). Los tratamientos 1, 3 y 4 tienen distribución normal con una significancia de 0.10, 0.45 y 0.75, y el tratamiento 2 no tiene una distribución normal ($p = 0.03$). Siendo que la

diferencia del promedio está por encima del valor de 8 %, se comprobó probabilísticamente con el estándar “menor a 50 %”. Y las diferencias fueron menores al estándar, en 23.13 %, 19.39 %, 22.20 % y 23.87 %, y con “p unilateral” de 0.005, 0.001, 0.000 y 0.001. Esto demuestra que los valores son significativamente menores al 50 %. En la figura 45 se evidencia lo mencionado.

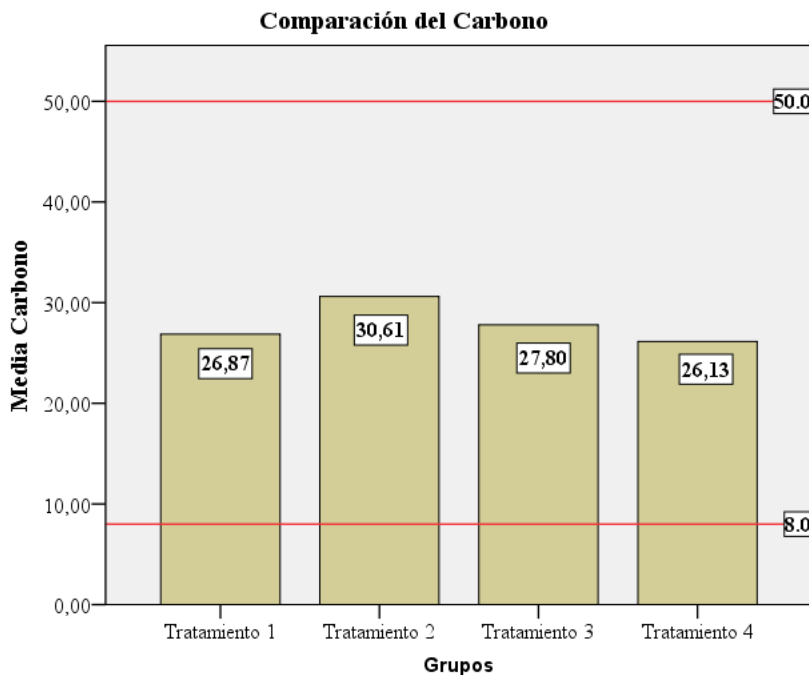


Figura 45. Comparación del Carbono con la Norma de Referencia de 8 % a 50 %.

4.4.2.6 Comparación del Nitrógeno

La OMS recomienda un nitrógeno de 1.4 % a 3.5 %, en los tratamientos se obtuvo en promedio un nitrógeno de 2.25 %, 3.21 %, 2.45 % y 2.66 % respectivamente (T1, T2, T3 y T4), El tratamiento 2, 3 y 4 tienen distribución normal con una significancia de 0.37, 0.54 y 0.54, el tratamiento 2 no tiene distribución normal ($p = 0$). Estos valores fueron significativamente mayores a 1.4 %, con una diferencia de 1.12 %, 1.18 %, 1.05 % y 1.26 % y una significancia unilateral de 0.008, 0.016, 0.035 y 0.025.

Los valores menores a 3.5 % estuvieron en los tratamientos 1 y 3 con una diferencia menor de 0.98 % y 1.05 %, con una significancia de 0.010 y 0.035. En los tratamientos 2 y 4 las diferencias respecto al estándar fueron de 0.29 y 0.84, con una significancia de 0.252 y 0.051, esto determina que tales valores son mayores o iguales al estándar.

El tratamiento 3 cumple los criterios necesarios para estar en cumplimiento con el estándar de la OMS, debido que el tratamiento 1 no tiene distribución normal, cabe recalcar que exceder el límite de 3.5 % de nitrógeno no desfavorece la calidad del compost, por el contrario, otras normas recomiendan mayor cantidad, pero para este estudio se vio conveniente referirse a un estudio de la OMS en el Perú. En la figura 46 se evidencia lo mencionado.

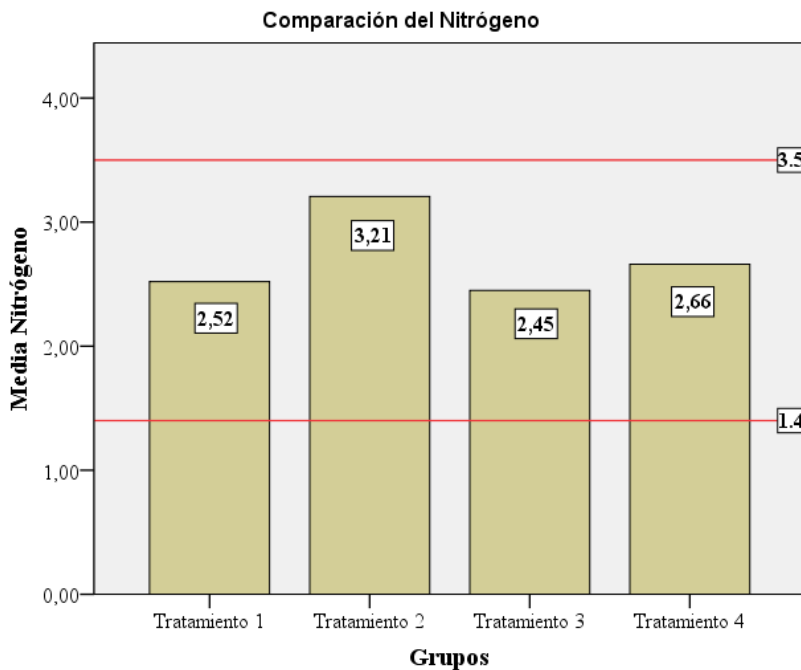


Figura 46. Comparación del Nitrógeno con la Norma de Referencia de 1.4 % a 3.5 %.

4.4.2.7 Comparación del Fósforo

La OMS recomienda un fósforo de 1.4 % a 3.5 %, en los tratamientos se obtuvo en promedio un fósforo de 3.07 %, 2.99 %, 3.08 % y 3.15 % respectivamente (T1, T2, T3 y T4),

Todos los tratamientos tienen distribución normal con una significancia de 0.69, 0.64, 0.24 y 0.07. Estos valores fueron significativamente mayores a 1.4 %, con una diferencia de 1.67 %, 1.59 %, 1.68 % y 1.75 % y una significancia unilateral de 0.001, 0.000, 0.002 y 0.001.

Los valores menores a 3.5 % estuvieron en todos los tratamientos con una diferencia menor de 0.43 %, 0.51 %, 0.42 % y 0.35 %, con una significancia de 0.017, 0.001, 0.022 y 0.027, esto determina que los valores menores a 3.5%. Cumpliendo las condiciones se afirma que los valores obtenidos respecto al fósforo cumplen lo recomendado por la OMS. En la figura 47 se evidencia lo mencionado.

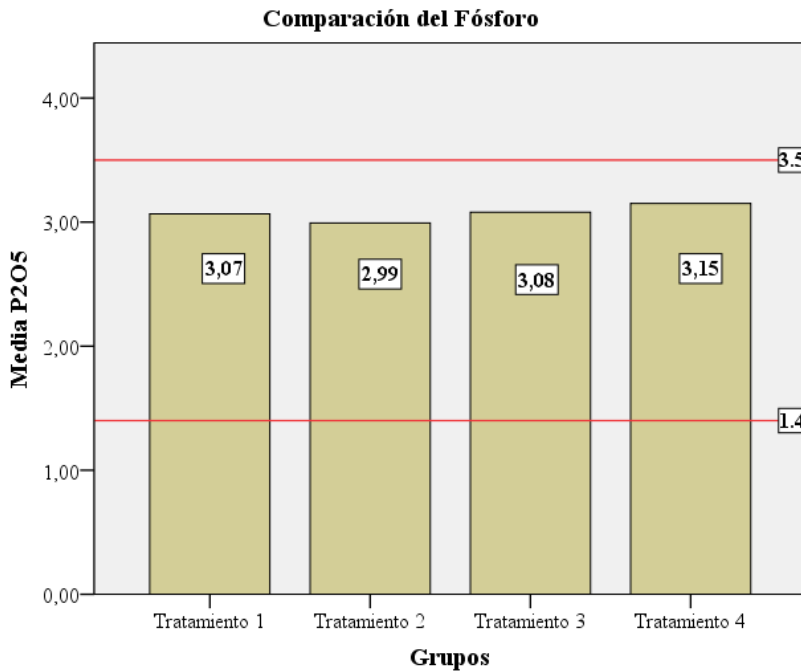


Figura 47. Comparación del Fósforo con la Norma de Referencia de 1.4 % a 3.5 %.

4.4.2.8 Comparación del Potasio

La norma española Real Decreto 506/2013 recomienda al potasio mayor a 1 % para el tipo de compost que se ha analizado, en los tratamientos se obtuvo en promedio un potasio de 4.02 %, 4.78 %, 4.53 % y 3.92 % respectivamente (T1, T2, T3 y T4), Todos los tratamientos

tienen distribución normal con una significancia de 0.54, 1.00, 0.97 y 0.98. Estos valores fueron significativamente mayores a 1 %, con una diferencia de 3.02 %, 3.80 %, 3.53 % y 2.92 % y una significancia unilateral de 0.009, 0.001, 0.001 y 0.001. se afirma que los valores obtenidos respecto al potasio cumplen lo recomendado por el Real Decreto 506/2013. En la figura 48 se evidencia lo mencionado.

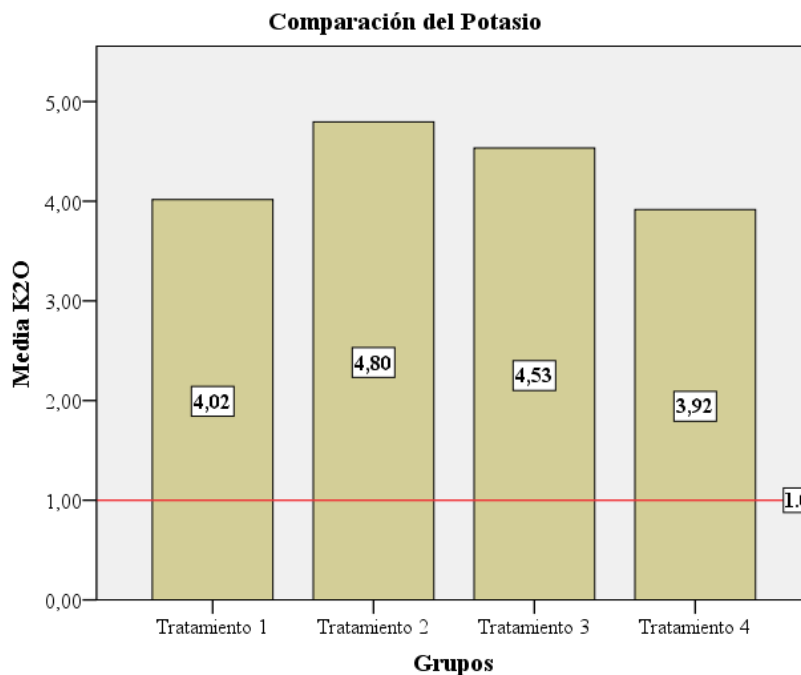


Figura 48. Comparación del Potasio con la Norma de Referencia mayor de 1 %.

