

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

**EVALUACIÓN DE TEMPERATURA, pH, HUMEDAD, RESIDUOS SÓLIDOS
ORGÁNICOS (FRUTAS Y VERDURAS) Y DIGESTA DE ANIMALES DE
CAMAL EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE**

PRESENTADA POR:

LIDIA ENSUEÑO ROMERO IRURI DE SOTO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE**

PUNO, PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

EVALUACIÓN DE TEMPERATURA, pH, HUMEDAD, RESIDUOS SÓLIDOS
ORGÁNICOS (FRUTA Y VERDURAS) Y DIGESTA DE ANIMALES DE
CAMAL EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

PRESENTADA POR:

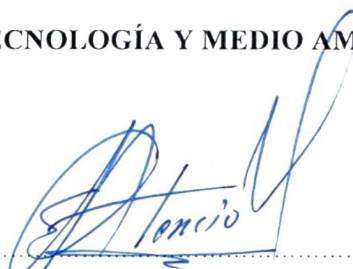
LIDIA ENSUEÑO ROMERO IRURI DE SOTO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

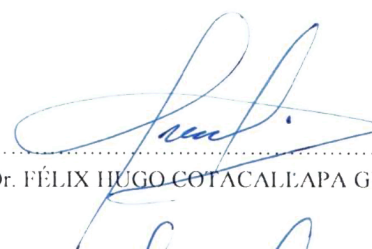
APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE



Ph.D. SABINO ATENCIO LIMACHI

PRIMER MIEMBRO



Dr. FÉLIX HUGO COTACALLAPA GUTIERREZ

SEGUNDO MIEMBRO



Ph.D. JOSÉ LUIS BAUTISTA PAMPA

ASESOR DE TESIS



Dr. CIRO TRAVERSO ARGUEDAS

Puno, 03 de mayo de 2018

ÁREA: Tecnología y medio ambiente.

TEMA: Evaluación de temperatura, pH, humedad, residuos sólidos orgánicos.

LÍNEA: Evaluación tecnológica y medio ambiente.

DEDICATORIA

A DIOS todo poderoso que me iluminaste en el largo camino de mi carrera, por darme la vida y la inteligencia gracias.

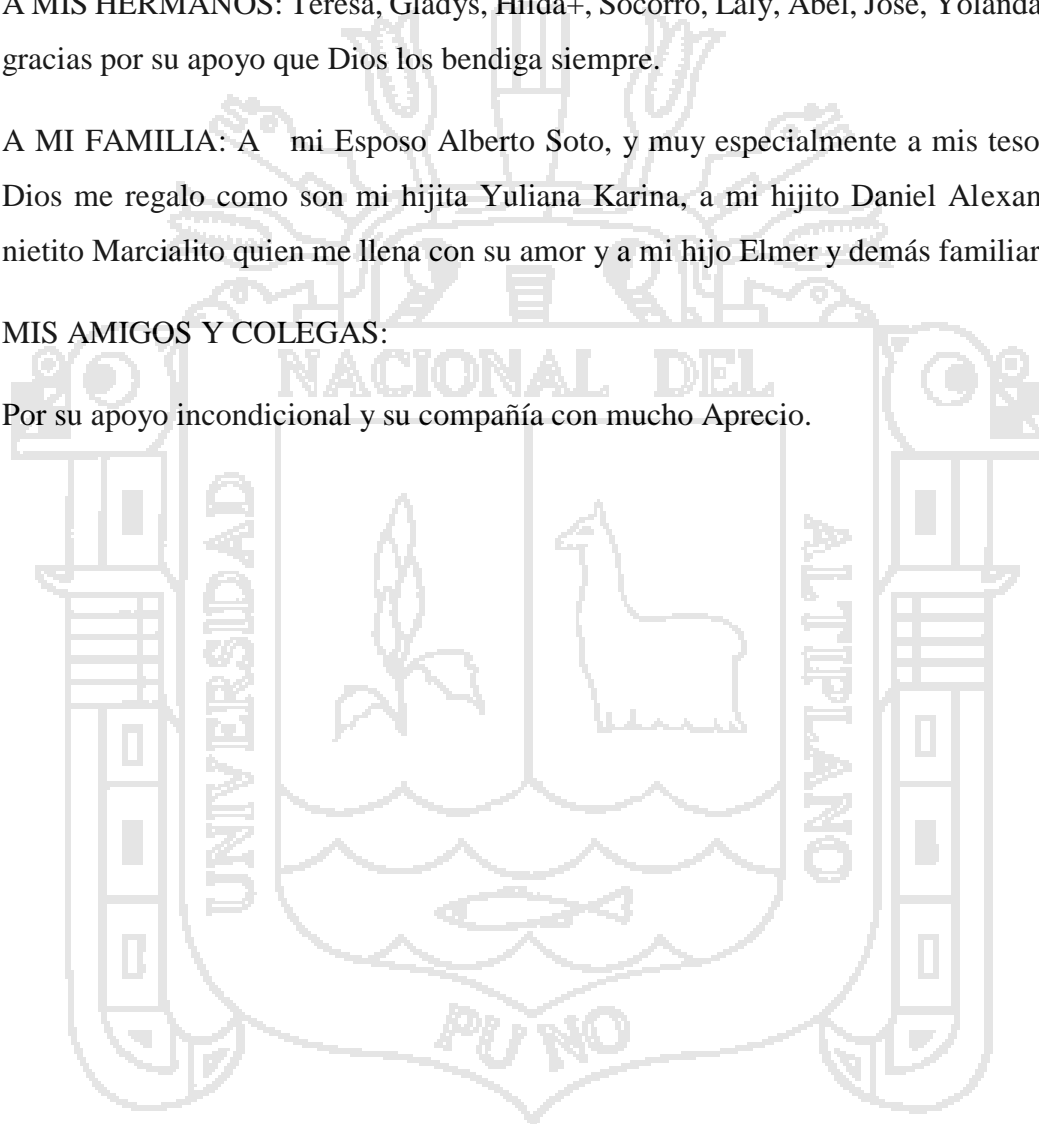
A MIS PADRES: Eufemia Iruri Pajes+, José Romero Bustinza+ a quienes ya no están conmigo, pero con su ejemplo me inculcaron muchos valores

A MIS HERMANOS: Teresa, Gladys, Hilda+, Socorro, Laly, Abel, José, Yolanda y Mae, gracias por su apoyo que Dios los bendiga siempre.

A MI FAMILIA: A mi Esposo Alberto Soto, y muy especialmente a mis tesoros que Dios me regalo como son mi hijita Yuliana Karina, a mi hijito Daniel Alexander, mi nietito Marcialito quien me llena con su amor y a mi hijo Elmer y demás familiares.

MIS AMIGOS Y COLEGAS:

Por su apoyo incondicional y su compañía con mucho Aprecio.



AGRADECIMIENTOS

- A Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme.
- A la Universidad Nacional del Altiplano, por darme la oportunidad para mis estudios de Doctorado y ostentar el respectivo grado académico.
- A la Escuela de Posgrado, a los docentes del Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio ambiente
- Mi reconocimiento a los miembros del jurado: Ph.D. Sabino Atencio Limachi por las sugerencias que contribuyeron grandemente en el desarrollo de este trabajo, Dr. Félix Hugo Cotacallapa Gutiérrez, quien fue mi docente en el doctorado para quien va mi eterno agradecimiento y respeto. Ph.D. José Luis Bautista Pampa por las sugerencias que contribuyeron grandemente en la finalización de la investigación.
- A mi asesor de tesis Dr. Ciro Marino Traverso Arguedas y al Dr. Bilo Calsin Calsin por todo su apoyo incondicional



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA	
1.1 Contexto y marco teórico	3
1.1.1 Sistemas de compostaje	4
1.2 Antecedentes	25
 CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
2.1 Identificación del problema	42
2.2 Enunciados del problema	43
2.2.1 Problema general	43
2.2.2 Problemas específicos	44
2.3 Justificación	44
2.4 Objetivos	46
2.4.1 Objetivo general	46
2.4.2 Objetivos específicos	46
2.5 Hipótesis	46
2.5.1 Hipótesis general	46
2.5.2 Hipótesis específicas	46
 CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Lugar de estudio	48
3.2 Muestra	48

3.3	Métodos de investigación	48
3.4	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos.	49
3.5.	Análisis estadístico	52

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Variación de la temperatura	54
4.1.1	Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.	54
4.1.2	Variación de la temperatura por lote en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre 2017.	57
4.2	Variación del pH en el proceso de compostaje	59
4.2.1	Variación del pH en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.	59
4.2.2	Variación del pH por lote en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.	62
4.3	Variación de porcentaje de humedad	64
4.3.1	Variación de porcentaje de humedad en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.	65
4.3.2	Variación en el porcentaje de humedad por tratamientos en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.	67
4.4	Porcentajes óptimos de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y digesta de animales de camal para obtener un compost con una relación C/N entre 25-30.	68
	CONCLUSIONES	72
	RECOMENDACIONES	73
	BIBLIOGRAFÍA	74
	ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Condiciones ideales para el compostaje	17
2. Relación de microorganismos, temperatura y tiempo de exposición necesarios para la destrucción de algunos patógenos y parásitos comunes durante el compostaje.	19
3. Límites permisibles de parámetros físico-químicos y microbiológicos del compost para ser utilizado como acondicionador del suelo	23
4. Variación de residuos sólidos orgánicos y digesta de animales de camal.	52
5. Variación de la temperatura (°C) en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.	55
6. Temperatura promedio (°C) por tratamientos en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.	57
7. Variación del pH (UpH) en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.	60
8. pH (UpH) por tratamientos en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.	62
9. Variación del porcentaje de humedad en el proceso de compostaje en los periodos de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.	65
10. Porcentaje de humedad por tratamientos en el proceso de compostaje en los periodos de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.	67
11. Relación C/N por tratamientos en los periodos de abril a junio del 2016 y agosto a noviembre del 2017.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Variación de la temperatura en el compostaje entre los meses abril-julio 2016.	58
2. Variación de la temperatura en el compostaje entre los meses agosto-noviembre 2017	58
3. Variación del pH en el compostaje abril-julio 2016	63
4. Variación del pH en el compostaje agosto - noviembre 2017	64
5. Variación del % humedad en el compostaje abril a julio 2016	67
6. Variación del % humedad en el compostaje agosto a noviembre 2017	68
7. Variación del C/N en el compostaje de abril a julio 2016	71
8. Variación del C/N en el compostaje de agosto noviembre 2017	71
9. Camal del Calvario ubicado detrás del Calvario de Azoguini de la ciudad de Puno.	93
10. Camal del Calvario puno, ubicado detrás del Calvario de Azoguini de la ciudad de Puno.	94
11. Camal del Calvario Puno, ubicado detrás del Calvario de Azoguini de la ciudad de Puno.	95
12. Sacando muestra del rumen en Camal del Calvario Puno, ubicado detrás del Calvario de Azoguini de la ciudad de Puno.	96
13. Muestras de frutas y verduras en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano.	96
14. Muestras de frutas y verduras mezcladas con rumen en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano	97
15. Muestras de frutas y verduras mezcladas con rumen en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano	98
16. Medición de temperatura en cada una de las muestras en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano	99
17. Medición de pH en cada una de las muestras en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano	100
18. Medición de pH en cada una de las muestras en el peachimetro del Laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano	101

19. Peachimetro del Laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingenieria Quimica de la Universidad Nacional del Altiplano	102
20. Balanza analítica para determinar el % de humedad del Laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingenieria Quimica de la Universidad Nacional del Altiplano	103
21. Obtención del compost en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano	104



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en el muestreo de Abril a Julio 2016 y agosto a noviembre del 2017	83
2. Variación de pH en el proceso de compostaje en el muestreo de Abril a Julio 2016 y agosto a noviembre del 2017	84
3. Variación del porcentaje de humedad en el proceso de compostaje en el muestreo de Abril a Julio 2016 y agosto a noviembre del 2017	85
4. Análisis de variancia para la variable dependiente temperatura utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0.	86
5. Análisis de variancia para la variable dependiente pH utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0. .	88
6. Análisis de variancia para la variable dependiente pH por lotes utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0.	89
7. Análisis de variancia para la variable dependiente porcentaje de humedad utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0.	90
8. Análisis de variancia para la variable dependiente porcentaje de humedad por lotes utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0.	91
9. Análisis de variancia para el periodo de muestreo utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0.	92
10. Evidencias fotográficas	93

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la variación de la temperatura, pH, porcentaje de humedad y relación C/N óptimo durante el compostaje durante dieciséis semanas a partir de residuos sólidos orgánicos y digesta de animales de camal; la investigación se realizó en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano, entre los meses de abril a julio del 2016 (periodo I) y los meses de agosto a noviembre del 2017 (periodo II, el sembrado de compost fue en cinco tratamientos de mezcla del 30 %, 40 %, 50 %, 60 % y 70% de residuos sólidos orgánicos y 70 %, 60 %, 50 %, 40 %, y 30 % de digesta animal, respectivamente; los datos fueron analizados en un diseño bloque completo al azar utilizando el SAS. Los resultados muestran una temperatura promedio de $31,63 \pm 0,10$ °C, entre el periodo I ($31,45 \pm 2,00$ °C) y periodo II ($31,80 \pm 2,01$ °C) fue similar ($P > 0,05$); en la primera semana fue mínima y máximas entre la cuarta y quinta semana, disminuyendo hacia la décima sexta semana ($P \leq 0,01$); el pH promedio fue de $8,02 \pm 1,78$ UpH, en el periodo I fue mayor ($8,85 \pm 1,58$ UpH) respecto al periodo II ($7,20 \pm 1,54$ UpH) ($P \leq 0,05$); el pH a la primera semana fue mínima y máxima entre la décimo quinta y décima sexta semana ($P \leq 0,01$); el % de humedad fue de 44,14 %, entre periodo I (44,58 %) y periodo II (43,70 %) fueron similares ($P > 0,05$) y fue mayor a la primera semana y menor a la décima sexta semana ($P \leq 0,01$), en todos los casos sin diferencia entre tratamientos ($P > 0,05$) y la relación C/N fue menor en el periodo I (25,40) que el periodo II (34,00) ($P \leq 0,05$) y entre tratamientos sin diferencia estadística ($P > 0,05$). Se concluye que el tiempo (semanas) de sembrado de compost tiene efecto en la variación de temperatura, pH y humedad, el periodo de sembrado influye en el pH, y no habiendo efecto entre tratamientos en la variación promedio, la relación óptima de C/N fue en el periodo I.

Palabras clave: Compost, humedad, pH, relación C/N y temperatura.

ABSTRACT

In order to determine the variation of temperature, pH, humidity percentage and optimum C / N ratio during composting for sixteen weeks from organic solid waste and Bed animals digesta;; the research was conducted in the Mega Laboratory of the Universidad Nacional del Altiplano, between the months of April to July 2016 (period I) and the months of August to November 2017 (period II, the compost was sowed in five treatments of mixture of 30%, 40%, 50%, 60% and 70% of organic solid waste and 70%, 60%, 50%, 40%, and 30% animal digesta, respectively, the data were analyzed in a randomized complete block design using the SAS. using SAS The results show an average temperature of 31.63 ± 0.10 ° C, between period I (31.45 ± 2.00 ° C) and period II (31.80 ± 2.01 ° C) was similar ($P > 0.05$), in the first week it was minimum and maximum between the fourth and fifth week, decreasing towards the sixteenth week ($P \leq 0.01$), the average pH was 8.02 ± 1.78 UpH, in period I was higher (8.85 ± 1.58 UpH) compared to period II (7.20 ± 1.54 UpH) ($P \leq 0.05$), the pH at the first week was minimum and maximum between the fifteenth and sixteenth x week ($P \leq 0.01$); the% humidity was 44.14%, between period I (44.58%) and period II (43.70%) were similar ($P > 0.05$) and it was higher at the first week and lower at the sixteenth week ($P \leq 0.01$), in all cases without difference between treatments ($P > 0.05$) and the C / N ratio was lower in period I (25.40) than period II (34.00)) ($P \leq 0.05$) and between treatments without statistical difference ($P > 0.05$). Was concluded that the time (weeks) of compost sowed has an effect on the variation of temperature, pH and humidity, the sowing period influences the pH, and there is no effect between treatments on the average variation, the optimum ratio of C / N was in period I.

Keywords: C / N ratio, compost, humidity, pH and temperature.

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos han ocasionado impactos ambientales negativos por su disposición inadecuada y porque son cada vez más un asunto asociado al incremento de la población humana, a los procesos de transformación industrial (globalización), y a los hábitos de consumo de los individuos. En la actualidad se ha tratado de buscar solución a este problema, implementando la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), de la cual hace parte una integralidad de procesos que van desde: separación en la fuente (orgánico, reciclaje e inservible), hasta la transformación de los que permiten este proceso o a la disposición final de los que no se pueden reciclar. A partir de la separación en la fuente se han buscado usos alternativos benéficos para el entorno, como es el proceso de reciclaje para la transformación de los residuos sólidos orgánicos nuevamente en materia prima.

El proceso de compostaje de los residuos orgánicos como biofertilizantes y acondicionadores de suelos, la producción de gas, humus, los biocombustibles, entre otros, son técnicas mediante las cuales se puede aprovechar este tipo de residuos. Una de las técnicas más usadas en Colombia para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos es el compostaje, el cual se define como descomposición de residuos orgánicos por la acción microbiana, cambiando su estructura molecular. De acuerdo al tiempo de degradación, se da el grado de madurez al realizar biotransformación o degradación parcial (descomposición de un compuesto orgánico en otro similar) y mineralización o degradación completa, cuando todas las moléculas de dióxido de carbono se descomponen en su totalidad. Estos residuos inorgánicos o minerales se incorporan a la estructura del suelo, de los microorganismos y de las plantas producen beneficios ambientales, sociales, económicos y de salubridad al entorno. Esta alternativa es la más usada debido a que permite tratar cantidades altas de residuos, siendo el caso de la generación de los residuos sólidos urbanos (Penagos *et al.*, 2009).

La calidad del compost depende de las características fisicoquímicas de los sustratos, del control del proceso así como del tiempo de maduración del producto (Chiumenti *et al.* 2005, Hargreaves *et al.*, 2008 y De Guardia *et al.* 2010). Estudios desarrollados en Colombia muestran que el compostaje de biorresiduos de origen municipal se caracteriza porque sus sustratos contienen una alta proporción de residuos de alimentos sin procesar (Marmolejo, 2010), tales como residuos de frutas y vegetales que presentan una alta humedad que pueden afectar adversamente la porosidad del material y la difusión de

oxígeno, favoreciendo procesos anaerobios, caídas en el pH, disminución en la tasa de degradación, generación de olores y baja calidad del producto (Díaz, Savage y Eggerth, 2007, Sundberg y Jonsson, 2008 y Guo *et al.* 2012). Dentro de los parámetros de proceso más relevantes se encuentra la temperatura que es el que mejor indica el desarrollo del proceso. Durante el proceso de descomposición aeróbica, se observan tres fases: fase mesófila inicial, al final de la cual se producen ácidos orgánicos; fase termófila; y fase mesófila final, considerándose finalizado el proceso cuando se llega a la temperatura inicial y se estabilizan a temperatura ambiente (Sánchez *et al.*, 2001). La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa para que permita la circulación tanto del oxígeno como la de otros gases (Sundberg *et al.*, 2004) y el pH, mediante su seguimiento se puede obtener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla.

El informe de investigación está estructurado en cuatro capítulos, el capítulo I corresponde a la revisión de literatura en donde se considera el marco teórico y los antecedentes respecto a estudios en la variación de temperatura, pH, porcentaje de humedad en el compostaje y relación óptima de C/N, el capítulo II corresponde al planteamiento del problema que contiene la definición del problema, la justificación, los objetivos y las hipótesis de investigación, el capítulo III describe los materiales y métodos por objetivos específicos y en el capítulo IV se describen los resultados y discusión donde se desarrolla la interpretación de información contenida en las tablas, demostrando la aceptación o rechazo de las hipótesis y finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Contexto y marco teórico

Las fuentes de materia orgánica pueden clasificarse según su origen en aquellos provenientes de la actividad agropecuaria, ya sean de tipo animal o vegetal. Entre estas se tienen: El estiércol: mezcla de la cama de los animales y sus deyecciones –sólidas y/o líquidas - que ha sufrido fermentaciones más o menos avanzadas en el establo y después en el estercolero, animales (bovinaza, gallinaza, porcínaza, equinaza, etc.), los cuales almacenan buena cantidad de micro y macro nutrientes (N, P, K. y otros.). Agrega que estos están formados por compuestos hidrocarbonados, nitrogenados y una gran población microbiana (Gómez, 2009)

Los residuos de cultivos (pulpa de café, vainas de frijol, hojas y ramas de leguminosas y otros), los cuales se encuentran disponibles en las fincas y son también una importante fuente de nutrientes (Bongcam, 2013).

Microorganismos eficientes (combinación de organismos benéficos de tres géneros principales: bacterias fototróficas, levadura y bacterias del ácido láctico, que, en primera instancia, demostraron su eficacia en la recuperación de suelos. Desarrollados por Teruo Higa, de la universidad de Ryukyus, en Okinawa, Japón (Castellanos, 1999).

Los desechos provenientes de labores de selección y clasificación de frutas y hortalizas, los desechos de la agroindustria (cachaza, vinaza, cascarilla de arroz, cascarilla de yuca, bagazo de caña de azúcar, etc.) los cuales son fuentes importantes que mejoran las características físicas del suelo y de los mismos abonos orgánicos facilitando la aireación y la retención de humedad (Bongcam, 2013).

Es necesario composta porque se evita la acumulación de residuos y al mismo tiempo se aprovechan en gran medida los residuos generados en los diferentes sistemas de producción, evitando así una pérdida importante de energía dentro del ecosistema. Al darle un buen manejo a los residuos mediante el compostaje, se tratan los residuos de una forma económicamente viable, socialmente aceptable y ambientalmente saludable y de esta forma se contribuye a la conservación de los recursos naturales (Labrador, 2012).

A través del compostaje doméstico conseguimos una reducción en origen de los residuos urbanos, minimizando los problemas ambientales ocasionados por el transporte de los mismos y por su tratamiento en vertederos (contaminación de aire y suelos, malos olores, ocupación del territorio). Además a la vez que realizamos un tratamiento natural de nuestros residuos orgánicos, fabricamos un producto que podemos utilizar como abono en nuestro jardín o huerto. El compost es un material que mejora la estructura del suelo, la capacidad de retención de agua, la ventilación y previene los efectos de las heladas. Además, aumentamos la cantidad de materia orgánica del suelo y la disponibilidad de nutrientes asimilables para las plantas? ¿Porque reducimos la cantidad de basura que acaba en vertedero o incineradora? ¿Porque cerramos el ciclo de la materia orgánica? ¿Porque obtenemos un abono de elevada calidad para nuestras plantas, sin ningún tipo de producto químico? ¿Porque devolvemos al suelo materia orgánica, enriqueciéndolo de esta manera? (Gómez, 2009)

1.1.1 Sistemas de compostaje

A. Sistemas abiertos.

Son los sistemas tradicionales, donde los sustratos a compostar se disponen en lotes que pueden estar al aire libre o cubiertas. Entre estos tenemos:

Apilamiento estático.

Con aireación por succión (Sistema Beltsville). Sin volteos; es el que necesita mayor tiempo de fermentación, suficiente para proveer de una concentración de oxígeno de 15% a un compost compuesto de lodo de depuradora y de virutas de madera. Con aire espirado en conjunción con el control de la temperatura, ventilación alterna y control de temperatura. Apilamiento con volteo, volteos en función de la temperatura y la humedad el cual permite diseñar pilas de mayor

altura. Apilamiento con ventilación forzada, sistema mecánico de ventilación por tuberías o canales. (Labrador, 2012)

Los Sistemas abiertos se clasifican en:

A.1 Pilas estáticas: La tecnología para el compostaje en pilas es relativamente simple, y es el sistema más económico y el más utilizado. Los materiales se amontonan sobre el suelo o pavimento, sin comprimirlos en exceso, siendo muy importante la forma y medida de la pila.

A.1. Pilas estáticas con aireación pasiva: Se considera que este sistema es muy apropiado realizando un análisis coste/eficacia de dicho sistema comparado con otros como aireación forzada o pilas con volteo. Para favorecer la ventilación natural de la pila, se emplean estructuras como la que se puede observar en la figura que permiten un mejor flujo de la masa de aire desde la parte inferior hacia la zona superior de la pila. Las pilas son ventiladas por convección natural. El aire caliente que sube desde el centro de la pila crea un vacío parcial que aspira el aire de los lados. La forma y tamaño óptimo de la pila depende del tamaño de partícula, contenido de humedad, porosidad y nivel de descomposición, todo lo cual afecta el movimiento del aire hacia el centro de la pila.

El compostaje en pilas simples es un proceso muy versátil y con escasas complicaciones. Se ha usado con éxito para compostar estiércol, restos de poda, fangos y residuos sólidos urbanos. El proceso logra buenos resultados de una amplia variedad de residuos orgánicos y funciona satisfactoriamente mientras se mantienen las condiciones aerobias y el contenido de humedad. Las operaciones de compostaje pueden continuar durante el invierno, pero se ralentizan como resultado del frío.

A.2. Pilas estáticas con aireación forzada: Estos sistemas permiten tener un mayor control de la concentración de oxígeno y mantenerla en un intervalo apropiado (15-20 %) para favorecer la actividad metabólica de los microorganismos aerobios que desarrollan el proceso. El aporte de oxígeno se realiza por varias vías, succión o insuflado así como las variantes que incluyen a los dos tipos

El aporte de oxígeno puede realizarse de forma continua, a intervalos o ligados a un termostato que, llegada una determinada temperatura (aprox. 60°C) acciona el mecanismo de inyección de aire hasta que la temperatura desciende hasta el valor deseado.