4.4.2.9 Comparación del Calcio

La norma española Real Decreto 506/2013 recomienda para el calcio un valor mayor a 1 %, en los tratamientos se obtuvo en promedio de calcio de 7.53 %, 7.20 %, 7.65 % y 8.90 % respectivamente (T1, T2, T3 y T4), Todos los tratamientos tienen distribución normal con una significancia de 0.20, 0.12, 0.08 y 0.92. Estos valores fueron significativamente mayores a 1 %, con una diferencia de 6.53 %, 6.20 %, 6.65 % y 7.80 % y una significancia unilateral de 0.006,

0.010, 0.002 y 0.002. se afirma que los valores obtenidos respecto al potasio cumplen lo recomendado por el Real Decreto 506/2013. En la figura 49 se evidencia lo mencionado.

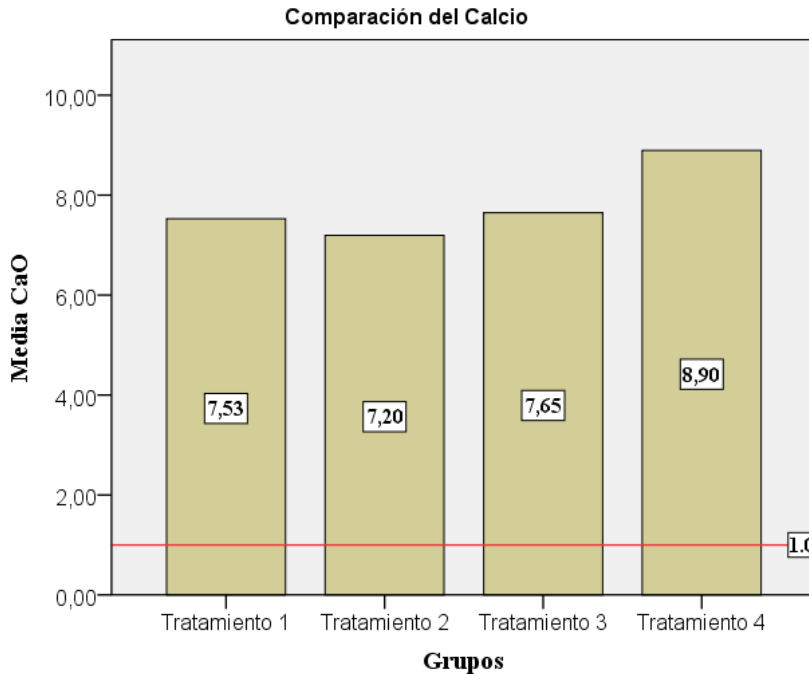


Figura 49. Comparación del Calcio con la Norma de Referencia mayor de 1 %.

4.4.2.10 Comparación del Magnesio

La norma española Real Decreto 506/2013 recomienda para el magnesio un valor mayor a 1 %, en los tratamientos se obtuvo en promedio de calcio de 0.92 %, 0.91 %, 1.07 % y 1.14 % respectivamente (T1, T2, T3 y T4), Todos los tratamientos tienen distribución normal con una significancia de 0.21, 0.73, 0.28 y 1.00. El tratamiento 1 no es mayor a 1 % porque que tiene una diferencia menor de 0.8 % y una significancia de 0.2. El tratamiento 2 es significativamente menor al 1 % porque tiene una diferencia menor de 0.90 % y una significancia de 0.033. El tratamiento 3 no es mayor al 1 % porque tienen una diferencia mayor de 0.07 % pero con una significancia de 0.68. El tratamiento 4 es mayor al 1 % porque tiene una diferencia mayor de

0.14 y con una significancia de 0.008. Por lo tanto, el tratamiento 4 cumple con la norma recomendada por el Real Decreto 506/2013. En la figura 50 se evidencia lo mencionado.

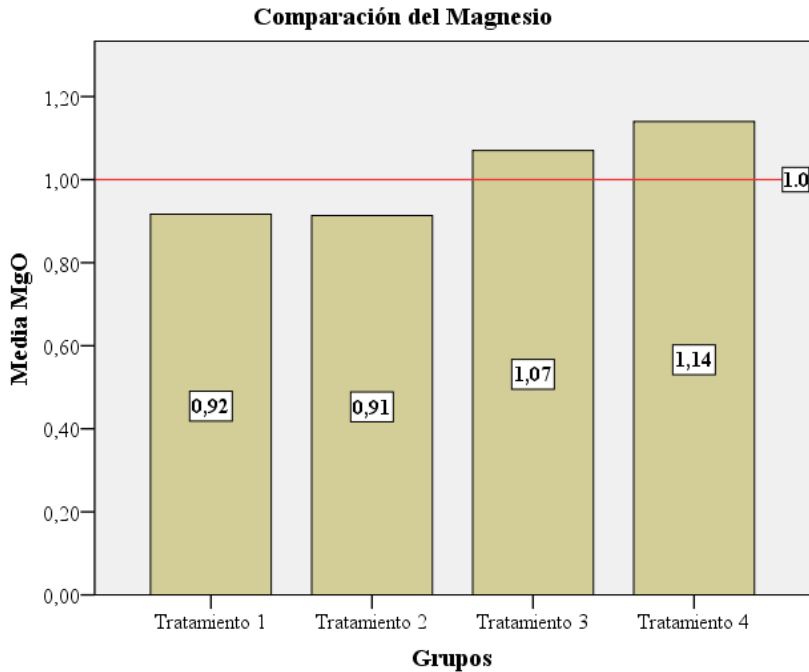


Figura 50. Comparación del Magnesio con la Norma de Referencia mayor de 1 %.

4.4.2.11 Comparación de la Relación Carbono / Nitrógeno

La norma española Real Decreto 506/2013 recomienda para la relación C/N un valor menor a 15. La relación C/N en los tratamientos en promedio fueron de 10.68, 9.88, 11.51 y 10 respectivamente (T1, T2, T3 y T4), Todos los tratamientos tienen distribución normal con una significancia de 0.72, 0.56, 0.19 y 0.48. Los tratamientos 1, 2 y 4 los valores fueron significativamente menores a 15, con una diferencia menor de 4.32, 5.12 y 5, y con una significancia unilateral de 0.016, 0.019 y 0.017. se afirma que los valores obtenidos respecto a la relación C/N cumplen lo recomendado por el Real Decreto 506/2013. El tratamiento 3 probabilísticamente no es menor significativamente al valor estándar de 15, porque tiene una

diferencia menor de 3.49, pero su “p unilateral” es mayor a 0.05 ($p = 0.064$). En la figura 51 se evidencia lo mencionado.

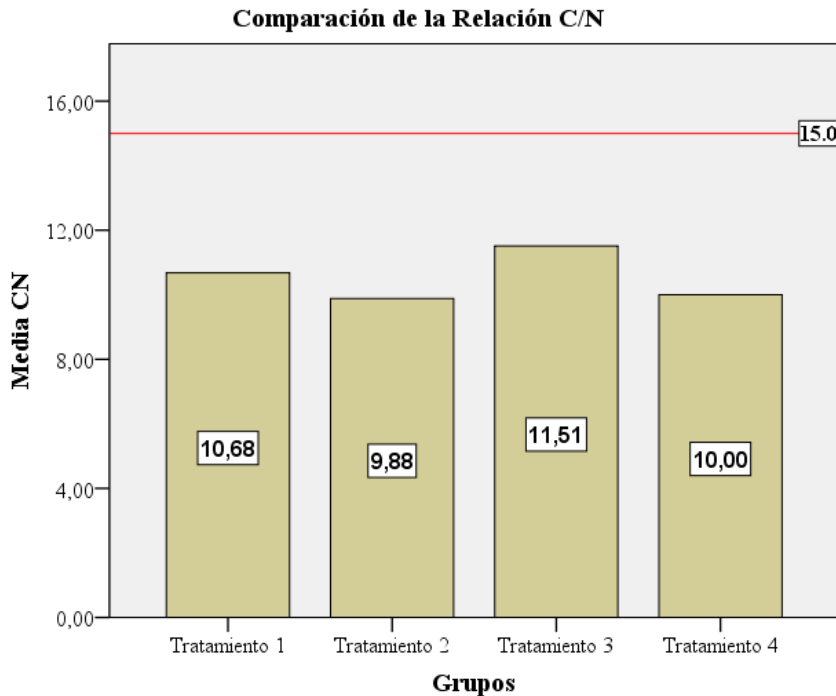


Figura 51. Comparación de la Relación C/N con la Norma de Referencia menor a 15.

4.4.2.12 Comparación de la Reducción de Peso

La FAO (2013) recomienda que la reducción del peso debe ser mayor a 70 % de la masa que entra al proceso de compostaje. En los tratamientos se obtuvo en promedio una reducción de 85 %, 87.5 %, 86.8 % y 84.58 % respectivamente (T1, T2, T3 y T4), Todos los tratamientos tienen distribución normal con una significancia de 1.0, 1.0, 0.54 y 0.64. Estos valores fueron significativamente mayores al 70 %, con una diferencia de 15 %, 17.50 %, 16.80 % y 14.58 % y con una significancia unilateral de 0.001, 0.000, 0.001 y 0.003. se afirma que los valores obtenidos respecto a la reducción de peso cumplen lo recomendado por la FAO (2013). En el gráfico 34 se evidencia lo mencionado.

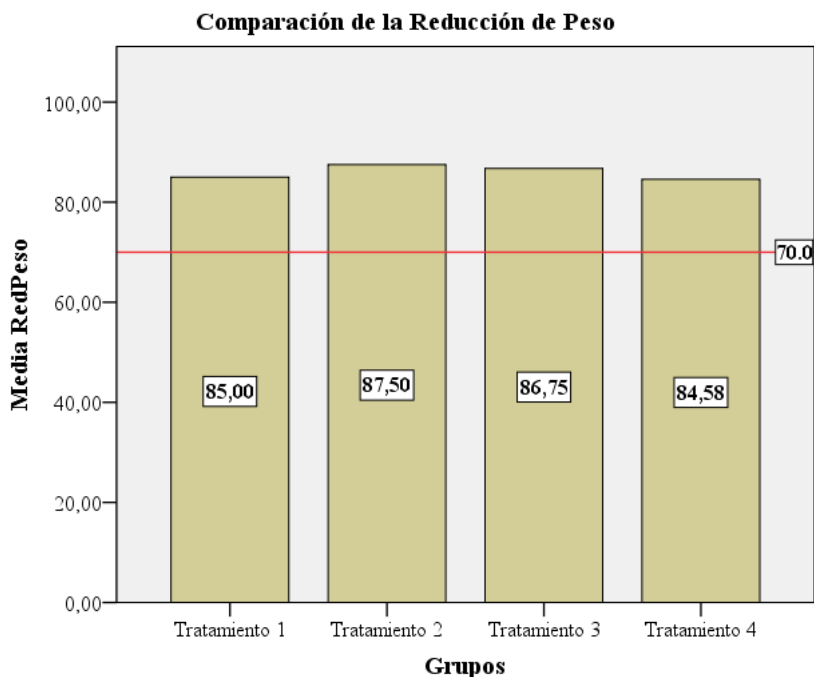


Figura 52. Comparación de la Reducción de Peso con la Norma de Referencia mayor a 70 %.