Una vez que se constituye la pila, no se toca, en general, hasta que la etapa activa de compostaje sea completa.

A.3. Pilas con volteo: Es uno de los sistemas más sencillos y más económicos. Esta técnica de compostaje se caracteriza por el hecho de que la pila se remueve periódicamente para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación. Después de cada volteo, la temperatura desciende del orden de 5 o 10 °C, subiendo de nuevo en caso que el proceso no haya terminado. La frecuencia del volteo depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que deseamos realizar el proceso, siendo habitual realizar un volteo cada 6 - 10 días. Normalmente se realizan controles automáticos de temperatura, humedad y oxígeno para determinar el momento óptimo para efectuar el volteo. Es muy usual que los volteos se lleven a cabo con una simple pala cargadora, recogiendo y soltando del material para posteriormente reconstruir la pila, tal y como se muestra en la figura. Sin embargo, para materializar esta técnica de compostaje, existe maquinaria específicamente diseñada para conseguir un mezclado del compost de máxima eficiencia. En las pilas estáticas, ya sea con volteos o sin ellos cobra gran importancia el tamaño de las pilas, por un lado para permitir una correcta aireación y por otro para que no haya excesivas pérdidas de calor (Luque, 2010)

B. Sistemas cerrados

Sistemas utilizados generalmente para el tratamiento de desechos sólidos Municipales de tamaño medio o grande, diseñados para reducir el área y tiempo de compostaje y hacer un mejor control de los parámetros del proceso. Sin embargo sus costos son elevados. Entre estos tenemos:

Reactores verticales.

Continuos. Con alturas de 4 a 10 m donde el material compostable se encuentra en masa única. En este sistema se controla temperatura, aireación y características de los gases. El tiempo de compostaje es corto (dos semanas).

Discontinuos. Reactores divididos en varios niveles, de 2 a 3 m de altura, donde la masa se voltea en la parte superior descendiendo al siguiente nivel según su madurez. El tiempo de fermentación es de una semana.

Reactores horizontales

Estáticos. Tiempo de compostaje de 15 a 30 días. El producto requiere un compostaje posterior.

Dinámico. Cilindro de 2 a 3 m de diámetro y con giros de 2 a 3 rpm., donde los residuos permanecen en el reactor de 24 a 36 horas. El material es compostado posteriormente en pilas o reactores (Labrador, 2012).

Los sistemas cerrados permiten un mejor control de los distintos parámetros del proceso en la mayor parte de los casos, así como un menor tiempo de residencia y la posibilidad de realizar un proceso continuo. Se caracterizan por llevar a cabo la el compostaje en reactores cerrados, siendo el principal inconveniente que generan el elevado coste de inversión de las instalaciones. Su principal división se da entre reactores de flujo horizontal y vertical. Los reactores de flujo vertical suelen tener alturas superiores a los 4 m. Y pueden ser continuos o discontinuos. Los reactores discontinuos contienen, a diferentes alturas pilas de 2-3 m con un sistema de aireación forzada o volteo hacia pisos inferiores. Su principal inconveniente es el elevado coste de construcción, no obstante aunque la inversión inicial es más elevada que en el sistema de pilas estáticas, tiene una baja relación coste por unidad de volumen de trabajo. Los reactores de flujo horizontal se dividen entre aquellos que poseen un depósito rotatorio, los que poseen un depósito de geometría variable con un dispositivo de agitación o los que no poseen un sistema de agitación y permanecen estáticos (Luque, 2010)

C. Parámetros de control y afectación del proceso

Los factores que afectan el proceso de compostaje están íntimamente relacionados con parámetros como la naturaleza de los desechos orgánicos y/o con sus condiciones de desarrollo de la población microbiana. Esta última afecta el proceso porque durante la transformación de la materia orgánica los microorganismos requieren condiciones ambientales óptimas en cada una de sus fases (Röben, 2009).

Al considerar los diferentes factores que intervienen en el proceso de compostaje, conviene hacer distinción entre aquellos que se refieren al proceso industrial en sí (maquinaria, construcción y equipos) y los que se refieren al propio compostaje. Los principios teóricos del compostaje son simples, pero deben de ser seguidos escrupulosamente durante el mismo si se quiere alcanzar un producto bien estabilizado y con suficiente garantía de calidad. Desafortunadamente, a veces no se tienen en cuenta dichos principios, situación que se ha visto agravada hasta hace muy poco por la falta de una legislación precisa; esto ha favorecido la salida al mercado de productos de baja calidad que, aunque todos son llamados compost, tienen muy poco en común entre ellos. Puesto que el proceso de compostaje es fundamentalmente biológico se ve afectado por, todos los factores que influyen, directa o indirectamente, en el metabolismo microbiano. La optimización del proceso en sí mismo debe consistir en realizarlo de forma adecuada y en el menor tiempo posible. Esto será factible si se controlan determinados parámetros. En gran medida, el control dependerá del sistema de compostaje empleado y, por ello, resulta difícil definir niveles óptimos de parámetros sin tener en cuenta el sistema utilizado en su elaboración (Costa *et al.*, 2009).

En el proceso de compostaje se observa las siguientes etapas:

Mesolítico. La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.

Termofílico. Cuando se alcanza una temperatura de 40 °C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se

hace alcalino. A los 60 °C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.

De enfriamiento. Cuando la temperatura es menor de 60 °C, reaparecen los hongos termófilos que re invaden el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40 °C los mesó filos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.

De maduración. Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus, los microorganismos presentes en cada etapa dependen del material inicial, de las condiciones en las que se mantenga la masa a compostar y del sistema utilizado.(Mariño, 2012)

C.1. Naturaleza del sustrato

En general los principales residuos biodegradables que se incluyen en el proceso de compostaje son de origen agrícola, tanto de naturaleza animal como vegetal.

También se incluyen los desechos líquidos, urbanos como los residuos sólidos urbanos (RSU) y desechos del tratamiento de aguas residuales, industriales como los desechos de madera, agroindustriales como los residuos azucareros, vinícolas, cafeteros etc. (Labrador, 2012).

Los principales residuos o subproductos que se utilizan actualmente para la producción de composts son de orígenes diversos: agrícola, ganadero, urbano (basura y lodos), forestales y algunos industriales. Los sustratos que intervienen en el compostaje juegan un papel importante en el mismo en función de sus propias características físicas y químicas.

Físicas:

El tamaño de las partículas es fundamental en el proceso de compostaje, ya que cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano, más rápido y completo será la reacción (mayor actividad química por unidad de masa). Por lo tanto, el desmenuzamiento del material facilitará el ataque por parte de los microorganismos e influirá sobre la velocidad del proceso, pudiendo hasta

duplicarla si se muele el material. La preparación de los materiales orgánicos que se emplean en el compostaje, en particular cuando se trata de los residuos sólidos urbanos, se puede hacer de dos maneras: mecánicamente, que consiste en reducir el tamaño de las partículas mediante molienda seguido de una separación de materiales inertes por diversos métodos (corriente de aire, electromagnéticos, etc.), o por un proceso de cambiador biológico y mecánico, en el cual los desechos se depositan en un reactor biológico de uno a tres días, en donde comienza un proceso de degradación biológica junto con la reducción del tamaño de las partículas; después de esto, la fracción orgánica del residuo sólido urbano ha sufrido un cambio drástico y emerge por flotación en el reactor, separándose entonces fácilmente los materiales inertes. Gracias a este sistema, la materia orgánica se reduce a un tamaño conveniente y además se inicia el ataque por los microorganismos, siendo éste muy homogéneo. El conjunto de la masa orgánica puesta a “compostar” consta de una parte sólida, otra líquida y una tercera gaseosa de tal manera que existe un constante intercambio entre las tres. La transformación microbiológica de la fracción orgánica en el compostaje es un proceso oxidativo aerobio; por ello, la relación superficie/volumen de las partículas tiene una influencia directa en la forma y velocidad de la degradación. La relación aire/agua en los intersticios de las partículas es igualmente importante; agua y oxígeno son indispensables para la actividad microbiológica y cuando la proporción es menor del nivel crítico, el metabolismo microbiano y la respiración disminuyen y se paralizan.

Químicas:

Las características químicas más importantes, en relación al sustrato, son su condición molecular y su composición elemental. La utilidad de los residuos que se emplean en el compostaje varía en función de la disponibilidad de elementos nutritivos que posean. Los microorganismos sólo pueden aprovechar compuestos simples y, por ello, las moléculas complejas han de romperse en otras más sencillas (por ejemplo, las proteínas en aminoácidos y éstos en amoníaco), para poder ser asimiladas. Para conseguir estas rupturas en sus unidades constituyentes se necesitan reacciones enzimáticas, que serán más complejas cuanto mayor sea la estructura molecular.

Los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje precisan elementos esenciales para su nutrición, desarrollo y reproducción. Entre éstos, están algunos micronutrientes (boro, manganeso, zinc, cobre, hierro, molibdeno y cobalto) que deben de estar presentes en poca cantidad, pues pueden llegar a ser tóxicos a concentraciones altas. Macronutrientes como nitrógeno, carbono y fósforo son fundamentales para la formación de compost. El primero de ellos, debido a la naturaleza proteínica del protoplasma, es un elemento esencial para la reproducción celular. No conviene que esté presente en exceso, pues podría pasar a ión amonio y perderse. El carbono es necesario en la síntesis celular para la formación del protoplasma, así como de lípidos, grasa y carbohidratos. Durante el metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico. Es el elemento que debe estar presente en mayor cantidad, puesto que constituye el 50% de las células de los microorganismos y el 25% del anhídrido carbónico que se desprende en la respiración. El fósforo desempeña un papel transcendental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano (Poincelot, 2008).

C.2. Tamaño de las partículas

La mayoría de los residuos son de forma irregular y con poca superficie específica por lo cual es importante reducir el tamaño de estos, ya que se incrementa la velocidad de las reacciones bioquímicas, lo cual favorece la actividad microbiana (Röben, 2009). Se aconseja un tamaño adecuado de partículas de 1 - 5 cm., de 14 cm de diámetro. El exceso de partículas pequeñas puede llevar fácilmente a favorecer la putrefacción, lo que no es ideal para la producción de compost (Bongcam, 2013).

C.3. Acción de los metales pesados

La presencia de metales pesados en el compost puede aumentar su concentración en las cosechas y ser tóxica para los seres humanos. Los elementos de mayor preocupación para la salud de los seres humanos son el cadmio, plomo, arsénico, selenio y mercurio (Corbitt, 2011).

En general un compost de buena calidad y apto para su aplicación en la agricultura presenta los siguientes límites máximos admitidos en relación con los elementos pesados (Labrador, 2012).

C. 4. Contenido de humedad

Para el agua es uno de los factores más importantes en el proceso de compostaje. Si su contenido es muy bajo, se detiene la actividad microbiológica del proceso; y si es muy alto se dan condiciones anóxicas porque el agua desplaza al aire de los espacios libres existentes, menciona que altos niveles de humedad pueden facilitar una mayor pérdida de nitrógeno, que favorecen la desnitrificación (Soto, 2010). El contenido de humedad óptimo del proceso de compostaje deberá estar entre el 50 y el 60 por 100, en peso (Corbitt, 2011).

El contenido de Humedad bajos favorece el transporte, pero dificultan el manejo y la aplicación por el polvo que se origina, a la vez que puede esconder una baja estabilidad del compost. Además, probablemente una humedad muy baja puede haber provocado un incompleto desarrollo del proceso (Soliva y Lopez, 2012).

La importancia de una humedad apropiada es de suma importancia puesto que al estudiar la variación de la cantidad de oxígeno consumido por una masa inicial durante el compostaje, en un reactor cerrado a una temperatura constante, en función de la humedad. Pequeñas variaciones de humedad provocaban grandes cambios en la temperatura (Shulze, 2011).

C.5 Relación de carbono y nitrógeno

Según Labrador (2012), la relación carbono y nitrógeno es el factor ambiental más importante en un proceso de compostaje y debe controlarse para asegurar una fermentación correcta siendo este uno de los parámetros que mejor indica la maduración del compost. El proceso de compostaje depende de la acción de los microorganismos que requieren de una fuente de carbono que les proporcione energía y material para nuevas células junto a un suministro de nitrógeno para proteínas celulares. Se considera que si hay suficiente nitrógeno disponible en la materia orgánica original, la mayoría de los otros nutrientes estarán también disponibles en cantidades adecuadas.

La relación C/N inicial óptima está comprendida entre 25 y 30, y esta relación se hace cada vez menor con el tiempo de compostaje debido a la transformación de la materia orgánica y al desprendimiento de carbono en forma de CO₂ (Corbitt, 2011). Sin embargo Henao (2008) afirma que se han efectuado compostaciones exitosas con relaciones de 20 a 80; solo que el proceso puede ser más lento y es posible que el aprovechamiento de los nutrientes no sea el óptimo, lo que puede llegar a afectar la calidad del producto final (Soto, 2010).