4.4.3 Tratamiento óptimo

Se evaluaron todos los parámetros fisicoquímicos que se analizaron en el compost, pero para esta parte de la investigación se considerando relevantes los nutrientes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, con los pesos de la Fracción Degradada de 15 mm y el Peso Final.

Los descriptivos y la distribución normal de los parámetros fisicoquímicos se pueden visualizar en el anexo 7. En la distribución normal se determinó que la mayoría de los tratamientos respecto a sus variables dependientes, tienen distribución normal. Solo los siguientes tratamientos no tienen distribución normal: Materia Orgánica en el T2 (0.025), Carbono en el T2 (0.025), Nitrógeno en el T1 (0.00) y la Fracción degradada de 15 mm en el T2 y T3 (0.00). Se realizó la prueba de homogeneidad de varianza, y las variables que contaban con significancia fueron: Materia Orgánica con 0.025, Carbono con 0.028 y Magnesio con 0.015. las

cuales fueron descartadas para la identificación del tratamiento óptimo. Esta afirmación se respalda en la tabla 32.

Tabla 32. *Pruebas de Homogeneidad de Varianzas*

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
pH	1.018	3	8	0.434
CE	2.408	3	8	0.142
Humedad	1.812	3	8	0.223
Materia Orgánica	5.419	3	8	0.025
Carbono	5.159	3	8	0.028
Nitrógeno	1.124	3	8	0.395
P ₂ O ₅	2.430	3	8	0.140
K ₂ O	3.356	3	8	0.076
CaO	1.920	3	8	0.205
MgO	6.541	3	8	0.015
C/N	0.749	3	8	0.553
Fracción Degradada de 15 mm	3.556	3	8	0.067
Peso Final	2.116	3	8	0.176

Fuente: SPSS 23

Luego determinó la diferencia significativa entre los tratamientos respecto a los parámetros fisicoquímicos. El ANOVA estableció que el nitrógeno, fósforo, potasio y peso final no tienen diferencia en sus tratamientos, pero la Fracción Degradada de 15 mm fue la única que demostró significancia entre todos los tratamientos con un p de 0.007, esto se puede corroborar en la tabla 33.

Tabla 33. ANOVA de los Factores Fisicoquímicos

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	0.875	3	0.292	1.614	0.261
	Dentro de grupos	1.446	8	0.181		
	Total	2.321	11			
CE	Entre grupos	6.963	3	2.321	1.445	0.300
	Dentro de grupos	12.847	8	1.606		
	Total	19.810	11			
Humedad	Entre grupos	6.706	3	2.235	1.679	0.248
	Dentro de grupos	10.653	8	1.332		
	Total	17.358	11			
Nitrógeno	Entre grupos	1.059	3	0.353	1.464	0.296
	Dentro de grupos	1.929	8	0.241		
	Total	2.987	11			
P2O5	Entre grupos	0.037	3	0.012	0.733	0.561
	Dentro de grupos	0.135	8	0.017		
	Total	0.172	11			
K2O	Entre grupos	1.582	3	0.527	3.366	0.075
	Dentro de grupos	1.253	8	0.157		
	Total	2.835	11			
CaO	Entre grupos	4.991	3	1.664	1.396	0.313
	Dentro de grupos	9.534	8	1.192		
	Total	14.525	11			
CN	Entre grupos	5.061	3	1.687	0.508	0.688
	Dentro de grupos	26.592	8	3.324		
	Total	31.653	11			
Fracción Degradada de 15 mm	Entre grupos	1.290	3	0.430	8.600	0.007
	Dentro de grupos	.400	8	0.050		
	Total	1.690	11			
Peso Final	Entre grupos	2.790	3	0.930	3.822	0.057
	Dentro de grupos	1.947	8	0.243		
	Total	4.737	11			

Fuente: SPSS 23.0

Para lo cual se evaluó lo cuan diferente era de los demás tratamientos con la prueba de Tukey, obteniendo dos subconjuntos, donde los tratamientos 1, 2 y 3 son iguales con valores de media de 3.0, 2.8 y 2.8 respectivamente, y el tratamiento 4 es mayor significativamente con un valor promedio de 3.6, esto se puede ver en la tabla 34.

Tabla 34. *Subconjuntos Homogéneos de la Fracción Degradada de 15 mm*

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Tratamiento 3	3	2.80	
Tratamiento 2	3	2.80	
Tratamiento 1	3	3.00	
Tratamiento 4	3		3.60
Sig.		0.702	1.00

Fuente: SPSS 23.0

En la figura 53 se puede apreciar las diferencias de medias de los tratamientos, también considerando un peso final en promedio de 6.17 kg, para el tratamiento 4, y se determinó la proporción de compost que será agregado al suelo (fracción degradada) fue de 68.37 %.

Los parámetros fisicoquímicos del mejor tratamiento del compost son: pH de 9.69, Conductividad Eléctrica de 12.13 dS/m, Humedad de 7.00 %, Materia Orgánica de 45.06 %, Carbono de 26.13 %, Nitrógeno de 2.66 %, Fósforo de 3.15 %, Potasio 3.92 %, Calcio de 8.90, Magnesio de 1.14 %, Relación C/N de 10 y peso final de 6.17. la cual se presenta en la tabla 35.

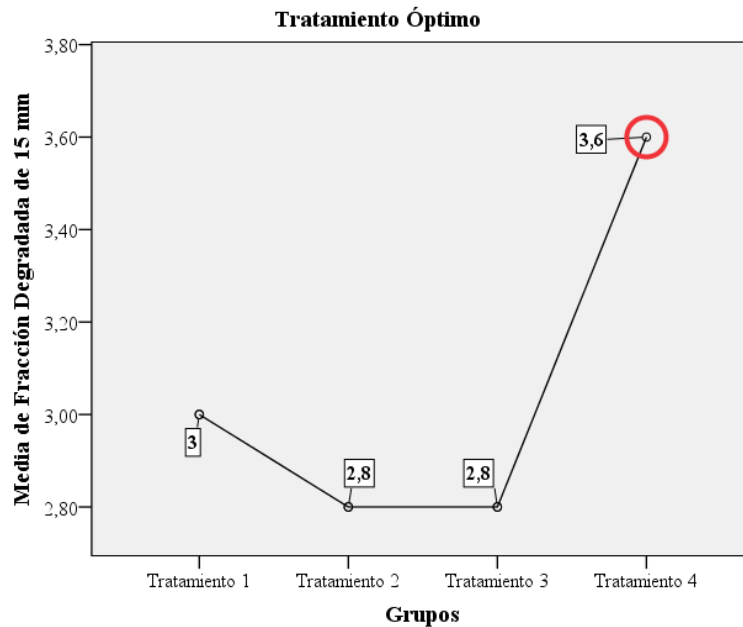


Figura 53. Demostración gráfica del tratamiento óptimo.

Tabla 35. Comparación de los Parámetros Fisicoquímicos entre Tratamientos

	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Sig.
Fracción Degradada de 15 mm	3.00	2.80	2.80	3.60	0.007
pH	8.98	9.1	9.21	9.69	0.261
C.E.	10.97	12.43	13.07	12.13	0.300
Humedad	7.29	8.95	7.96	7.00	0.248
Materia orgánica	46.36	52.87	47.93	45.06	0.144
Carbono	26.87	30.61	27.80	26.13	0.151
Nitrógeno	2.52	3.21	2.45	2.66	0.296
Fósforo	3.07	2.99	3.08	3.15	0.561
Potasio	4.02	4.80	4.53	3.92	0.075
Calcio	7.53	7.20	7.65	8.90	0.313
Magnesio	0.92	0.91	1.07	1.14	0.176
Relación C/N	10.68	9.88	11.51	10.0	0.688
Peso Final	6.00	5.00	5.30	6.17	0.057

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La variación de la temperatura y pH en los 4 tratamientos indica que el proceso de compostaje cumplió la actividad bioquímica que corresponde a sus fases, en todos los tratamientos.
- El tratamiento del compostaje influyo significativamente en el aumento del pH, la disminución de la conductividad eléctrica, la pérdida de humedad, la reducción de la materia orgánica y el peso final. También mantuvo los nutrientes necesarios para la calidad de compost, Esto demuestra que el proceso de compostaje se realizó de una manera óptima.
- La calidad de compost se evaluó con los parámetros de: norma chilena CH2880 – 2004, OMS, norma española Real Decreto 506/2013 y FAO, cumpliéndose con casi todos los parámetros en estudio, excepto pH y humedad, que pueden ser regulados.
- La aplicación de compostaje de los residuos orgánicos de la UPeU con la gallinaza, se alcanzó valores de reducción hasta de un 87.5 % de residuos orgánicos compostados.
- La única variable significativa para los tratamientos es el peso de la partícula que pasa por el tamiz de 15 mm (Fracción Degradada de 15 mm). También se afirma que los tratamientos son iguales en función a los resultados de los nutrientes analizados (NPK) y el peso final. Se concluye que el mejor tratamiento es el tratamiento 4.
- La conclusión de esta investigación determina, que el tratamiento 4 tiene mejores resultados en la obtención de fracción degradada de 15 mm, y que contiene 75 %

residuos orgánicos frescos, 25 % de gallinaza y ausencia de poda de césped.

Teniendo su caracterización fisicoquímica en promedio de pH 9.69, C.E. 6.1 dS/m 1:5, Humedad 7 %, Materia Orgánica 45.06 %, Nitrógeno 2.66 %, Fósforo 3.15 %, Potasio 3.92 %, Calcio 8.9 %, Magnesio 1.14 %, relación C/N de 10 y reducción de masa de 84.5 %. También se puede afirmar que agregar poda de césped al proceso de degradación no afectara significativamente a los nutrientes para este tipo de mezcla de residuos orgánicos. El proceso de compostaje se realizó en óptimas condiciones, los cuales son corroborados con los resultados obtenidos en la materia prima como en el producto final. Casi todas las características fisicoquímicas del este compost manifiestan que es un compost de calidad, a excepción del pH y la humedad, los cuales pueden ser regulados antes de la aplicación a las áreas verdes, como enmiendas de suelo o sustrato.

5.2 RECOMENDACIONES

- Elaborar políticas sobre el manejo adecuado de residuos sólidos.
- Implementar el proyecto de elaboración de compost, debido a la reducción de residuos orgánicos y los resultados óptimos en la calidad del compost.
- Realizar otra investigación sobre la optimización de compost, por ejemplo: comparación de agentes inoculantes, tipos de sistema de compostaje y/o mezcla de residuos.
- Utilizar una trituradora mecánica para la homogenización de las partículas.