Si la relación C/N es muy baja se producen pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco, mientras que cuando los valores son muy elevados la disponibilidad del nitrógeno es baja, repercutiendo en un descenso de la actividad orgánica lo cual alargaría considerablemente el proceso de compostación (Bongcam, 2013).

El valor numérico de esta relación se halla al dividir el contenido en C (MOT/2) por el contenido en nitrógeno orgánico. Es un parámetro ampliamente usado, pero debe ponderarse correctamente, teniendo siempre presentes otros aspectos del compost analizado. Equivocadamente se considera que el compost está maduro si el cociente C/N se acerca a 10; este valor es el que presenta la materia orgánica estabilizada de un suelo que no tiene por qué corresponder al que presente la MO estabilizada de un compost. Es necesario conocer la relación C/N inicial en los residuos a compostar puesto que nos dará una idea de la velocidad del proceso y de la posibilidad de pérdidas de nitrógeno. En la figura 10 se muestra información al respecto y además se indica la relación C/P adecuada para procesos biológicos, aunque no acostumbra a presentar problemas. (Soliva y Lopez, 2012).

C.6. Temperatura

La temperatura está condicionada por la humedad y la aireación, y varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos. De acuerdo a este parámetro el proceso de compostaje se divide en cuatro etapas: mesofílica (< de 40 °C), termofílica (40 a 60 °C), fase de enfriamiento (< de 40 °C) y fase de maduración (temperatura ambiente). En la fase termofílica, se alcanzan las temperaturas más altas, las cuales son relevantes para que se dé la “auto esterilización” del sustrato, asegurando la eliminación de microorganismos y sustancias no deseadas en el producto final. A temperaturas demasiado elevadas

16 se produce una inhibición de la actividad vital de la mayoría de los microorganismos que inciden en el compostaje, frenándose así la descomposición de la materia orgánica. Para mantener un proceso de compostaje en condiciones ideales, se necesita mantener en todas las partes de la pila una temperatura de 55 a 60 ° C, por lo menos tres días para destruir prácticamente todas las plantas y organismos causantes de enfermedades patógenas. En el compostaje en pilas la temperatura se controla indirectamente variando la frecuencia del volteo (Corbitt, 2011).

Al disponerse el material que se va a comportar en pilas, en un reactor, etc., si las condiciones son las adecuadas, comienza la actividad microbiana. Inicialmente todo el material está a la misma temperatura, pero al crecer los microorganismos se genera calor aumentando la temperatura. El síntoma más claro de la actividad microbiana es el incremento de la temperatura de la masa que está compostando, por lo que la temperatura ha sido considerada tradicionalmente como una variable fundamental en el control del compostaje (Liang *et al.*, 2003 y Miyatake *et al.*, 2006). La evolución de la temperatura representa muy bien el proceso de compostaje, pues se ha comprobado que pequeñas variaciones de temperatura afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios de la humedad, pH o C/N. Por la evolución de la temperatura se puede juzgar la eficiencia y el grado de estabilización a que ha llegado el proceso, ya que existe una relación directa entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica. Asimismo, existe una relación directa entre la degradación y el tiempo durante el cual la temperatura ha sido alta. A veces la temperatura puede llegar a ser tan alta que inhibe el crecimiento de los propios microorganismos, conociéndose este fenómeno como suicidio microbiano.

Se observan tres fases en el proceso de descomposición aeróbica: fase mesófila inicial ($T < 45^{\circ}\text{C}$), al final de la cual se producen ácidos orgánicos; fase termófila ($T > 45^{\circ}\text{C}$); y fase mesófila final, considerándose finalizado el proceso cuando se alcanza de nuevo la temperatura inicial.

Cada especie de microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptima en el que su actividad es mayor y más efectiva: 15-40 ° C para los microorganismos mesófilos y 40-70 ° C para los termófilos (Suler *et al.*, 1977). Los

microorganismos que resulten beneficiados a una temperatura concreta son los que principalmente descompondrán la materia orgánica del residuo, produciéndose un desprendimiento de calor. Este calor provoca una variación de la temperatura de la pila que dependerá de la adecuación de los demás factores a los intervalos óptimos, del tamaño de la pila (el calor generado es proporcional al volumen o masa de la pila, pero la pérdida es proporcional a la superficie), de las condiciones ambientales y del tipo de adición de aire a la pila, ya sea con volteos o con aire a presión (Ekinici *et al.*, 2004). La evolución de la temperatura en pilas estáticas con aireación forzada y en pilas volteadas respectivamente. (Bueno, 2011).

Es un factor indicativo de la evolución del proceso de compostaje. Los cambios experimentados por este parámetro se utilizan normalmente para conocer la actividad microbiana a lo largo del proceso y determinan la estabilidad de la materia orgánica. Cada material se descompone a una velocidad y temperatura diferente, por lo que es difícil determinar una temperatura óptima, pero sí se puede fijar en el intervalo de 50 a 70°C, coincidiendo con la máxima tasa de producción de dióxido de carbono. En cambio, si tomamos como dato el mayor consumo de oxígeno, relacionado con la máxima tasa de descomposición, podemos fijar un intervalo mucho más pequeño centrado en torno a los 65°C (González y Deza, 2010)

C.7. pH o Índice de hidrogeno

El pH, al igual que la temperatura, varía con el tiempo durante el proceso de compostaje debido a su acción sobre los microorganismos, por lo que se convierte en una medida de vital importancia para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos. En general, los hongos toleran un margen de pH ligeramente ácido (entre 5-8), debido a que los productos iniciales de la descomposición son ácidos orgánicos. Al cabo de unos días, el pH se vuelve ligeramente alcalino debido a la liberación de amoníaco durante la transformación de las proteínas por parte de las bacterias, las cuales prefieren un medio casi neutro (pH= 6-7,5). El pH recomendado para un sistema de compostaje debe estar en un rango de 6.5 a 8 (Labrador, 2012).

Comúnmente, estos parámetros reciben poca atención desde el punto de vista de aplicación, pero es importante tenerlos en cuenta desde el punto de vista de proceso a lo largo del cual sufren variaciones. pH ácidos indicarán condiciones anaerobias y pH muy altos están relacionados con el contenido en nitrógeno amoniacal y carbonatos solubles. La CE es elevada en general en materiales compostados (excepto en el caso de haber compostado RV solo), pero también valores excesivamente elevados pueden relacionarse con un mal control del proceso, con materiales contaminados o con riegos excesivos con lixiviados o con aguas salinas. (Soliva y Lopez, 2012).

C.8. Aireación

Los niveles óptimos de oxígeno se sitúan entre el 5 y 15 por 100. Niveles inferiores del 5 por 100 de oxígeno pueden provocar condiciones anaeróbicas, mientras niveles superiores al 15 por 100 da lugar a pérdidas de calor y una pobre destrucción de organismos patógenos (Corbit, 2011).

Al tratarse de un proceso aeróbico, el oxígeno es necesario para que los microorganismos puedan realizar la descomposición. Por ello es necesario mantener un nivel de oxígeno óptimo, evitando que se produzcan situaciones anaeróbicas que reducirían la velocidad del proceso, así como crearían malos olores y reducirían la calidad del producto. Para conseguirlo, es necesario además de un aporte de oxígeno, que en la pila haya una porosidad adecuada para una correcta difusión del aire. La aireación de la pila de compost es necesaria ya que durante la fase biooxidativa, el porcentaje inicial de oxígeno puede verse reducido hasta en un 20%, mientras que el dióxido de

Carbono aumenta hasta un 5%. Con la aireación, conseguimos elevar los porcentajes de oxígeno hasta su óptimo para el desarrollo de los microorganismos, así como controlamos con ello otros factores tan importantes como la temperatura o la humedad. Además de para los organismos, el oxígeno es necesario para muchas reacciones de Oxidación de especies químicas orgánicas e inorgánicas presentes en las materias primas. (Gonzales, 2010).

Tabla 1
Condiciones ideales para el compostaje

Condición	Rango aceptable	Condición optima
Relación C:N	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Humedad	40 -65%	50 – 60%
Oxígeno	> 5%	8%
Temperatura	°C 55 – 75	65 – 70°C

Fuente: Tomando de Soto, 2010

Granulometría

Está muy relacionada con el aspecto y la facilidad de manejo y puede condicionar su uso. Este parámetro es particularmente importante cuando el destino del material vaya a ser el de sustrato. En ciertos casos una granulometría muy fina, además de dar problemas en la utilización (exceso de polvo), puede ser debida a un tratamiento de molturación final para “esconder” cierto tipo de impurezas. (Soliva y López, 2012).

Los sustratos de cultivo están constituidos por mezclas de partículas de diferentes tamaños, tamizado de muestras secas al aire, tamaños de luz de malla:

0,125 mm 2 mm

0,250 mm 4 mm

0,500 mm 8 mm

1,000 mm 16 mm

•Resultados son expresados como % en peso

Índice de grosor:

Partículas con diámetro superior a 1 mm. Se encuentra correlacionado con las características.

La interpretación de la granulometría Interpretación de resultados: Textura gruesa: partículas ,9 mm (poros grandes > 100 µm). Retienen cantidades reducidas de agua y están bien aireados Textura fina: Partículas < 0,2 mm (poros < 30 µm). Gran cantidad de agua difícilmente disponible. Mal aireados Textura media a gruesa: Distribución de partículas entre 0,25 mm y 2,5 mm. Poros entre 30 µm y

300 μm . Retienen suficiente agua fácilmente disponible y presenta además adecuado contenido en air hidrofísicas (Eymar, 2011).

C.9. Nitrógeno Kjeldhal

Existe la posibilidad de determinarlo sobre muestra húmeda o seca, con lo que la información que facilita es distinta. Determinado sobre muestra húmeda indica, a la vez, el contenido en nitrógeno en forma orgánica y amoniacal; determinado sobre muestra seca informa mayoritariamente sobre el contenido en nitrógeno orgánico. Es un parámetro que se valora mucho al aplicar el compost en agricultura, desde diferentes puntos de vista: el económico, el energético y el ecológico. Es discutible si es un parámetro al que se le deba exigir un contenido mínimo ya que depende del tipo de materiales que se composten; pero si se están compostando materiales ricos en nitrógeno deberá controlarse a lo largo del proceso (figura 9) porque su pérdida indica un mal manejo del compostaje (Soliva y López, 2012).

Nitrógeno no Hidrolizable

La determinación de la MOR permite determinar paralelamente el llamado NnH (nitrógeno orgánico resistente a la hidrólisis) que será difícilmente mineralizable. Se puede considerar un buen índice de la calidad del compost y además aporta información importante de cara a su aplicación. En un buen proceso de compostaje, sus niveles deben incrementarse. Puede expresarse como porcentaje del nitrógeno orgánico total (NnH/N org) (Soliva y López, 2012).

Nitrógeno (N): Fomenta el crecimiento de la parte aérea de los vegetales (hojas, tallos). Es, en parte, responsable del color verde de las plantas y confiere resistencia a las plagas. Su proporción en el compost varía en función del grado de madurez, de manera que el compost fresco es pobre en nitrógeno, mientras que la concentración crece a medida que el compost madura. De media, la proporción oscila entre el 1 y el 2 % en el compost de 5 ó 6 meses de maduración. La forma química mayoritaria de absorción de nitrógeno por parte de las plantas son los nitratos, que abundan en el compost maduro. En el fresco, el nitrógeno predominante es en forma de amonio (NH_4^+), menos tolerable o absorbible por la mayoría de vegetales. En el caso de las leguminosas, silvestres o de cultivo, hay

que considerar que pueden asimilar el nitrógeno molecular (N₂), ya que son capaces de captarlo directamente de la atmósfera. Obviamente, la mayoría de fertilizantes de síntesis contienen altas proporciones de nitrógeno en forma de nitratos (Eymar, 2011).

C.10. Patógenos

Los patógenos son causantes de enfermedades y pueden pertenecer a cualquiera de las clases de microorganismos. (Bacterias, hongos, virus, rickettsias y protozoos), el diseño de un proceso de compostaje debe tener en cuenta la destrucción de patógenos, ya que la presencia de ellos afecta los cambios normales de temperatura. Estos organismos prefieren temperaturas por debajo de los 42 °C, ya que normalmente viven a la temperatura corporal del hombre y animales, o a la temperatura ambiental de las plantas. Las técnicas para la preparación de compost se les señalan como muy efectivas para el control de microorganismos patógenos y la tasa de mortalidad de estos microorganismos está en función del tiempo y de la temperatura. Cuando el proceso de compostaje funciona correctamente se pone de manifiesto que la mayoría de los organismos patógenos mueren cuando se exponen todas las partes de la pila a temperaturas de 55 °C (Luque, 2010).

Tabla 2
Relación de microorganismos, temperatura y tiempo de exposición necesarios para la destrucción de algunos patógenos y parásitos comunes durante el compostaje.

Microorganismos	Observaciones y tiempo de supervivencia	Temperatura °C
<i>Salmonera SP.</i>	Muerte dentro de una hora	55
<i>Salmonera SP.</i>	y dentro de 15 a 20 minutos	60
<i>Salmonera SP.</i>	Muerte dentro de una hora	55
<i>Shigella sp.</i>	Muerte dentro de una hora	55
<i>Escherichia coli</i>	La mayoría muere dentro de 1 hora	55
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Muere dentro de 10 minutos	54
<i>Áscaris lumbricoides (huevos)</i>	Mueren en menos de una hora	Mayor a 50
<i>Algunas formas de hongos</i>	No sobreviven	49
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Destruídos	
<i>Leptospira philadelphia</i>	2 días	
<i>Microbacterium tuberculosis</i>	de 2 días 14 días	
<i>Humanos</i>	7 días	
<i>Poliovirus</i>	3 a 7 días	49
<i>Salmonella</i>	7 a 21 días	
<i>Shigella</i>	7 a 21 días	

Fuente: Luque, 2010.

Los organismos Patógenos.

Diferentes sustratos utilizados en el proceso de compostaje contienen organismos patógenos que pueden afectar al hombre, a las plantas y a los animales., afirma que los patógenos más numerosos y peligrosos se encuentran en los lodos de las PTAR. De los diferentes residuos que se utilizan para formar compost, los residuos vegetales son los que contienen menor número de organismos patógenos.

El compost obtenido en un proceso bien controlado minimiza el riesgo de presencia de patógenos, debido a los siguientes factores:

- La temperatura alcanzada.
- El tiempo del proceso
- Liberación de amoníaco durante el proceso.

La relación temperatura tiempo es el factor más significativo de la causa de la muerte de los patógenos. En la tabla 3 se presentan las temperaturas y tiempos de exposición para la destrucción de algunos agentes patógenos. Las columnas identificadas como A y B indican el tiempo mínimo al que debe someterse el residuo dependiendo si está a temperaturas altas o moderadas. (Martina, 2009)

D. Otros organismos asociados con el compost

La pila de compost definitivamente es una interacción entre microorganismos y macroorganismos que efectúan su trabajo sobre los residuos compostables. Las bacterias y los hongos comienzan el proceso de descomposición de la materia orgánica, y a medida que avanza el proceso se unen los actinomicetos, y luego miriápodos, insectos y gusanos de tierra. Luque (2000) menciona que se han identificado otra serie de organismos de relativa importancia en el proceso, en especial en la etapa mesofílica, como protozoarios, nematodos, hormigas, lombrices y ácaros. El mismo autor también indica que la masa de organismos puede alcanzar hasta el 25 por 100 del total del peso del compost. Según Kiehl (2011) el compost contiene hasta al final del proceso de descomposición una enorme población de microorganismos y algunos macroorganismos. Los macroorganismos son pequeños animales que habitan en el suelo y que pueden ser observados a simple vista, los cuales ayudan al proceso de compostaje, mediante el ataque físico sobre los desperdicios orgánicos, rompiéndolos en

pequeños pedazos los cuales son rápidamente degradados por los microorganismos.

E. Criterios de calidad

Según Labrador (2012) la calidad refleja la madurez del compost, y la obtención de un producto orgánico estable⁶. La calidad de los composts está afectada por el material original (grado de digestión, contenido original de nutrientes, etc.) y por el sistema de compostaje utilizado (Mazzarino *et al.*, 2010): dice que para evaluar la calidad de los materiales orgánicos, durante y al final del proceso de compostaje, se proponen criterios basados en la cuantificación de los parámetros físicos, químicos y biológicos. Estos criterios definen las características benéficas del compost y permiten recomendar su aplicación para diferentes finalidades agrícolas.

F. Aspectos ambientales del compost y compostaje

Ventajas:

Para Bongcam (2013) el compost tiene las siguientes ventajas:

Propiedades físicas:

- Mejora la estructura y estabilidad del suelo.

Producto que tiene un contenido elevado de sustancias húmicas, equilibrado en nutrientes, óptimo en número de microorganismos útiles, granulometría idónea, olor agradable, coloración oscura y además libre de contaminantes y sustancias fitotóxicas (Labrador, 2012)

- Mejora su textura y su permeabilidad (regulación del balance hídrico del suelo), lo que facilita su aireación y por lo tanto la respiración de las raíces.
- Reduce el riesgo de erosión porque los suelos compactos se sueltan y los arenosos se compactan por la acción de la materia orgánica.
- Propiedades químicas:
- Aumentan el poder tampón del suelo, y en consecuencia reducen las oscilaciones de pH de éste.

- Aumentan la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que se aumenta la fertilidad.
- Proporciona cantidades generosas de nutrientes especialmente de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, hierro, que se van liberando lentamente, facilitando el aprovechamiento por las plantas y estimulando su ciclo vegetativo.
- Los abonos orgánicos (compost) forman complejos que retienen los macro y micronutrientes, evitando su pérdida por lixiviación; además, incrementan la retención de la humedad en el suelo, lo que le confiere resistencia a la sequía.
- Mejora las características químicas del suelo, dado que la materia orgánica puede retener hasta 10 veces más nutrientes que las arcillas. Propiedades biológicas
- Favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios.
- Proporciona energía para los microorganismos renovando y aumentando la “vida” del suelo al promover la proliferación de micro y macroorganismos útiles para la actividad biológica y la disponibilidad de elementos minerales, mejorando gradualmente la fertilidad del suelo.

Otras ventajas:

- Representa la reducción de volumen de residuos sólidos orgánicos sin olvidar que es la opción más barata y beneficiosa desde el punto de vista de salud medioambiental.
- El producto final obtenido, supone un beneficio económico a nivel particular y social, ya que se ahorra en fertilizantes químicos y se generan nuevas oportunidades de trabajo.

G. Normatividad Nacional de parámetros físico-químico del compost.

Los parámetros físico-químicos y microbiológicos óptimos del compost para ser utilizado como acondicionador del suelo, según la NTC 5167 y resolución 00150 de 2011, se muestran en la tabla 3.

Tabla 3
Límites permisibles de parámetros físico-químicos y microbiológicos del compost para ser utilizado como acondicionador del suelo

Parámetro	Límites permisibles
Humedad	15 % máximo
Contenido de Carbono Orgánico Total	5 –15 %
N total +P ₂ O ₅ + K ₂ O	10% mínimo
Riqueza mínima de cada elemento	2%
CaO + MgO + elementos	menores 10% mínimo
pH	reportarlo
Residuo Insoluble	50% del contenido de cenizas
Metales pesados*	
Arsénico	15 mg/kg
Cadmio	0,7 mg/kg
Cromo	70 mg/kg
Mercurio	1 mg/kg
Níquel	25 mg/kg
Plomo	140 mg/kg

Fuente: NTC 5167 y resolución 00150 de 2003 Límites máximos permisibles de metales pesados en residuos sólidos urbano separados en la fuente.

H. Calidad del Compost

Es siempre difícil y muy subjetivo definir la calidad de un producto porque está relacionada con la aptitud del mismo para ser utilizado. ¿Qué aplicaciones va a tener el compost? Los requerimientos de calidad deberían ir dirigidos a conseguir: aspecto y olor aceptables higienización correcta muy bajo nivel de impurezas y contaminantes nivel bueno de componentes agrónomicamente útiles (MO estabilizada y Fito nutrientes) .una cierta constancia de características. Y todo ello, procurando aprovechar al máximo la potencialidad de los materiales iniciales, evitando todas las posibles vías de contaminación durante el proceso, la generación excesiva de rechazo, así como el consumo superfluo de energía.

Al plantear las características finales óptimas para un compost es difícil establecer niveles para el contenido en MO y nutrientes, ya que dependen mucho de los materiales tratados, En la mayoría de normativas o legislaciones, frecuentemente, sólo se fijan los contenidos en metales pesados, siendo poco exigentes en los

parámetros más agronómicos. La calidad del compost viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características. En cualquier caso debe hablarse de:

Calidad física: granulometría, capacidad de retención de agua, humedad, presencia de partículas extrañas, olor.

Calidad química: contenido y estabilidad de la materia orgánica, contenido y velocidad de mineralización de los nutrientes vegetales que contenga y presencia de contaminantes inorgánicos u orgánicos.

Calidad biológica: presencia de semillas de malas hierbas y patógenos primarios y secundarios.

Podría también valorarse otros aspectos como calidad ambiental en las plantas, seguridad de los trabajadores y de los futuros usuarios, etc. También debe controlarse el funcionamiento y los rendimientos de las plantas de compostaje, así como la adecuación de la maquinaria. En la actualidad algunas plantas de compostaje siguen no funcionando bien y otras se están construyendo por considerarse políticamente correcto, pero no por un real convencimiento y preocupación por conseguir que sean rentables (ambiental y económicamente). Dentro de los niveles de calidad también deberán establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado; pero siempre habrá unos mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Es necesario definir una calidad general del compost y, además, establecer unos parámetros diferenciados para usos diversos, sin querer significar esta afirmación que los máximos permitidos de contaminantes se puedan sobrepasar según el destino.

En general, se considera necesario establecer los contenidos máximos permitidos de contaminantes para proteger el suelo de una excesiva contaminación. Como resultado de esta consideración, todas las legislaciones contemplan y fijan unos niveles de metales pesados permitidos, que varían ampliamente.

Consideramos que la finalidad de una normativa sobre calidad del compost debe ir mucho más allá que evitar una excesiva contaminación del suelo. El concepto de “excesiva” es subjetivo, y por lo tanto peligroso, y no toma en consideración la característica principal del compost, a saber: el compost como un producto que

aporta una serie de efectos beneficiosos al suelo y los cultivos. (Soliva y López, 2012).

I. Tiempo óptimo de obtención de compost.

El tiempo que se tarde en recoger el compost dependerá de los procedimientos que se haya seguido para elaborarlo. No obstante, en el caso del compostaje doméstico, desde que se empieza de cero, se calcula que se puede tardar unos nueve meses, y a partir de esta primera cosecha, se puede obtener compost cada 3 o 4 meses. Por lo que se refiere al ver mi compostaje, si los procedimientos son los adecuados, se puede obtener ver mi compost cada dos meses. (Mazzarino et al., 2010)

El tiempo que se tarde en recoger el compost estará listo en unos 3 meses en primavera-verano y hasta 6 en invierno. Para ver si ya está en su punto, toma un puñado con la mano. Deberá tener un color marrón o negruzco similar al del mantillo, olor a bosque y estar frío debido a la falta de actividad microbiana. (Mariño 2012)

1.2 Antecedentes

La obtención de compost se desarrolló en el parque Temático Agroambiental Ricpamba administrado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) de Riobamba, donde se obtuvo un abono orgánico a partir de los residuos sólidos generados en el Mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba para su uso en parques, jardines, espacios verdes y. La evolución de la temperatura de la pila en la fase mesófila alcanzó los 45 °C y en la fase termófila la temperatura fue superior a 60 °C, la misma que se controló con volteos manuales. Una vez finalizado el proceso se comprobó la calidad del compost mediante análisis físicos-químicos, químicos y biológicos para determinar su calidad (Viteri *et al.*, 2016).

Para lo cual se introduce en la etapa inicial una mezcla de 80% de residuos orgánicos con 5 % de estiércol de alpaca de la zona y 15% de agua para mantener la humedad colocados en cavidades de madera impermeabilizado con geo membrana para activar y acelerar la actividad bacteriana; iniciando el proceso a 12° C aumentando la temperatura a 60°C a los 40 días, finalizando el proceso a 12°C a los 75 días, se techo de modo variable a fin de que durante el día la mezcla quede expuesta a la energía solar y de noche cubierta con el

mismo techo; siendo removido la mezcla 18 veces durante todo el proceso (3, 5 y 7 días por cada etapa), observándose una variación térmica y liberación de gases hasta estabilizarse a los 75 días donde se convierte en un materia grumoso a manera de suelo de color marrón y grisáceo (Kelsy y Minaya, 2013)

El presente estudio tuvo como finalidad el aprovechamiento de los residuos azucareros de forma técnicamente viable por medio de la producción y evaluación del proceso de compostaje. Para lograr los objetivos se establecieron combinaciones de tres tipos de materia prima, dos fuentes de microorganismos y dos métodos de aireación. Las pilas se establecieron bajo un diseño de tres factores, y se valoraron dos veces por semana los parámetros: temperatura, pH y conductividad eléctrica. Otros parámetros como materia orgánica, población microbiana, porcentaje de humedad, macro y micro nutrientes, cromatografía de Pfeifer y relación C/N, se evaluaron al inicio y al final del proceso. El mejor método fue el de aireación por volteos, y la formulación más equilibrada para macro y micro nutrientes y mayor concentración de materia orgánica fue la formulación con 50% de bagazo, 25% de cachaza y 25% de ceniza. Al finalizar el proceso, la formulación conformada por 40% bagazo, 30% cachaza y 30% ceniza tuvo la relación C/N más cercana a los valores recomendados entre 20-30. Los microorganismos comerciales mantuvieron una mayor población microbiana durante el proceso hasta su culminación. La temperatura llegó a la temperatura inicial de 45o C; el pH para el proceso fue el óptimo de 8 a 8.5 aunque finalizó elevado 9 a 9.5 (Gordillo *et al.*, 2011).