REFERENCIAS

- Aguirre, A., Ansorena, J., & Gundin, A. (2011). La red de compostaje doméstico de Gipuzkoa. En J. I. Fernández, M. N. González, & C. R. Moradillo., *Compostaje de residuos orgánicos y seguridad medio ambiental*. (págs. 29-41). Burgos: Universidad de Burgos.
- Aira, M., Gonzalez, P., & Dominguez, J. (2011). Optimización del vermicompostaje de residuos orgánicos: Efecto de la tasa de aplicación del residuos sobre la pérdida de carbono y la estabilización microbiana. En J. I. Fernández, M. N. González, & C. R. Moradillo, *Compostaje de residuos orgánicos y seguridad medio ambiental* (págs. 633-637). Burgos: Universidad de Burgos.
- Álvarez, J. (2008). *Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica*. Andalucía: Albanta Creativos s.l.
- Álvarez, J. (2009). *La Calidad Microbiológica del Suelo y del Compost del Parque de Itchimbia en su Proceso de Recuperación*. Sangolquí - Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Andre, F., & Cerda, E. (2008). Gestión de residuos sólidos urbanos: Analisis económico y políticas públicas. *Cuadernos Economicos de Ice N° 71*, 71 - 90.
- Angarita, D. (2010). Aprovechamiento de los Residuos Sólidos y su Incidencia Cultural, Social y Ambiental en Tunja. *INGENIOMAGNO*, 26-34.
- Ansorena, J. (2011). La Salinidad del Compost en Jardinería y Paisajismo. En J. I. Fernández, M. N. González, & C. R. Moradillo., *Compostaje de Residuos Orgánicos y Seguridad Medio Ambiental*. (págs. 169-178). Burgos: Universidad de Burgos.
- Arens, P. (1983). *El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina* . Roma: FAO.

- Arrea, G. C. (24 de junio de 2013). *Relación C/N en un suelo*. Recuperado el 12 de octubre de 2016, de wikispaces.com: af2.wikispaces.com/file/view/Relación+C.N.doc
- Bardales, J. (2006). *Efecto de dos Abonos Orgánicos en el Rendimiento de Raphanus Sativus L. (Rábano) en dos Densidades de Siembra en el Estrecho – Rio Putumayo*. IQUITOS: U.N.A.P.
- Berna, I. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *Bioresource Technology.*, 11//;100(22):5444-53.
- Bidlingmaier, W. (1996). Odour emissions from composting plants. En M. De Bertoldi, P. Sequi, & B. T. Lemmes, *The Science of Composting* (págs. pp. 71-79). London: Blackie Academic & Professional.
- Bolívar, F. (2004). *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*. México. El Colegio Nacional: 625 - 658 pp.
- Bonilla, M. &. (2007). *Seguimiento de la presencia de rotavirus a un proceso de compostaje realizado a partir de los residuos orgánicos domiciliarios y contenido rumial*. Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Ciencias- Carrera de Microbiología Industrial y Microbiología Agrícola y Veterinaria.
- Braungart, M. e. (2005). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. Madrid: McGraw-Hill.
- Cabrera, 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*. Lima: Universidad Nacional Agraria.
- Cajamarca, D. (2012). *Procedimiento para la elaboración de abonos*. Cuenca, Ecuador.: Universidad de Cuenca.

- Camacho, A. (2009). *Manual de Compostaje*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Cantanhede, A. M. (1993). *Compostificación de residuos de mercado*. Recuperado el 02 de febrero de 2013, de Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima. Lima - Perú: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/composti.pdf>
- Castaldi, P. A. (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*, pp. 209-213.
- Chang, N., & Davila, E. (2008). *Waste Management*. Rio Grande Valley, Texas.
- Chapman, H. (2004). *Metodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. Mexico: Editorial Trillas.
- Christophe Bosch, K. H. (2006). Agua, saneamiento y la pobreza. *Saneamiento Ambiental*, 14 al 44.
- Chunga, E. (2014). *Propuesta de compostaje de los lodos removidos de las lagunas de estabilización de la Universidad de Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- CONAM. (2006). *Guía Técnica para la formulación e Implementación de Planes de Minimización y Reaprovechamiento de Residuos Sólidos en el Nivel Municipal*. Lima: CONAM.
- Cronje, A. (2003). Composting under controlled conditions. *Environ. Technol.* 24 (10), pp. 1221-1234.
- Del Puerto, M., Concepción, M., & Iglesias, A. (1999). Saneamiento Ambiental y Enfermedades de Transmisión Digestiva en el Municipio Plaza de la Revolución 1992-1997. *Higiene Epidemiológica*, 82 al 89.

- Dios, M. (2008). *Estudio y desarrollo de técnicas respirométricas para el control de la estabilidad del compost*. Cordoba: Universidad de Cordoba.
- Ekinci, K. K. (2004). *Effects of aeration strategies on the composting process: Part I. Experimental studies*. Trans. ASAE.
- Eweis J.B., E. S. (1999). *Principios de Biorrecuperación (Biorremediación)*. Madrid, España.: Ed. McGraw-Hill.
- FWE. (2014). Towards the circular economy: accelerating the scale-up across global supply chains. *World Economic Forum*. Geneva.
- Gallardo, K. (2013). *OBTENCIÓN DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS IMPERMEABILIZADOS CON GEOMEMBRANA*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- García, S., & Gallardo, J. (2008). Compostaje artesanal y activo de estiércoles y residuos de cosecha de pequeñas fincas agropecuarias del estado de Guanajuato (Mexico). *1er Congreso Nacional Mitigación del daño ambiental en el Sector Agropecuario de Mexico.*, pp. 352 - 359.
- Gotass, H. (1956). *Composting - Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes*. WHO.
- Graetz, H. (1997). *Suelos y Fertilización*. Trillas, Mexico: F. Luna Orozco.
- Guamán, V. (2010). *Evaluación de tres fuentes orgánicas (Ovinos, Cuy y Gallinaza) en dos híbridos de cebolla (Allium Cepa), en el barrio Tiobamba, Parroquia Eloy Alfaro, Canto Latacunga, Provincia de Cotopaxi*. Quito: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Harrison, E. (2004). *Hygienic Implications of Small-Scale Composting in New York*. New York: The Cornell Waste Management Institute.
- Haug, R. (1993). *The practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers.

- Hedegaard, M. K. (1996). Composting of agricultural wastes in Denmark in respect of potential, industrial process technology and environmental considerations. En M. De Bertoldi, P. Sequi, & B. P. Lemmes, *The Science of Composting* (págs. pp. 691-697). London: Blackie Academic & Professional.
- Hernandez, A. (2000). *La calidad del compost de la fraccion orgánica de los residuos sólidos urbanos*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Huerta, O. e. (2011). El uso de compost de residuos sólidos municipales como enmienda orgánica: aportaciones de diferentes componentes según su origen. En J. I. Fernández, M. N. González, & C. R. Moradillo., *Compostaje de residuos orgánicos y seguridad medio ambiental*. (págs. 125-134). Burgos: Universidad de Burgos.
- ICONTEC. (23 de 03 de 2011). NTC 5167 Producto para la Industria Agrícola. *Norma Tecnica Colombiana*.
- Jaramillo Henao, G., & Zapata Marquez, L. M. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en colombia*. Colombia: Universidad de Antioquía.
- Junkes, M. (2012). Procedimentos para aproveitamento de residuos sólidos urbanos em municipios de pequeno porte. *Florianopolis*, 166f.
- Keener, H. M. (1993). *Optimizing the efficiency of the composting process. Science and Engeneering of Composting: design, Environmental, Microbiology and Utilization Aspects, Hoitink H.A.J., and H.M.Keener (Eds.)*. Ohio: The Ohio State University.
- Kiehl, F. (1985). *Fertilizantes orgánicos*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda.
- Körner, I. B. (2003). Investigation and optimization of composting processes-test systems and practical examples. *Waste Manag*, pp. 17 - 26.

- Kulcu, R. Y. (2004). Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. *Biores. Technol.*, pp.49-57.
- Lett, L. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 1 - 2.
- Leyva, J. (2014). *Métodos de compostaje de residuos sólidos domiciliarios y su efecto en la obtención de abonos orgánicos ecológicos en el centro poblado Cruz del Sur - Distrito de San Juan - Loreto*. Iquitos, Peru.: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Mack, O. (1993). *Manual de producción avícola*. Mexico: Michael Carrol.
- Madejón, E., Díaz, M., López, R., & Cabrera, F. (2001). Co-composting of sugarbeet vinasse: Influence of the organic matter nature of the bulking agents used. *Biores. Technol.*, pp. 275-278.
- Madejón, E., Díaz, M., López, R., & Cabrera, F. (2002). New Approaches to Establish Optimum Moisture Content for Compostable Materials. *Biores. Technol.*, pp. 73-78.
- Magdoff, F., & Weil, R. (2004). *Soil Organic Matter Management Strategies*. FL: CRC Press LLC.
- Maldonado, L. (2006). Reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centro de educación superior: Estudio de caso. *Departamento de Física Aplicada CINVESTAV*, 59 - 68.
- Martínez, M. (2013). *Manual del Compostaje del Agricultor experiencia en América Latina*. Santiago de Chile: FAO.
- Medina, M. (1999). *Reciclaje de los Desechos en Latino América*. Frontera Norte.
- Mendoza, M. (2012). *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales*. Piura: Universidad de Piura – Facultad de Ingeniería.

- Mengs, G. (2011). Estudio de la variación filogenética de las poblaciones microbianas del compost, en diferentes fórmulas de compostaje. En J. I. Fernández, M. N. González, & C. R. Moradillo., *Compostaje de residuos orgánicos y seguridad medio ambiental*. (págs. 161-168). Burgos: Universidad de Burgos.
- MINAM. (2008). Ley 28611, Ley General del Medio Ambiente . *El Peruano*.
- MINAM. (2009). *Manual para Municipios Ecoeficientes*. Lima: ENOTRIA S.A.
- MINAM. (2011). *Compendio de la legislación ambiental peruana*. Lima: Gráfica Técnica S.R.L.
- MINAM. (2016). Decreto Legislativo N° 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *El Peruano*.
- MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *El Peruano*.
- Ministerio de la Presidencia. (10 de 07 de 2013). Real Decreto 506/2013 Productos fertilizantes . *BOE*, pág. 164.
- Miyatake, F. I. (2006). Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Biores. Technol.*, pp. 961–965.
- Montes, C. (2009). *Regimen jurídico y ambiental de los residuos sólidos*. Bogota - Colombia: Universidad Externado de Colombia.
- Morel, J. (1982). L’Evaluation de la maturité des compost urbains par une méthode. *Compost Information.*, 10, pp. 4-9.
- Mullo, I. (2012). *Manejo y procesamiento de la gallinaza*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Muñoz, I. D. (2000). *Manual de análisis de suelo*. México: UNAM.

- Mustin, M. (1987). *Le compost*. Paris: Francois Dubusc.
- Navarro, J., & al., e. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Navarro, R. (2002). *Manual para hacer Composta Aeróbica*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2016, de <http://noalaincineracion.org/uploadfiles/informes/composta>.
- Negro, M. F. (2000). *Producción y gestión del compost*. CCMA.
- Norma-Mexicana. (6 de Noviembre de 1992). Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - determinación de humedad. *Norma Mexicana NMX-AA-16-1984*. Mexico: Centro de Calidad Ambiental - UNINET.
- North, M. (1993). *Manual de producción avícola*. Mexico: Michael Carrol.
- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de Gestión Municipal Provincial*. Lima: OEFA.
- Oviedo, R. (2012). Perspectiva de Aplicación del Compost de Bioresiduos Provenientes de Residuos Sólidos Municipales un Enfoque desde lo Global a lo Local. . *Ingenierias Universidad de Medellín*, 67 - 76.
- Paredes, P. (2014). *Rendimiento de Col Repollo (Brassica oleraceae L.) var. Tropical Delight con aplicación de compost de estiércol de ganado vacuno más aserrín en el Fundo de Zungarococha*. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- Pazmiño, J. (1981). *Efectos de diferentes niveles de gallinaza en la alimentación de cerdos mestizos en crecimiento y engorde*. Riobamba, Ecuador.: Escuela Superior Politécnica de Chimboraza.
- PNUD-INIFAT. (2002). *Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana*. PNUD.

- Pomares, F., & Canet, F. (2001). Los residuos orgánico utilizables en la agricultura: Origen, composición y características. En J. Boixadera, & M. Teira, *Aplicación Agrícola de residuos orgánicos*. Lleida: Universidad de Lleida.
- Republica del Peru. (1993). Constitución del Peru. *El Peruano*.
- RIGUA, A. (1966). *Los abonos, su preparación y empleo*. Barcelona: Editorial síntesis.
- Rodriguez, J., & col, y. (2015). *Caracterización de los Residuos Sólidos en la Universidad Peruana Unión*. Lima: Universidad Peruana Unión.
- Roman, P. (2012). *Taller - Técnicas de compostaje*. Paraguay: FAO.
- Ruiz, A. (2003). *COMPOSTACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD DE PIURA*. Piura: Universidad de Piura.
- Ryan, J. (2007). *El compostaje y su utilización en agricultura*. Santiago, Chile: Fundación para la Innovación Agraria-Universidad de Las Américas.
- Sáez, A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, pp. 121 - 135.
- Sánchez, M. M. (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.*, pp. 301-308.
- Sandoval Alvarado, L. (2008). *Guía de: Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios mecanizados*. LIMA: MINAM.
- Saña, J., & Soliva, M. (1987). *El compostaje: Proceso, sistemas y aplicaciones*. Barcelona: Servei de Medi Ambient.
- Severiano, H. (2014). *Efecto de cuatro tipos de abonos orgánicos sobre el rendimiento del forraje de Leucaena leucocephala cultivar —cunningham, en la comunidad de*

- Zungarococha, Distrito de San Juan Bautista - Loreto. Iquitos: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA FACULTAD DE AGRONOMIA.*
- Silva, J. (2000). *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje*. Cali: Universidad del Valle.
- SINIA. (2013). *Cifras Ambientales 2013*. Lima: SINIA.
- SPDA. (2009). *Manual de Capacitación: "Como cuidamos de nuestra provincia"*. Lima: Lerma Gómez, EIRL.
- Sztern, D., & Parvia, M. (2010). *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos*. OPS.
- Taco. (2010). *Evaluación de tres fuentes orgánicas (ovino, cuy y gallinaza) en dos híbridos de cebolla (Allium cepa)*. Cotopaxi: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Tchobanogolus, G. T. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Madrid: Ed. McGraw-Hill.
- Vangestel, C. (1996). Phytotoxicity of some chloroanilines and chlorophenols in relation to bioavailability in soil. *Water, Air and Soil Pollution* 88, 119 - 132.
- Vázquez, M. e. (2010). Aceleración del proceso de compostaje de residuos post-cosecha (pulpa) del café con la aplicación de microorganismos nativos. *CENIEC*, 1 - 7.
- Vizcarra, M. (1998). *La fabricación de fertilizantes orgánicos*. Managua.
- Von Liebig, J. (1843). *Residuos orgánicos y agricultura*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Zhu, N. (2006). Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Biores. Technol.*, pp. 1870-1875.
- Zurbrügg, C., & al., e. (2005). Decentralised composting in. En C. Zurbrügg, & e. al., *Resources Conservation & Recycling* (págs. 281 - 292).

ANEXOS

Anexo 1: Implementación de la planta piloto de compostaje

a. Preparación del terreno



b. Preparación del terreno



c. Instalación de malla raschel



d. Instalación de geomembrana



e. Zona de deshumedación



f. Zona de almacenamiento



Anexo 2: Generación, segregación y transporte de los residuos a compostar

Avícola Gloria SAC



Gallinaza



Comedor Universitario



Cafetín UPeU



Segregación y recolección

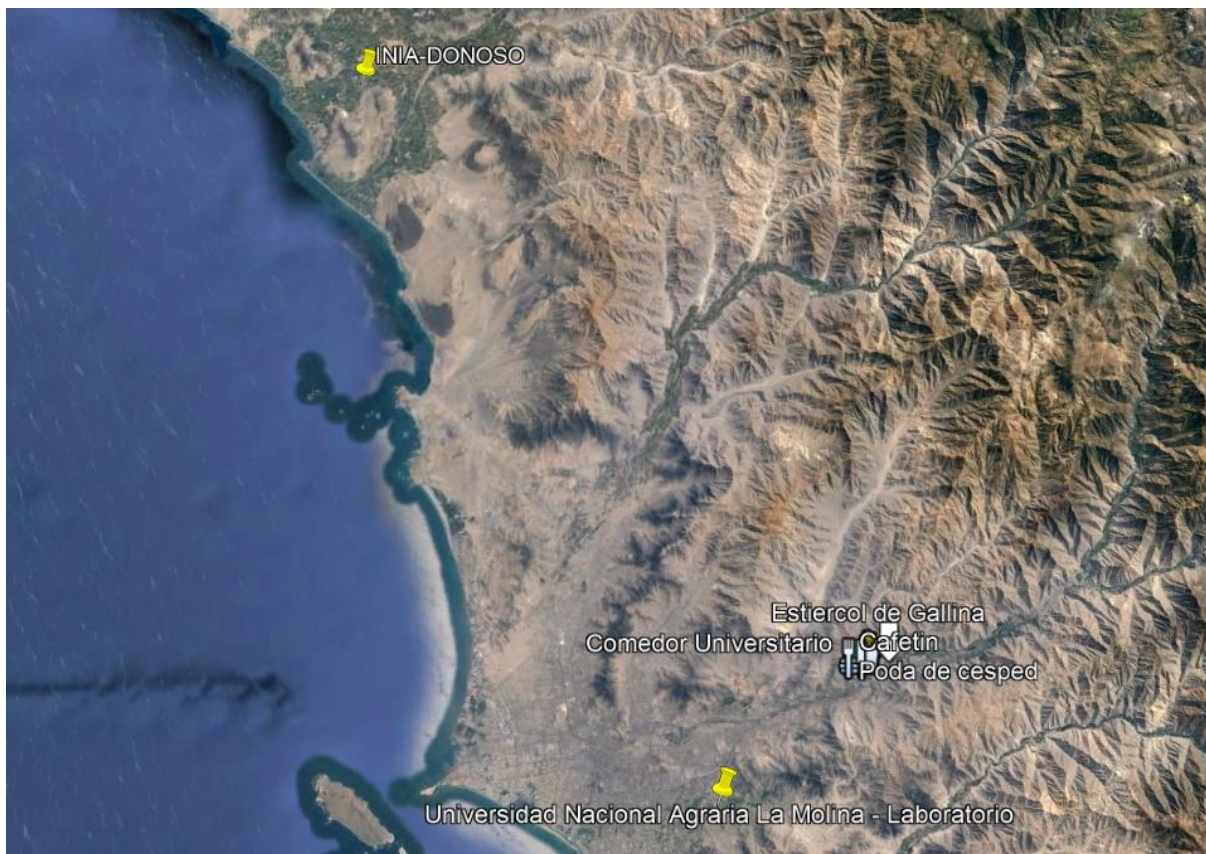


Transporte



Anexo 3: Laboratorios

a. Plano general



b. Laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina



c. Laboratorios del INIA Donoso – Huaral



Anexo 4: Almacenamiento, deshumedación y preparado de pilas.