Los sustratos del compostaje de biorresiduos de origen municipal (BOM) se caracterizan por el alto contenido de humedad que puede afectar la evolución del proceso de transformación aerobia de la materia orgánica. Una estrategia de control de la humedad durante el proceso de compostaje es el incremento en la frecuencia de volteo de las pilas. Este estudio evaluó la influencia de la aplicación de esta estrategia para el control de la humedad inicial en el compostaje de BOM, para lo cual se montaron dos tipos de pilas a escala piloto (570 kg) con diferente frecuencia de volteo durante las cuatro primeras semanas del proceso; la pila A con al menos dos volteos semanales y la pila B con seis volteos semanales. Los resultados indican que el aumento en la frecuencia de volteos fue efectivo para reducir la humedad inicial de los sustratos, obteniendo una mayor tasa de degradación de la materia orgánica, que se reflejó en un 20 % menos del tiempo de duración de las fases mesofílica en 40° C, la temperatura de duración las termofílica en 60° C y de enfriamiento y además, en un mayor mantenimiento de las temperaturas de

higienización (siete días adicionales). El incremento en la frecuencia de volteo disminuyó el contenido de nutrientes (NTotal, PTotal y KTotal) y del carbono orgánico total (COT) y por ende el valor agronómico del producto, no obstante, se favoreció la disminución de sustancias fitotóxicas alcanzando un mayor índice de germinación y menores valores de conductividad eléctrica (Oviedo *et al.*, 2014)

La pasteurización del abono se logró a través de que la temperatura entre 45 °C y 50 °C fue por un tiempo prolongado. Según el resultado del análisis químico realizado en el laboratorio de suelos y aguas de la UNA indican por que los rangos de humedad al final del ensayo se mantuvieron dentro de los parámetros óptimos (50-65 %). Todos los tratamientos tienen una relación carbono/nitrógeno alta, las que varían entre 79:1 a 60:1. Todas las mezclas tienen estabilidad, no hay presencia de sustancias fitotóxicas. En todos los tratamientos se obtiene una germinación arriba del 90 por ciento. La presencia de bacterias y hongos estuvo durante todo el proceso de descomposición, siendo menor el número de especies de hongos encontrados por tratamiento a los 30 días que a los 90 días. Entre las bacterias más encontradas están las del género *Bacillus*. (Rojas y Zeledón, 2007)

El trabajo realizado consistió en el montaje de tres experimentos con el fin de comparar las características finales de los residuos compostados. En el primer experimento se evaluó la mezcla de los residuos en distintas proporciones, en pequeños volúmenes. En un segundo experimento, debido a la línea de estudio recomendada por la empresa, se realizó el compostaje de los residuos por separado. Finalmente, en un tercer experimento, se realizó una mezcla Lodos/Corteza 1:1 con el objeto de comparar su caracterización final con los resultados obtenidos en el segundo experimento. De acuerdo los experimentos se monitorearon periódicamente, determinando variación de la temperatura, pH, humedad, densidad aparente, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, relación C/N está entre 25-30, concentración de metales pesados y número de las bacterias presentes. (Porras, 2011)

Respecto a los desechos orgánicos que producimos en las casas se destinaran al compostaje, evitaríamos muchos problemas que causan los vertederos como la contaminación ambiental, agua, aire y suelos y obtendríamos un abono natural, ecológico y económico para nutrir nuestros suelos y jardines. Con el objetivo de Presentar una solución ambientalmente sustentable y económica para el tratamiento de residuos

orgánicos sólidos caseros (Sistema de Compostaje), generados en los hogares urbanos a 3824 m.s.n.m. se realiza la presente monografía. Población, material y métodos. Se realizó un estudio en 5 comunidades ubicadas a 3824 m.s.n.m. y se determinaron las características del compostaje en un clima que se caracteriza por ser frío y seco. Resultados. De las 5 compostadoras utilizadas para esta experiencia se obtuvo similares resultados en cuanto al tiempo de la maduración del compost que es entre 5 a 6 meses, se utilizaron vegetales como: hojas y tallos de jardines, cascaras de frutas y verduras, y los restos de alimentos. Conclusión. El clima frío y seco retarda la maduración del compost. (Apaza *et al.*, 2010)

Los residuos sólidos orgánicos urbanos constituyen cerca del 70% del volumen total de desechos generados, por tal motivo es primordial buscar una salida integral que contribuya al manejo adecuado, potenciando los productos finales de éstos procesos y minimizando un gran número de impactos ambientales que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales. Este trabajo define cada uno de los tipos de aprovechamiento apoyados en la normatividad existente; Igualmente compila algunas experiencias a nivel mundial, regional y local, los impactos positivos y negativos y los costos para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos. La importancia del aprovechamiento de los residuos orgánicos empieza a adquirir una mayor dimensión por el acelerado crecimiento urbanístico y la necesidad de reutilizar materias primas desechadas, lo que motivó a hacer una investigación documental cuyo tema central es el aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos en Colombia. En éste trabajo se agrupa la información más relevante a cerca del tema en los últimos 10 años, iniciando con la definición y clasificación de los residuos, pasando por la generación y tipos de aprovechamiento y finalizando con los costos operativos y ambientales (Jaramillo, 2008)

En el presente trabajo se caracterizaron, clasificaron y acondicionaron los residuos orgánicos de la plaza de mercado de Manizales (Caldas), analizándose los posibles tratamientos para su conversión en productos de valor agregado. Se eligió transformar el almidón y la celulosa presentes en los residuos. Se establecieron las mejores condiciones de temperatura, pH y dosificación de enzima para transformar los polisacáridos en azúcares reductores. Para la transformación del almidón y la celulosa se utilizaron glucoamilasa y celulasas comerciales. La conversión de almidón alcanzó valores del 60% a 50 °C, y un pH de 6,0. La conversión de celulosa fue de un 4% a 60 °C y un pH de 4,0.

Se llevó a cabo el estudio cinético de la hidrólisis de almidón con base en el modelo de Michaelis-Menten. A partir de la nueva materia prima (azúcares reductores) se obtuvo etanol. Igualmente se evaluó la producción de biogás y compost a partir de los residuos sólidos estudiados. En la producción de biogás se determinó que por cada kilogramo de residuos tratados se producen, en el rango de temperatura mesofílica, aproximadamente 4 L de biogás. A pesar de los valores relativamente bajos de la relación C/N para los residuos vegetales, se evidenció la posibilidad de llevar a cabo un proceso de compostaje para este tipo de desechos (Cardona ,2010).

Los sustratos del compostaje de biorresiduos de origen municipal (BOM) se caracterizan por el alto contenido de humedad que puede afectar la evolución del proceso de transformación aerobia de la materia orgánica. Una estrategia de control de la humedad durante el proceso de compostaje es el incremento en la frecuencia de volteo de las pilas. Este estudio evaluó la influencia de la aplicación de esta estrategia para el control de la humedad inicial en el compostaje de BOM, para lo cual se montaron dos tipos de pilas a escala piloto (570 kg) con diferente frecuencia de volteo durante las cuatro primeras semanas del proceso; la pila A con al menos dos volteos semanales y la pila B con seis volteos semanales. Los resultados indican que el aumento en la frecuencia de volteos fue efectivo para reducir la humedad inicial de los sustratos, obteniendo una mayor tasa de degradación de la materia orgánica, que se reflejó en un 20 % menos del tiempo de duración de las fases mesofílica, termofílica y de enfriamiento y además, en un mayor mantenimiento de las temperaturas de higienización (siete días adicionales). El incremento en la frecuencia de volteo disminuyó el contenido de nutrientes (N_{Total}, P_{Total} y K_{Total}) y del carbono orgánico total (COT) y por ende el valor agronómico del producto, no obstante, se favoreció la disminución de sustancias fitotóxicas alcanzando un mayor índice de germinación y menores valores de conductividad eléctrica (Oviedo *et al.*, 2013).

El ensayo se realizó en la plantación de Palmeras del Meta LTDA, vereda la Castañeda, municipio de San Martín, Departamento del Meta- Colombia cuyo resumen indica: El sistema de compostaje utilizado fue el de tipo “abierto” se diseñaron pilas de 1.5 m de altura con capas de basura, estiércoles de animales, paja, hojas y lodos. En esta investigación se utilizaron tres factores de estudio con dos modalidades cada uno. Factor A: Raquis Fraccionado-Raquis Entero (RF-RE), Factor B: Bovinaza- Fosfato Diamónico (BOV-DAP), Factor C: Con cubierta plástica-sin cubierta plástica (CC-SC). Los tres

factores se combinaron dando lugar a 8 tratamientos. Se sumaron 2 tratamientos adicionales con solamente raquis entero, donde a uno se le realizó volteo y al otro no. Se utilizó además del Raquis otros residuos como fibra, cascarilla o afrecho, foliolos de frondas de palma. Para prevenir la proliferación de insectos se cubrió las pilas con pasto seco, también se utilizó cal para estabilizar el pH. Los tratamientos con adición de Bovinaza presentaron mayores promedios de temperatura estabilizándose más rápido que las pilas donde se utiliza el DAP. Los 27 tratamientos adicionales no presentan un comportamiento típico de temperatura en el proceso de compostaje. En el análisis químico, Los tratamientos adicionales (solamente con Raquis entero) presentaron niveles bajos de calcio, magnesio, potasio y fósforo en comparación con los otros tratamientos. El empleo de la cubierta plástica favoreció el contenido de Calcio, magnesio y potasio. Es decir estos valores fueron superiores comparados con los valores de las pilas carentes de cubierta plástica (Soto, 2010).

Con el objetivo general de plantear una alternativa de manejo de desechos sólidos (D.S) en el municipio de Córdoba-Quindío. Se realizó la compostación de residuos orgánicos, en la finca Flor del Café, Vereda la Mina, municipio de Pijao, Departamento del Quindío. Inicialmente se recolectó el material orgánico proveniente de la finca y de la zona urbana en bolsas plásticas marcadas (44 por 72 cm.). Luego se elaboraron tres montones para el proceso de compostaje de 1 m de alto por 1.2 m de ancho y por 1.2 m de largo. Se cubrió con maleza y ramas del lugar y se les realizó volteos cada 15 días. El tratamiento para estas pilas consistió en ensayar fermentos líquidos (M1: Fermento de ortiga y cola de caballo, M2. Fermento de estiércol de caballo, M3: Fermento de estiércol de cerdo). La dilución de estos fermentos fue de 1kg en 5Lt de agua y al momento de aplicar se diluyó en 15 Lt más de agua. Se formaron dos montones más como base de comparación con los otros. M4: No se le aplica ningún activador biológico (fermentado o capa de estiércol), pero si se le hicieron volteos. M5: No se le activa ningún activador biológico ni se realizó volteos. El montón (Mo) presentó un alto grado de homogeneidad en el segundo volteo. Mientras que en los montones uno al tres, necesitaron del tercer volteo para conseguir un alto grado de transformación. Los montones del uno al cinco presentaron alto grado de humedad y compactación, siendo más acentuada en Mo5. El montón Mo1 fue el más descompuesto y menos compacto. En los montones no hubo liberación de olores desagradables ni presencia de moscas. Se concluye con este trabajo que la calidad del compost depende tanto de los materiales utilizados, como de las condiciones en que se

desarrolló dicho proceso. Para la obtención de compost no se requiere de una inversión alta. El compostaje que se obtuvo en esta investigación se puede usar con fines agrícolas (Martínez, 2011).