a. Almacenamiento



b. Deshumedación



c. Preparado de pilas

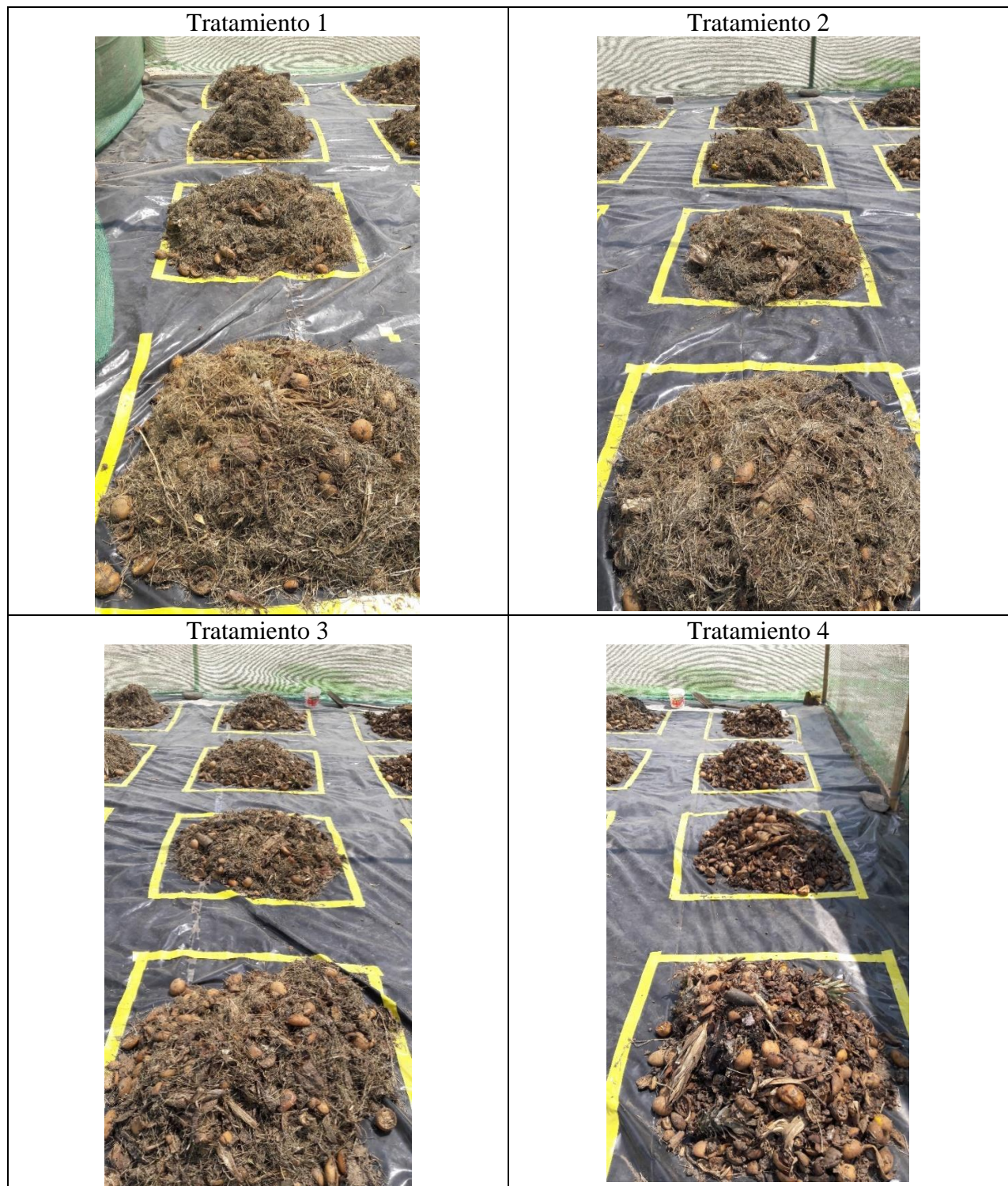


d. Total, de pilas armadas



Anexo 5: Proceso de Compostaje

a. Fase mesófila (14-04-2017)



b. Fase Termófila (20-04-2017)

Tratamiento 1



Tratamiento 2



Tratamiento 3



Tratamiento 4



c. Fase enfriamiento (09-05-2017)

Tratamiento 1



Tratamiento 2



Tratamiento 3



Tratamiento 4



d. Fase de maduración (16-06-2017)

Tratamiento 1



Tratamiento 2



Tratamiento 3



Tratamiento 4



e. Compost final (14-07-2017)

Tratamiento 1



Tratamiento 2



Tratamiento 3



Tratamiento 4



Anexo 6: Pesos y tamizado del compost

Pesado total del compost



Tamizado del compost



Pesado del tamizado



Muestras tamizadas



Anexo 7. Descriptivos y prueba de normalidad de Shapiro - Wilk de los parámetros

fisicoquímicos, en función a los tratamientos.

		Descriptivos							
		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
pH	T1	3	8.98	0.28	0.16	8.28	9.69	8.75	9.30
	T2	3	9.10	0.60	0.35	7.61	10.59	8.50	9.70
	T3	3	9.21	0.52	0.30	7.93	10.49	8.70	9.73
	T4	3	9.69	0.13	0.07	9.37	10.01	9.55	9.80
	Total	12	9.25	0.46	0.13	8.95	9.54	8.50	9.80
CE	T1	3	10.97	0.72	0.42	9.17	12.76	10.50	11.80
	T2	3	12.43	0.86	0.50	10.29	14.58	11.50	13.20
	T3	3	13.07	0.91	0.52	10.81	15.32	12.10	13.90
	T4	3	12.13	2.08	1.20	6.96	17.30	9.80	13.80
	Total	12	12.15	1.34	0.39	11.30	13.00	9.80	13.90
Humedad	T1	3	7.29	1.95	1.13	2.45	12.13	5.34	9.24
	T2	3	8.95	0.64	0.37	7.35	10.54	8.49	9.68
	T3	3	7.96	0.27	0.16	7.29	8.63	7.65	8.14
	T4	3	7.00	1.02	0.59	4.47	9.54	6.38	8.18
	Total	12	7.80	1.26	0.36	7.00	8.60	5.34	9.68
Materia Orgánica	T1	3	46.36	6.56	3.79	30.08	62.65	38.80	50.44
	T2	3	52.87	1.16	0.67	49.98	55.76	51.53	53.56
	T3	3	47.93	1.31	0.76	44.68	51.18	46.46	48.97
	T4	3	45.06	3.54	2.05	36.25	53.87	41.28	48.31
	Total	12	48.06	4.50	1.30	45.20	50.91	38.80	53.56
Carbono	T1	3	26.87	3.79	2.19	17.46	36.28	22.50	29.25
	T2	3	30.61	0.78	0.45	28.67	32.55	29.71	31.07
	T3	3	27.80	0.76	0.44	25.92	29.68	26.95	28.40
	T4	3	26.13	2.06	1.19	21.02	31.24	23.94	28.02
	Total	12	27.85	2.60	0.75	26.20	29.50	22.50	31.07
Nitrógeno	T1	3	2.52	0.24	0.14	1.92	3.12	2.38	2.80
	T2	3	3.21	0.63	0.36	1.64	4.77	2.73	3.92
	T3	3	2.45	0.50	0.29	1.20	3.70	1.89	2.87
	T4	3	2.66	0.50	0.29	1.41	3.91	2.24	3.22
	Total	12	2.71	0.52	0.15	2.38	3.04	1.89	3.92
P2O5	T1	3	3.07	0.14	0.08	2.71	3.42	2.94	3.22
	T2	3	2.99	0.03	0.02	2.92	3.07	2.96	3.02
	T3	3	3.08	0.16	0.09	2.69	3.47	2.97	3.26
	T4	3	3.15	0.15	0.09	2.78	3.52	3.06	3.32
	Total	12	3.07	0.13	0.04	2.99	3.15	2.94	3.32

Fuente: SPSS 23.0

Descriptivos									
		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
K2O	T1	3	4.02	0.70	0.40	2.28	5.76	3.24	4.60
	T2	3	4.80	0.19	0.11	4.32	5.27	4.61	4.99
	T3	3	4.53	0.20	0.11	4.04	5.02	4.32	4.71
	T4	3	3.92	0.25	0.14	3.30	4.53	3.69	4.18
	Total	12	4.32	0.51	0.15	3.99	4.64	3.24	4.99
CaO	T1	3	7.53	1.19	0.69	4.58	10.48	6.72	8.89
	T2	3	7.20	1.53	0.88	3.40	11.00	6.22	8.96
	T3	3	7.65	0.71	0.41	5.90	9.40	7.21	8.46
	T4	3	8.90	0.72	0.42	7.11	10.69	8.16	9.60
	Total	12	7.82	1.15	0.33	7.09	8.55	6.22	9.60
MgO	T1	3	0.92	0.14	0.08	0.58	1.26	0.76	1.01
	T2	3	0.91	0.04	0.02	0.81	1.01	0.87	0.95
	T3	3	1.07	0.23	0.13	0.51	1.63	0.91	1.33
	T4	3	1.14	0.03	0.02	1.07	1.21	1.11	1.17
	Total	12	1.01	0.15	0.04	0.91	1.11	0.76	1.33
CN	T1	3	10.68	1.35	0.78	7.31	14.04	9.45	12.13
	T2	3	9.88	1.78	1.03	5.47	14.30	7.92	11.38
	T3	3	11.51	2.39	1.38	5.57	17.45	9.90	14.26
	T4	3	10.00	1.61	0.93	6.00	14.00	8.70	11.80
	Total	12	10.52	1.70	0.49	9.44	11.60	7.92	14.26
Fracción Degradada de 15 mm	T1	3	3.00	0.20	0.12	2.50	3.50	2.80	3.20
	T2	3	2.80	0.35	0.20	1.94	3.66	2.40	3.00
	T3	3	2.80	-	-	2.80	2.80	2.80	2.80
	T4	3	3.60	0.20	0.12	3.10	4.10	3.40	3.80
	Total	12	3.05	0.39	0.11	2.80	3.30	2.40	3.80
Peso Final	T1	3	6.00	0.50	0.29	4.76	7.24	5.50	6.50
	T2	3	5.00	0.10	0.06	4.75	5.25	4.90	5.10
	T3	3	5.30	0.36	0.21	4.40	6.20	5.00	5.70
	T4	3	6.17	0.76	0.44	4.27	8.06	5.50	7.00
	Total	12	5.62	0.66	0.19	5.20	6.03	4.90	7.00

Fuente: SPSS 23.0

Pruebas de normalidad				
	Grupos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
pH	Tratamiento 1	.936	3	0.51
	Tratamiento 2	1.000	3	1.00
	Tratamiento 3	1.000	3	0.97
	Tratamiento 4	.939	3	0.52
CE	Tratamiento 1	.807	3	0.13
	Tratamiento 2	.972	3	0.68
	Tratamiento 3	.984	3	0.76
	Tratamiento 4	.923	3	0.46
Humedad	Tratamiento 1	1.000	3	1.00
	Tratamiento 2	.860	3	0.27
	Tratamiento 3	.826	3	0.18
	Tratamiento 4	.779	3	0.07
Materia Orgánica	Tratamiento 1	.788	3	0.09
	Tratamiento 2	.761	3	0.02
	Tratamiento 3	.919	3	0.45
	Tratamiento 4	.983	3	0.75
Carbono	Tratamiento 1	.793	3	0.10
	Tratamiento 2	.761	3	0.02
	Tratamiento 3	.918	3	0.45
	Tratamiento 4	.983	3	0.75
Nitrógeno	Tratamiento 1	.750	3	-0.00
	Tratamiento 2	.894	3	0.37
	Tratamiento 3	.942	3	0.54
	Tratamiento 4	.942	3	0.54

Fuente: SPSS 23.0

Pruebas de normalidad					
Grupos		Shapiro-Wilk			
		Estadístico	gl	Sig.	
P2O5	Tratamiento 1	.974	3	0.69	
	Tratamiento 2	.964	3	0.64	
	Tratamiento 3	.851	3	0.24	
	Tratamiento 4	.779	3	0.06	
K2O	Tratamiento 1	.943	3	0.54	
	Tratamiento 2	.999	3	0.94	
	Tratamiento 3	.974	3	0.69	
	Tratamiento 4	.983	3	0.75	
CaO	Tratamiento 1	.835	3	0.20	
	Tratamiento 2	.802	3	0.12	
	Tratamiento 3	.786	3	0.08	
	Tratamiento 4	.998	3	0.92	
MgO	Tratamiento 1	.839	3	0.21	
	Tratamiento 2	.980	3	0.73	
	Tratamiento 3	.855	3	0.25	
	Tratamiento 4	1.000	3	1.00	
CN	Tratamiento 1	.979	3	0.72	
	Tratamiento 2	.948	3	0.56	
	Tratamiento 3	.831	3	0.19	
	Tratamiento 4	.928	3	0.48	
Fracción Degradada de 15 mm	Tratamiento 1	1.000	3	1.00	
	Tratamiento 2	.750	3	-0.00	
	Tratamiento 4	1.000	3	1.00	
Peso Final	Tratamiento 1	1.000	3	1.00	
	Tratamiento 2	1.000	3	1.00	
	Tratamiento 3	.942	3	0.54	
	Tratamiento 4	.964	3	0.64	