Con el objetivo de buscar alternativas de mejoramiento de los sustratos de cultivo utilizando mezclas de cachaza con diferentes residuos orgánicos. Este proyecto de investigación se realizó en el año de 2007 en la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, departamento del Valle del Cauca Colombia. El proyecto se desarrolló en tres etapas: Etapa de compostaje, etapa de Invernadero y etapa de laboratorio. Para la primera etapa se utilizaron residuos orgánicos como la cachaza, el bagacillo, el bagazo y trocitos de madera, estos residuos se mezclaron como se muestra en la tabla (8). El modelo de compostaje utilizado fue el método Indore complementado con un sistema de solarización. Se conformaron tres repeticiones para cada tratamiento. Para la segunda etapa, cada 15 días se tomaron muestras de las pilas de compostaje para realizar los bioensayos con semillas de tomate con el fin de evaluar el compostaje por medio del crecimiento y emergencia de plántulas físicas y químicas de tomate. En la tercera etapa se analizaron las propiedades químicas, físicas y físico-químicas para determinar las diferencias. En la etapa de compostaje las mezclas que contenían mayor porcentaje de cachaza presentaron temperaturas ligeramente altas. En la etapa de Invernadero las plantas presentaron restricciones en el crecimiento y desarrollo posiblemente por la falta de nutrientes y a la alta cantidad de fitotóxicas que presentaban las mezclas de residuos en descomposición. Los porcentajes de emergencias fueron relativamente altos; entre el 83 y el 89% para las pruebas preliminares y del 82 al 95.3% en la prueba final. Para la variable de emergencia no hay diferencias entre un sustrato de diferente estado de descomposición. Para la etapa de laboratorio de acuerdo al análisis de las propiedades químicas, la materia orgánica aumento notablemente en los tratamientos que contenían trocitos de madera. El estudio de las propiedades físicas los tratamientos que tienen mayor porcentaje de cachaza presentaron menor porcentaje de porosidad, contrario a lo que pasó con los tratamientos que se utilizaron mayores porcentajes de trocitos de madera (Escalante, 2011)

En la Estación Experimental La Platina se llevó a cabo durante varios años una comparación entre abonadura orgánica y mineral, en un ensayo de rotación trigo, fríjol a igualdad de unidades de fertilizantes aplicadas. El objetivo de este estudio fue comparar una fertilización mineral con una orgánica a largo plazo bajo un 30 régimen hortícola

intensivo. El material orgánico elegido fue el compostaje de basura. El ensayo se estableció en la estación experimental la platina (Santiago), en terreno no cultivado ni fertilizado. El experimento consta de dos dosis de nitrógeno (200 Y 400 kg. /ha anuales) que proceden de diferentes fuentes una orgánica (compost de basura) y otra inorgánica (urea). El compost fue preparado con basura de la Municipalidad de la comuna de la granja, a comienzo de cada año. Anualmente se obtenía una muestra de compost tamizada para determinar el contenido de humedad, nitrógeno total, fósforo total y potasio total. Los cultivos de la rotación se escogieron de manera de tener dos cultivos hortícolas en el año, uno de invierno y otro de verano. Los cultivos fueron tomate, lechuga, maíz, rábano, fríjol verde, espinaca, repollo, y remolacha. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios. Para el análisis del suelo, los efectos de los tratamientos en la composición del suelo se midieron en base a: Materia orgánica, pH, conductividad, nitrógeno disponible, fósforo y potasio intercambiable. El contenido de nitrógeno aumento en el tratamiento con urea cuando la dosis fue de 400 kg./ha. Mientras que para los demás tratamientos los niveles de nitrógeno se conservaron. Con respecto a la metería orgánica y potasio disponible sus contenidos se incrementaron cuando se utilizó compost de basura. En cuanto al rendimiento, la mayoría de los cultivos dieron alta respuesta a la fuente nitrogenada, la dosis alta de Nitrógeno (400 kg. /ha) fue siempre superior a la dosis baja (200Kg./ha), con excepción del rabanito. “En relación con los análisis microbiológicos, el compost utilizado como fertilizante y acondicionador orgánico de origen no pedogenético, deberán demostrar que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos patógenos: Salmonella sp.: Ausentes en 25 gramos de producto final, Entero bacterias totales: Menos de 100 UFC/g de producto final. Para evaluar si el producto presenta contenidos de microorganismos benéficos, debe declararse el recuento de microorganismos mesó filos aerobios, mohos y levaduras. También se puede determinar la presencia o ausencia de protozoos y nematodos’. Se concluye entonces que el efecto acumulativo de los materiales orgánicos no se manifiesta después de 4 años de uso continuo de este material, periodo en el cual siempre se ha mantenido la superioridad del fertilizante mineral que para este caso fue la urea (Sotomayor, 2010).

En el resumen señala que entre los problemas que debe afrontar y resolver satisfactoriamente la Universidad Central de Venezuela se encuentra el asociado al manejo de los desechos sólidos que allí se generan. En el Comedor Universitario como consecuencia de sus actividades diarias se estimó una producción de desechos en el orden

de 0,8 ton/día sólo en el área de la cocina del mismo. El manejo inadecuado de los desechos puede ocasionar la aparición de condiciones sanitarias inaceptables que conducen al deterioro del sitio de almacenamiento temporal. Entre las opciones universalmente aceptadas para minimizar estas condiciones, se encuentra la separación de aquellos de naturaleza orgánica para la preparación de abono («Compost»). El objetivo general del estudio fue elaborar un modelo de superficie de respuesta que permitiera estimar condiciones en la producción de abono orgánico cuyo aporte de potasio fuera reproducible. En la producción de abono orgánico se utilizaron los desechos sólidos generados en el área de la cocina del Comedor Universitario de la Universidad Central de Venezuela en la Ciudad Universitaria de Caracas. La experiencia se planteó aplicando el diseño factorial fraccionado de Box-Behnken, utilizando los factores identificados y rangos de variación obtenidos en ensayos preliminares los cuales fueron: cantidades agregadas de desechos (D), aserrín (C) y humedad agregada (A), así como el periodo de aireación (B). La respuesta seleccionada como indicador de aporte de nutriente fue el potasio. Ello permitió preparar una muestra de 29 abonos diferentes, donde se combinaron los factores considerados de acuerdo al diseño mencionado. Con la ecuación obtenida se optimiza hasta obtener el punto máximo. Esto último se logra empleando un método interactivo utilizando un software específico. Finalmente se logró diseñar un modelo que permite establecer las condiciones de mezcla inicial para preparar abono orgánico cuyo aporte de potasio se repite. (Carrolla *et al.*, 2007)

Las actividades humanas que han conducido al desarrollo económico de las naciones, trayendo excelentes consecuencias científicas, tecnológicas y de innovación, también han ocasionado cambios que no parecen ser los más adecuados para preservar los recursos necesarios en el sustento de los seres vivientes presentes y las futuras generaciones. El uso de los recursos energéticos está conduciendo a su agotamiento y se están generando sustancias y desechos que conllevan a un problema de contaminación ambiental; por otro lado, también se producen condiciones sanitarias inadecuadas que pueden generar dificultades en el ámbito de la salud pública. En este orden de ideas, la Universidad Central de Venezuela se ha propuesto afrontar y resolver satisfactoriamente lo referente al manejo de los desechos sólidos que allí se generan, mediante el aprovechamiento de su fracción orgánica en los desechos generados en el comedor universitario, para la elaboración de abono orgánico. Para ello se requiere, además de implantar el proceso de compostaje, asegurar que la calidad del material producido sea reproducible. Una

herramienta útil para lograr este último aspecto la constituye el realizar un diseño estadístico para el proceso de compostaje que permita obtener una ecuación matemática que determine la influencia que pueden tener los factores (variables independientes) sobre la respuesta, llamada variable dependiente, es decir, la atribución que pueden tener los desechos mezclados inicialmente sobre la cantidad de nitrógeno. Esa metodología conlleva a la obtención de una ecuación que permite generar una superficie de respuesta. Esta información permitiría controlar la calidad del producto obtenido, el abono orgánico, de acuerdo a las condiciones que se establezcan. El objetivo general del estudio fue el de elaborar un modelo de superficie de respuesta que permita estimar condiciones en la producción de abono orgánico cuyo aporte de nitrógeno sea reproducible. La tarea se planteó aplicando el diseño experimental de Box-Behnken, una herramienta estadística en la cual se utilizaron cuatro factores o variables independientes a tres niveles, que fueron: porciones agregadas de desechos (D), cantidad de aserrín (C) y humedad agregada (A), así como el periodo de aireación (B). La respuesta medida como indicador del aporte de nutriente fue el nitrógeno (N). Este diseño se elaboró en base a 29 ensayos, donde se combinaron los factores considerados. El modelo de superficie consistió en la obtención de una función estocástica cuadrática. De los productos obtenidos se determinaron: nitrógeno potencialmente mineralizable; fósforo disponible, potasio extractable, materia orgánica, pH, rendimiento al tamizado, y la pérdida de peso de los abonos obtenidos. Se encontraron diferencias significativas entre mezclas con respecto a los materiales puros. El compost de lombriz obtenido con 100% de estiércol presentó los valores más elevados de N y P; los niveles de potasio y pH más altos correspondieron a los de los tratamientos T2 y T5. El mejor rendimiento al tamizado correspondió al tratamiento T1, y el que menos merma de volumen presentó fue el T3 (Castillo, 2010).

Se estudió el efecto de la aplicación del biosólido producido en la PTAR de Río Frío, compostado o estabilizado con cal, y diferentes mezclas de los tratamientos con suelo, fue evaluado en plantas de lechuga *Lactuca sativa*, guadua *Bambusa guadua* y samán *Pithecellobium saman* en el vivero La Rosita, municipio de Bucaramanga, Santander, Colombia. Las evaluaciones realizadas a los 3 meses, indicaron que el compostaje y la estabilización con cal del biosólido, así como las diferentes mezclas del tratamiento con suelo, tuvieron efectos variados en las plantas de lechuga, guadua y samán. El biosólido estabilizado con cal dolomítica o cal agrícola, tiene un mejor efecto en el comportamiento de plantas de lechuga; el biosólido sin tratar y el compostaje tienen mejores efectos en las

plantas de guadua; y el compostaje tiene un mejor efecto en las plantas de samán. En relación con las diferentes mezclas del tratamiento con suelo, en plantas de lechuga dio mejores resultados la mezcla M1 (3 partes del tratamiento y 1 parte de suelo); en plantas de guadua las mezclas M0 (100% del tratamiento), M1 (3 partes del tratamiento y parte de suelo) y M2 (1 parte del tratamiento y 1 parte de suelo); y en plantas de samán la mezcla M3 (1 parte del tratamiento y 3 partes de suelo) (Escobar *et al.*, 2010).

En estudios del proceso seleccionado es el de “Pilas Estáticas con Aireación Forzada”, el mismo que es adecuado por incentivar el uso de mano de obra intensiva y usar una tecnología al alcance de nuestro país. De los residuos orgánicos usados en este proyecto se concluye que el rumen es el más importante, porque regula la velocidad de fermentación aeróbica y se constituye en un inóculo natural que beneficia al proceso. La composición de los residuos orgánicos que garantiza la producción de Compost de buena calidad es: rumen: 18 %, estiércol: 26 %, sangre: 5 % Residuos de Mercado: 51 % para producir 2,851.2 TM/año (8.64 TM/día) de compost es necesario 3,231.4 TM/año (9.79 TM/día) de residuos de Mercado, 1,647.4 TM/año (4.99 TM/día), de estiércol, 316.8 TM/año (0.96 TM/día) de sangre y 1,140 TM/año (3.45 TM/día) de rumen. Por cada TM producida de compost, se tiene los siguientes consumos específicos de materias primas: 1.13 TM de residuos de mercado, 0.58 TM de estiércol, 0.11 TM de sangre, 0.40 TM de rumen. Los consumos específicos de insumos son los siguientes: 0.096 TM agua / TM compost 150; 0.24 TM aire / TM compost; 4.47 KWH / TM compost. Se ha determinado experimentalmente que el uso de inóculo en un 5 %, como como positivo de las mismas materias primas a medio fermentar, es un acelerador. Experimentalmente se ha determinado las mejores condiciones de relación Para este proceso: Relación C/N inicial 30 (Penagos *et al.*, 2009)

Con el objetivo de mejorar el proceso de compostaje en la Granja Modelo Pairumani (GMP), a través de la elaboración de compost con una relación C/N inicial adecuada y la adición de preparados biodinámicos. Para lograr este objetivo se realizaron ocho tratamientos de compost descritos a continuación: T1 (Estiércol, C/N = 15); T2 (Estiércol + preparados biodinámicos, C/N = 15); T3 (Estiércol + chala de maíz picada, C/N = 25); T4 (Estiércol + chala de maíz picada + preparados biodinámicos, C/N = 25); T5 (Estiércol + gallinaza, C/N = 14); T6 (Estiércol + gallinaza + preparados biodinámicos, C/N = 14); T7 (Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada, C/N = 25); T8 (Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada + preparados biodinámicos, C/N = 25). Durante el proceso de

compostaje se realizaron evaluaciones en campo y análisis en laboratorios para determinar la influencia de la relación C/N inicial y la adición de preparados biodinámicos en el proceso de compostaje de la GMP. Las evaluaciones realizadas permitieron observar que los tratamientos elaborados con una relación inicial C/N=25 mostraron mejores características químicas, físicas y microbiológicas para un compost maduro. Por otra parte se vio la influencia de los preparados biodinámicos en la etapa termófila ya que los tratamientos con preparados biodinámicos presentaron temperaturas significativamente más elevadas que los que no tenían preparados biodinámicos (Escobar *et al.*, 2017).