Fuente: SPSS 23.0

Anexo 8 Resumen de Prueba de T para muestras relacionadas

a. Tratamiento 1

Parámetros fisicoquímicos		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	(t)	Sig. (b)	SW
pH	(E)	5.96	0	0	.	.	.
	(S)	8.98	0.28	0.16	.	.	.
	(D)	-3.02	0.28	0.16	-18.42	0.003	0.51
C.E. (dS/m)	(E)	9.52	0	0	.	.	.
	(S)	10.97	0.72	0.42	.	.	.
	(D)	-1.45	0.72	0.42	-3.46	0.074	0.13
Humedad (%)	(E)	71.42	0	0	.	.	.
	(S)	7.29	1.95	1.13	.	.	.
	(D)	64.13	1.95	1.13	56.96	0.000	1.00
M.O. (%)	(E)	76.98	0	0	.	.	.
	(S)	46.36	6.56	3.79	.	.	.
	(D)	30.62	6.56	3.79	8.09	0.015	0.09
N (%)	(E)	2.26	0	0	.	.	.
	(S)	2.52	0.24	0.14	.	.	.
	(D)	-0.26	0.24	0.14	-1.86	0.204	0.00
P ₂ O ₅ (%)	(E)	1.43	0	0	.	.	.
	(S)	3.07	0.14	0.08	.	.	.
	(D)	-1.62	0.14	0.08	-19.98	0.002	0.67
K ₂ O (%)	(E)	2.81	0	0	.	.	.
	(S)	4.02	0.70	0.40	.	.	.
	(D)	-1.21	0.70	0.40	-2.98	0.096	0.54
CaO (%)	(E)	3.77	0	0	.	.	.
	(S)	7.53	1.19	0.69	.	.	.
	(D)	-3.76	1.19	0.69	-5.48	0.32	0.20
MgO (%)	(E)	0.54	0	0	.	.	.
	(S)	0.92	0.14	0.08	.	.	.
	(D)	-0.38	0.14	0.08	-4.78	0.41	0.21
Peso	(E)	40	0	0	.	.	.
	(S)	6	0.5	0.29	.	.	.
	(D)	34	0.5	0.29	117.78	0.000	1.00

Fuente: Elaboración propia

(E) = Datos de la Entrada.

(S) = Datos de la Salida.

(D) = Diferencia de medias.

SW = Shapiro – Wilk.

b. Tratamiento 2

Parámetros fisicoquímicos		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	(t)	Sig. (b)	SW
pH	(E)	6.01	0	0	.	.	.
	(S)	9.1	0.60	0.35	.	.	.
	(D)	-3.09	0.60	0.35	-8.92	0.012	1
C.E. (dS/m)	(E)	13.4	0	0	.	.	.
	(S)	12.43	0.86	0.50	.	.	.
	(D)	0.97	0.86	0.50	1.94	0.192	0.68
Humedad (%)	(E)	75.08	0	0	.	.	.
	(S)	8.95	0.64	0.37	.	.	.
	(D)	66.13	0.64	0.37	178.58	0.000	0.27
M.O. (%)	(E)	72.11	0	0	.	.	.
	(S)	52.87	1.16	0.67	.	.	.
	(D)	19.24	1.16	0.67	28.64	0.001	0.03
N (%)	(E)	2.29	0	0	.	.	.
	(S)	3.21	0.63	0.36	.	.	.
	(D)	-0.91	0.63	0.36	-2.52	0.128	0.37
P ₂ O ₅ (%)	(E)	2.02	0	0	.	.	.
	(S)	2.99	0.03	0.02	.	.	.
	(D)	-0.97	0.03	0.02	-55.18	0.000	0.64
K ₂ O (%)	(E)	3.35	0	0	.	.	.
	(S)	4.50	0.19	0.11	.	.	.
	(D)	-1.45	0.19	0.11	-13.18	0.006	0.94
CaO (%)	(E)	5.64	0	0	.	.	.
	(S)	7.20	1.53	0.88	.	.	.
	(D)	-1.56	1.53	0.88	-1.76	0.220	0.12
MgO (%)	(E)	0.82	0	0	.	.	.
	(S)	0.91	0.04	0.02	.	.	.
	(D)	-0.09	0.04	0.02	-4.0	0.57	0.73
Peso	(E)	40	0	0	.	.	.
	(S)	5	0.1	0.06	.	.	.
	(D)	35	0.1	0.06	606.22	0.000	1.00

Fuente: Elaboración propia

(E) = Datos de la Entrada.

(S) = Datos de la Salida.

(D) = Diferencia de medias.

SW = Shapiro – Wilk.

c. Tratamiento 3

Parámetros fisicoquímicos		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	(t)	Sig. (b)	SW
pH	(E)	6.23	0	0	.	.	.
	(S)	9.21	0.52	0.30	.	.	.
	(D)	-2.98	0.52	0.30	-10.02	0.010	0.97
C.E. (dS/m)	(E)	16.2	0	0	.	.	.
	(S)	13.07	0.91	0.52	.	.	.
	(D)	3.13	0.91	0.52	5.98	0.27	0.76
Humedad (%)	(E)	71.48	0	0	.	.	.
	(S)	7.96	0.27	0.16	.	.	.
	(D)	63.52	0.27	0.16	408.04	0.000	0.18
M.O. (%)	(E)	64.57	0	0	.	.	.
	(S)	47.93	1.31	0.76	.	.	.
	(D)	16.64	1.31	0.76	22.02	0.002	0.45
N (%)	(E)	2.49	0	0	.	.	.
	(S)	2.45	0.50	0.29	.	.	.
	(D)	0.04	0.50	0.29	0.137	0.903	0.54
P ₂ O ₅ (%)	(E)	2.87	0	0	.	.	.
	(S)	3.08	0.16	0.09	.	.	.
	(D)	-0.21	0.16	0.09	-2.31	0.147	0.24
K ₂ O (%)	(E)	3.51	0	0	.	.	.
	(S)	4.53	0.20	0.11	.	.	.
	(D)	-1.02	0.20	0.11	-8.97	0.012	0.69
CaO (%)	(E)	8.33	0	0	.	.	.
	(S)	7.65	0.71	0.41	.	.	.
	(D)	0.68	0.71	0.41	1.68	0.235	0.08
MgO (%)	(E)	0.94	0	0	.	.	.
	(S)	1.07	0.23	0.13	.	.	.
	(D)	-0.13	0.23	0.13	-0.99	0.426	0.25
Peso	(E)	40	0	0	.	.	.
	(S)	5.3	0.36	0.21	.	.	.
	(D)	34.7	0.36	0.21	166.69	0.000	0.54

Fuente: Elaboración propia

(E) = Datos de la Entrada.

(S) = Datos de la Salida.

(D) = Diferencia de medias.

SW = Shapiro – Wilk.

d. Tratamiento 4

Parámetros fisicoquímicos		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	(t)	Sig. (b)	SW
pH	(E)	6.47	0	0			
	(S)	9.69	0.13	0.07			
	(D)	-3.22	0.13	0.07	-43.29	0.001	0.53
C.E. (dS/m)	(E)	20.7	0	0	.	.	.
	(S)	12.13	2.08	1.20	.	.	.
	(D)	8.57	2.08	1.20	7.13	0.019	0.46
Humedad (%)	(E)	68.04	0	0	.	.	.
	(S)	7.00	1.02	0.59	.	.	.
	(D)	61.04	1.02	0.59	103.68	0.000	0.07
M.O. (%)	(E)	58.84	0	0	.	.	.
	(S)	45.06	3.54	2.05	.	.	.
	(D)	13.78	3.54	2.05	6.73	0.021	0.75
N (%)	(E)	2.74	0	0	.	.	.
	(S)	2.66	0.50	0.29	.	.	.
	(D)	0.08	0.50	0.29	0.28	0.809	0.54
P ₂ O ₅ (%)	(E)	4.67	0	0	.	.	.
	(S)	3.15	0.15	0.09	.	.	.
	(D)	1.52	0.15	0.09	17.87	0.003	0.07
K ₂ O (%)	(E)	4.43	0	0	.	.	.
	(S)	3.92	0.25	0.14	.	.	.
	(D)	0.51	0.25	0.14	3.60	0.069	0.75
CaO (%)	(E)	9.31	0	0	.	.	.
	(S)	8.90	0.72	0.42	.	.	.
	(D)	0.41	0.72	0.42	0.99	0.425	0.92
MgO (%)	(E)	1.5	0	0	.	.	.
	(S)	1.14	0.03	0.02	.	.	.
	(D)	0.36	0.03	0.02	20.79	0.002	1.00
Peso	(E)	40	0	0	.	.	.
	(S)	6.17	0.76	0.44	.	.	.
	(D)	33.83	0.76	0.44	76.73	0.000	0.64

Fuente: Elaboración propia.

(E) = Datos de la Entrada.

(S) = Datos de la Salida.

(D) = Diferencia de medias.

SW = Shapiro – Wilk.

Anexo 9 Resumen de Prueba de T para una muestra

a. pH

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
pH (5)	T1	8.89	0.51	> 5	24.27	0.002	0.001	3.98
	T2	9.1	1.00	> 5	11.84	0.007	0.004	4.1
	T3	9.21	0.97	> 5	14.16	0.005	0.003	4.21
	T4	9.69	0.53	> 5	63.03	0.000	0.000	4.69
pH (8.5)	T1	8.89	0.51	< 8.5	2.95	0.099	0.95	0.48
	T2	9.1	1.00	< 8.5	1.73	0.23	0.87	0.60
	T3	9.21	0.97	< 8.5	2.39	0.14	0.93	0.71
	T4	9.69	0.53	< 8.5	16.03	0.004	1.00	1.19

Fuente: Elaboración propia.

b. Conductividad Eléctrica 1:5

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
C.E. (3)	T1	5.48	0.13	> 3	11.89	0.007	0.004	2.48
	T2	6.22	0.68	> 3	12.92	0.006	0.003	3.22
	T3	6.53	0.76	> 3	13.49	0.005	0.003	3.53
	T4	6.07	0.46	> 3	5.10	0.036	0.002	3.07
C.E. (8)	T1	5.48	0.13	< 8	-	0.007	0.004	-2.52
	T2	6.22	0.68	< 8	12.05	0.019	0.001	-1.78
	T3	6.53	0.76	< 8	-7.17	0.030	0.015	-1.47
	T4	6.07	0.46	< 8	-6.60	0.085	0.043	-1.93

Fuente: Elaboración propia.

c. Humedad

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
Humedad (30)	T1	7.29	1.00	> 30	-20.17	0.002	1.00	-22.71
	T2	8.95	0.27	> 30	-56.85	0.000	1.00	-21.05
	T3	7.96	0.18	> 30	-	0.000	1.00	-22.04
	T4	7.00	0.07	> 30	141.58	0.001	1.00	-23.00

Fuente: Elaboración propia.

d. Materia Orgánica

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
Materia Orgánica (20)	T1	46.36	0.09	> 20	6.96	0.020	0.010	26.36
	T2	52.87	0.03	> 20	48.94	0.000	0.000	32.87
	T3	47.93	0.45	> 20	36.95	0.001	0.001	27.93
	T4	45.06	0.75	> 20	12.25	0.007	0.004	20.06

Fuente: Elaboración propia.

e. Carbono

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
Carbono (50)	T1	26.87	0.10	< 50	- 10.57	0.009	0.005	-23.13
	T2	30.61	0.03	< 50	- 43.09	0.001	0.001	-19.39
	T3	27.80	0.45	< 50	- 50.82	0.000	0.000	-22.20
	T4	26.13	0.75	< 50	- 20.09	0.002	0.001	-23.87

Fuente: Elaboración propia.

f. Nitrógeno

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
Nitrógeno (1.4)	T1	2.52	0.00	> 1.4	8	0.015	0.008	1.12
	T2	3.21	0.37	> 1.4	4.97	0.038	0.016	1.81
	T3	2.45	0.54	> 1.4	3.60	0.07	0.035	1.05
	T4	2.66	0.54	> 1.4	4.32	0.05	0.025	1.26
Nitrógeno (3.5)	T1	2.52	0.00	< 3.5	- 7.00	0.020	0.010	-0.98
	T2	3.21	0.37	< 3.5	- 0.81	0.504	0.252	-0.29
	T3	2.45	0.54	< 3.5	- 3.60	0.069	0.035	-1.05
	T4	2.66	0.54	< 3.5	- 2.82	0.102	0.051	-0.84

Fuente: Elaboración propia.

g. Fósforo

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
Fósforo (1.4)	T1	3.07	0.69	> 1.4	20.35	0.002	0.001	1.67
	T2	2.99	0.64	> 1.4	90.33	0.000	0.000	1.59
	T3	3.08	0.24	> 1.4	18.52	0.003	0.002	1.68
	T4	3.15	0.07	> 1.4	20.58	0.002	0.001	1.75
Fósforo (3.5)	T1	3.07	0.69	< 3.5	-5.29	0.034	0.017	-0.43
	T2	2.99	0.64	< 3.5	-	0.001	0.001	-0.51
	T3	3.08	0.24	< 3.5	-4.63	0.044	0.022	-0.42
	T4	3.15	0.07	< 3.5	-4.12	0.054	0.027	-0.35

Fuente: Elaboración propia.

h. Potasio

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
Potasio (1)	T1	4.02	0.54	> 1	7.46	0.017	0.009	3.02
	T2	4.78	1.00	> 1	34.60	0.001	0.001	3.80
	T3	4.53	0.97	> 1	30.98	0.001	0.001	3.53
	T4	3.92	0.98	> 1	20.50	0.002	0.001	2.92

Fuente: Elaboración propia.

i. Calcio

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
Calcio (1)	T1	7.53	0.20	> 1	9.52	0.011	0.006	6.53
	T2	7.20	0.12	> 1	7.02	0.020	0.010	6.20
	T3	7.65	0.08	> 1	16.33	0.004	0.002	6.65
	T4	8.90	0.92	> 1	18.98	0.003	0.002	7.80

Fuente: Elaboración propia.

j. Magnesio

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
Magnesio (1)	T1	0.92	0.21	> 1	-	0.401	0.20	-0.08
	T2	0.91	0.73	> 1	1.06	0.065	0.033	-0.09
	T3	1.07	0.25	> 1	3.71	0.647	0.324	0.07
	T4	1.14	1.00	> 1	8.08	0.015	0.008	0.14

Fuente: Elaboración propia.

k. Relación C/N

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
Relación C/N (15)	T1	10.68	0.72	< 15	- 5.53	0.031	0.016	-4.32
	T2	9.88	0.56	< 15	- 4.99	0.038	0.019	-5.12
	T3	11.51	0.19	< 15	- 2.53	0.127	0.064	-3.49
	T4	10.00	0.48	< 15	- 5.38	0.033	0.017	-5.00

Fuente: Elaboración propia.

l. Reducción de Peso

Variable	Media	Shapiro – Wilk	Referencia Internacional	(t)	p bilateral	P unilateral	Diferencia de medias	
Reducción de Peso (70)	T1	85.00	1.00	> 70	20.76	0.002	0.001	15.00
	T2	87.50	1.00	> 70	121.24	0.000	0.000	17.50
	T3	86.80	0.54	> 70	32.19	0.001	0.001	16.80
	T4	84.58	0.64	> 70	13.23	0.006	0.003	14.58

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10: Análisis de entrada realizadas en los laboratorios de suelos de la AGRARIA



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



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : MAYRON GUIZADO GONZALES
 PROCEDENCIA : LIMA
 REFERENCIA : H.R. 58196
 BOLETA : 215
 FECHA : 02/05/17


Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
224	T1	5.96	9.52	76.98	2.26	1.43	2.81
225	T2	6.01	13.40	72.11	2.29	2.02	3.35
226	T3	6.23	16.20	64.57	2.49	2.87	3.51
227	T4	6.47	20.70	58.84	2.74	4.67	4.43

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
224	T1	3.77	0.54	71.42	0.54
225	T2	5.64	0.82	75.08	0.55
226	T3	8.33	0.94	71.48	0.73
227	T4	9.31	1.50	68.04	0.58



 Sady García Bendejú
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 11: Análisis de materia orgánica de la gallinaza en los laboratorios de suelos de la AGRARIA



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



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : MAYRON GUIZADO GONZALES

PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LURIGANCHO

MUESTRA DE : ESTIERCOL DE GALLINA


REFERENCIA : H.R. 63435

BOLETA : 1512

FECHA : 18/05/18

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
430	EST-01	6.92	33.00	52.73	2.92	4.58	3.67

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
430	EST-01	12.32	1.69	54.03	0.58



Sady García Bendezú
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ
Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DONOSO RIVOTADA MITAGAWA HUARAL

LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE : MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES
DIRECCION : LIMA
FECHA: 15/09/2017
CODIGO: T1-R2

N° LAB	MUESTRA	pH 1:2.5	C.E. ms/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
165	COMPOST	8.75	10.50	5.34	38.80	22.50	2.38	3.22	3.24	8.89	0.98	9.45



Rafael Juan Calderón Espinoza

Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DONOSO RIVOTADA MIYAGAÑA HUARAL

LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE :
DIRECCION :

MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES
LIMA

FECHA: 15/09/2017
CODIGO: T1-P3

N° LAB	MUESTRA	pH 1:2.5	C.E. mS/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
155	COMPOST	9.30	11.80	7.29	49.85	28.86	2.38	2.94	4.60	6.72	0.76	12.13



Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DONOSO RIVOTADA MIYAGAWA HUARAL

LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE : MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES
DIRECCION : LIMA

FECHA: 15/09/2017
CODIGO: T1-R4

N° LAB	MUESTRA	pH 1:2.5	C.E. mS/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
157	COMPOST	8.90	10.60	9.24	50.44	29.25	2.80	3.04	4.21	6.97	1.01	10.45



Rafael Calderon Espinoza

Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DONOSO INTOTADA MITAGAWA HUNRAL

LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE : MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES
DIRECCION : LIMA

FECHA: 15/09/2017
CODIGO: T2-R1

N° LAB	MUESTRA	pH 1:2.5	C.E. mS/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
161	COMPOST	8.50	11.50	9.68	53.53	31.05	3.92	2.96	4.61	6.22	0.97	7.92



Rafael Juan Calderon Espinoza

Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DONGOSO RIVOTADA MIYAGAWA HUARAL

LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE : MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES
DIRECCION : LIMA

FECHA: 15/09/2017
CODIGO: T2-R2

N° LAB	MUESTRA	pH 1:2.5	C.E. mS/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
158	COMPOST	9.10	13.20	8.49	53.56	31.07	2.73	3.02	4.79	6.41	0.92	11.38



Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ
Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DONGOSO RIVOTADA, MIYAGAWA HUARAL

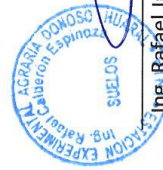
LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE : MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES
DIRECCION : LIMA

FECHA: 15/09/2017
CODIGO: T2-R4

N° LAB	MUESTRA	pH 1:2.5	C.E. mS/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
154	COMPOST	9.70	12.60	8.67	51.53	29.71	2.87	3.00	4.99	8.96	0.95	10.35



Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DONOSO INTOTADA MITAGANMA HUARAL

LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE :

MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES

FECHA: 15/09/2017

DIRECCION :

LIMA

CODIGO: T3-R1

N° LAB	MUESTRA	pH	C.E. mS/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
159	COMPOST	8.70	12.10	8.14	46.46	26.95	1.89	2.97	4.57	8.46	1.33	14.26



Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DONOSO INTOTADA MITAGANJA HUARAL

LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE :

MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES

FECHA: 15/09/2017

DIRECCION :

LIMA

CODIGO: T3-R2

N° LAB	MUESTRA	pH 1:2.5	C.E. mS/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
156	COMPOST	9.73	13.90	8.09	48.36	28.05	2.59	3.01	4.71	7.27	0.97	10.83



Rafael Calderón Espinoza

Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DONOSO RIVOTADA MITAGAWA HUARAL

LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE :

MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES

FECHA: 15/09/2017

DIRECCION :

LIMA

CODIGO: T3-R4

N° LAB	MUESTRA	pH 1:2.5	C.E. mS/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
163	COMPOST	9.20	13.20	7.65	48.97	28.40	2.87	3.26	4.32	7.21	0.91	9.90



Rafael Calderón Espinoza

Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DOMINGO RIVOTADA MITAGAWA HUARAL

LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE :

MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES

FECHA: 15/09/2017

DIRECCION :

LIMA

CODIGO: T4-R2

N° LAB	MUESTRA	pH 1:2.5	C.E. mS/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
160	COMPOST	9.73	9.80	8.18	48.31	28.02	3.22	3.07	4.18	8.16	1.17	8.70



Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DONGOSO RYOTADA MITAGANA HUARAL

LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE : MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES
DIRECCION : LIMA

FECHA: 15/09/2017
CODIGO: T4-R3

N° LAB	MUESTRA	pH 1:2.5	C.E. mS/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
162	COMPOST	9.80	12.80	6.45	45.59	26.44	2.24	3.06	3.69	8.93	1.11	11.80



Rafael Juan Calderón Espinoza

Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA
DONOSO KLOTZADA MITAGANIA HUARAL

LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS COMPLETO DE ABONO ORGÁNICO

NOMBRE : MAYRON JHONATAN GUIZADO GONZALES
DIRECCION : LIMA

FECHA: 15/09/2017
CODIGO: T4-R4

N° LAB	MUESTRA	pH 1:2.5	C.E. mS/cm 1:2.5	HUMEDAD %	M.O. %	C %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	C/N
164	COMPOST	9.55	13.80	6.38	41.28	23.94	2.52	3.32	3.88	9.60	1.14	9.50



Rafael Calderón Espinoza

Ing. Rafael Juan Calderón Espinoza
Laboratorio de Suelos (r)