Con el objetivo de determinar las principales propiedades de un compost elaborado a partir de bagazo, cachaza y ceniza, obtenidos del proceso de fabricación de azúcar. Para la elaboración de la mezcla se realizó una caracterización de la materia prima en función de las propiedades relacionadas al proceso de compostaje. Durante el proceso de biodigestión anaeróbica se realizó el control de los principales parámetros de seguimiento hasta alcanzar la maduración de la misma. En la materia prima utilizada se encontró una densidad aparente de 0,12 a 0,48 g cm⁻³, el pH de la misma osciló entre 5,2 y 8,7, mientras que la conductividad eléctrica estuvo en el rango de 0,4 a 0,9 μ m⁻¹. Por su parte los contenidos de P, K, Ca y Mg mostraron valores entre 0,3 y 2,8 %. Finalmente, en el compost se obtuvo una densidad aparente de 0,5 g cm⁻³. La relación carbono-nitrógeno (C/N) mostró una dependencia lineal al tiempo de compostaje, mostrando una adecuada maduración de la mezcla. Se constató además la presencia de N, P, K, Ca y Mg con valores de 1; 1,3; 1,1; 2 y 1,1 % respectivamente. Al evaluar los resultados se concluye que el compost muestra una composición adecuada para ser empleado como abono orgánico en la agricultura (López, 2017)

Los subproductos frescos de la industria azucarera (cachaza, bagazo y vinaza) incorporados al suelo generan un impacto negativo sobre las plantas. Por tal motivo, el compost es una alternativa para el aprovechamiento de los subproductos, el cual debe ajustarse a las exigencias de la norma técnica colombiana 5167 para su uso como biofertilizante. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del compost elaborado con diferentes combinaciones de subproductos del proceso de molienda de la caña de azúcar *Saccharum officinarum* L.). Se establecieron pilas de compostaje en el Ingenio Riopaila-Castilla, Valle del Cauca, Colombia, utilizando un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron:

100% cachaza (T1), 75% cachaza y 25% bagazo (T2), 50% cachaza y 50% bagazo (T3), 25% cachaza y 75% bagazo (T4), y 100% bagazo (T5), todos suplementados con 2 m³ de vinaza. Las variables de respuesta -pH, conductividad eléctrica, humedad, cenizas, materia orgánica, retención de humedad, relación carbono–nitrógeno, carbono orgánico oxidable total, nitrógeno total, fósforo, calcio, magnesio, potasio, hierro, cobre, manganeso y zinc- se evaluaron al momento de montar las pilas, y a los 42, 51, 59, 73 y 90 días después de iniciado el proceso. Los resultados muestran que la relación carbono-nitrógeno inicial de las mezclas es fundamental para obtener una buena calidad del compost. El T3 presentó la mejor calidad con el mayor contenido de nutrientes. El tiempo de compostaje que asegura una adecuada maduración con máximo contenido de nutrientes en el compost fue 90 días. (Bohórquez *et al.*, 2015)

El compostaje aerobio es el proceso biológico más frecuentemente utilizado para la conversión de los residuos orgánicos a un material húmico estable conocido como composta y que se utiliza como un producto mejorador de suelo. En este estudio, se compararon dos técnicas de aireación para la degradación de la materia orgánica compuesta de residuos de jardinería y cáscara de cítricos. Una fue, pila estática con aireación forzada (dos aireaciones diarias) y otra pila con el método tradicional de volteo periódico manual (dos volteos semanales). Cada pila contenía 1500 kg de residuos de jardinería y 220 kg de cáscaras de cítricos triturados. Los residuos de jardinería fueron obtenidos en el Campus de la División Académica de Ciencias Biológicas, y las cáscaras de cítricos recolectadas en una frutería de Villahermosa, Tabasco. El proceso de degradación duró 120 d. Las determinaciones analíticas de Temperatura, Humedad, pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica, Carbono Orgánico, Nitrógeno Total y Fósforo fueron según la NOM-021-RECNAT-2000. Los resultados mostraron que el comportamiento de la temperatura al final del proceso fue similar en ambos tratamientos (36 °C). La Humedad, Conductividad eléctrica, pH, Materia orgánica, Carbono orgánico, Nitrógeno, relación C/N y Fósforo finales en el tratamiento de aireación forzada fue de 57.22%, 1.73 dS m⁻¹, 7.95, 39.27%, 21.82%, 1.21%, 18.70, y 277 mg kg⁻¹ respectivamente y de 64.74%, 1.0 dS m⁻¹, 8.23, 42.80%, 23.78%, 1.46%, 16.51 y 217 mg kg⁻¹ para el volteo manual respectivamente. (Arias, 2009)

El empleo del proceso de compostaje como técnica de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos ha resultado ser beneficioso en el contexto social, económico y ambiental. Sin embargo, hay poco conocimiento de sus características físicas y químicas,

las cuales son fundamentales durante el proceso, ya que determinan su calidad y aplicabilidad. Este trabajo se enfoca en el estudio de las características físicas y químicas de un compost a base de residuos sólidos orgánicos, mediante el uso de las técnicas de análisis térmico, que permiten conocer la estabilidad térmica y la posible composición química del compost. La metodología utilizada constó de dos etapas, en la primera se realizó un proceso de compostaje donde se usaron 6 substratos orgánicos (piña, papaya, lechuga, papa, plátano y cascarilla de arroz) con los que se realizaron 4 mezclas por duplicado, y en la segunda etapa se realizaron las mediciones de las técnicas de análisis térmico (termogravimetría, Calorimetría de barrido y espectrometría de masas) al compost resultante de cada mezcla. En la información obtenida se observó que las mezclas de compost contienen lignina y hemicelulosa, y su contenido depende de la cantidad del tipo de sustrato orgánico que se utilice. También se observó que la estabilidad térmica de las mezclas de compost se compone de tres fases: deshidratación, descomposición y degradación, en las cuales se dan procesos endotérmicos y exotérmicos que se asocian a la evaporación de agua superficial y estructural del compost y a la oxidación del mismo. (Carmona, 2017)

La obtención de abonos orgánicos a partir del compostaje se puede orientar con la elección de materias primas de características adecuadas. El presente estudio se desarrolló en el Municipio de El Cerrito Valle del Cauca durante los meses de Diciembre 2016 a Junio 2017, coordenadas Long -76.316880° Lat. 3.685268° , implementa diseño completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones, con el objetivo de higienizar residuos de conchas de caracol *Melanoides tuberculata* y *Lymnaea columella* presente en la PTAP Corregimiento el Vínculo. Estableciendo 12 pilas de 80 x 80 cm usando los siguientes materiales: Sustrato orgánico, Conchas de caracoles molidas, hojas de caña (*Saccharum Officinarum* L.), Inoculo de Microorganismos eficientes (*Lactobacillus*) y Melaza, con la variante de aporte de N, Hojas leguminosas (*Leucaena Leucocephala*) para el T1, Gallinaza en el T2 y Cachaza en el T3. Pasados 112 días se evaluó las variables Temperatura, pH y Porcentaje de Humedad, mediante análisis de varianza (ANDEVA) y en los casos donde se registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) se empleó prueba de promedios de Duncan, utilizando el software estadístico SAS versión 9.2. Los resultados arrojaron que la fase termofílica se logró entre las semanas 3 y 5, siendo el pico más alto la semana 4. Durante estos quince días, el incremento de la temperatura fue hasta 57°C en T2 lo que coincidió con el aumento del Porcentaje de

Humedad y la acides del pH, logrando así higienizar gran parte de los microorganismos potencialmente patógenos asociados a las conchas de caracol (Bolaños, 2017).

Los biosólidos generados en el tratamiento de aguas residuales son un problema ambiental debido a su manejo inadecuado y disposición. Objetivo: Conocer los efectos de la variación de proporciones de los sustratos y pesos de los montículos sobre la calidad y tiempo de compostaje de biosólidos. Materiales y métodos: La mezcla de biosólidos (BS) con suelo arcilloso (SA) y estiércol degradado (ED) de equino se evaluó en las proporciones: 70:30:00, 65:30:05, 60:30:10 y 50:30:20, para determinar la proporción óptima en pilas de 250 kg y evaluarla en 500 y 2 000 kg. Los parámetros de calidad medidos fueron temperatura, pH y humedad, materia orgánica (MO), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), relación C/N, relación K/Na y fósforo (P). (Bolaños, 2015)

La primera etapa de la metodología consistió en caracterizar los lodos para determinar en contenido de humedad, cenizas, materia orgánica y contenido grasas y aceites. En la segunda etapa se llevó a cabo la digestión de los lodos para degradar las grasas y aceites, para lo cual se mezcló el lodo con estiércol a diferentes proporciones para evaluar la de mejor rendimiento en la degradación de la grasa. La siguiente etapa consistió en aplicar una de gradación aerobia (composta) a los lodos provenientes del digestor, mezclando con estiércol, forraje, aserrín, ceniza y un inóculo compuesto por leche y melaza. Cumplido el tiempo de degradación aerobia se procedió a colocar la composta en un sistema de lombricomposta, mediante el uso de lombriz Baja Californiana. Contribución: Con la metodología implementada se logró remediar los lodos provenientes de trampas de grasas y aceites mediante su conversión en abono orgánico que tiene las siguientes características: pH 6.83, Conductividad eléctrica, 0.0316 (ds m⁻¹), humedad 25.87 %, materia orgánica 56.40%, nitrógeno total (NT) 1.59%, relación carbono/nitrógeno (C/N) 20.51 y número más probable (NMP) de coliformes fecales de 11, cumpliendo con los parámetros especificados en la norma NMX-FF-109-SCFI. Biodigestión, composta, Lombricomposta (Álvarez, 2017)

Se realizó el compostaje de una mezcla de estiércol de ovino más paja. Se extrajo inóculo de 5 diferentes fases del proceso de compostaje (a los 18, 23, 28, 33 y 38 días de iniciado) y se evaluó su efecto en la reducción del tiempo de biotransformación de un compost de estiércol de ovino. Las muestras se conservaron en un ultracongelador, después se liofilizaron para obtener el inóculo y se agregaron 50g a cada tratamiento en la segunda

fase experimental. En dicha fase se establecieron seis tratamientos: C = paja (P)+estiércol de ovino (E), T1= P+E+inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje (I18), T2= P+E+I23, T3= P+E+I28, T4= P+E+I33, T5= P+E+I38, con 3 repeticiones. Estos tratamientos se colocaron en una cámara de ambiente controlado con 45% de humedad relativa y a 30°C. Al mismo tiempo, se colocaron frascos con 50g de material para medir la producción diaria y la acumulación de CO₂, la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, el nitrógeno (N), el carbono total, la relación C:N, el tamaño de partícula y la densidad aparente. La producción de CO₂ en los tratamientos T2 y T5 mostró diferencia significativa ($p \leq 0,05$) de respecto de los demás tratamientos, lo que manifiesta que el inóculo de estos tratamientos apresuró la dinámica de los microorganismos y el proceso de compostaje. La calidad y la madurez del compost se garantizan a medida que disminuye la cantidad de CO₂ (Medina *et al.*, 2017)

El frijol o judía verde (*Phaseolus vulgaris*L.) es uno de los cultivos andinos que forma parte de la dieta básica de la población rural, principalmente en la sierra del Perú. A pesar de que el país cuenta con alimentos suficientes para su población, existe una falta de disponibilidad y acceso a ellos que hacen que uno de cada cuatro peruanos padezca hambre y malnutrición crónica. En el ámbito rural esa cifra supera el 40% (ENDES, 2000). En este sentido, con el presente Trabajo Fin de Carrera se estudia la fertilización en el cultivo de frijol utilizando diferentes tipos de fertilizantes, minerales y orgánicos, para comprobar cuáles producen los mejores rendimientos y llevan un menor coste asociado. Aspecto que en definitiva, se traduce en un mayor beneficio para el agricultor. Los ensayos se han llevado a cabo en el distrito de San Juan de Castrovirreyña, región de Huancavelica. Se establecieron dos parcelas experimentales. La primera ubicada en la capital de distrito (San Juan de Castrovirreyña) en un terreno cedido por la ONGD Desco. La otra en la localidad de Quilca, en un terreno cedido por un agricultor local. Se ha ensayado con la variedad Alubia, cuya introducción en la zona ha sido reciente, pero se han obtenido buenos rendimientos en vaina verde en campañas anteriores. En general, el cultivo se llevó a cabo entre los meses de agosto y noviembre. El manejo del cultivo se realizó de forma similar a lo acostumbrado en la zona. Pero se llevó a cabo un seguimiento del cultivo en cuanto a plagas, enfermedades, condiciones climáticas, etc. A partir de estas observaciones se deciden los tratamientos fitosanitarios y riegos necesarios. Al final del cultivo se realizó la cosecha para obtener el rendimiento y también se hicieron muestreos, tales como altura y peso fresco de planta, pero sobre todo los que incumben al rendimiento

como peso fresco y seco de las vainas, longitud de vainas o peso de 100 granos. Finalmente, los resultados obtenidos muestran que, estadísticamente, ninguno de los tratamientos presentó un rendimiento superior al resto, aunque sí se muestra una tendencia de los fertilizantes químicos a conseguirlo, ya que en algunos parámetros de rendimiento como peso fresco y seco de vaina o longitud de vaina sí obtuvieron los mejores resultados. A nivel económico los fertilizantes químicos y el testigo (sin fertilización) dieron lugar a los mayores beneficios, pero con ventaja ligera frente a los orgánicos, exceptuando los tratamientos en los que se aplicó biol, cuyo coste fue muy elevado, lo que dio lugar a beneficios muchos menores (Ancín, 2011).

Se obtuvo 0.3 kg de compost ensacado por cada kilogramo de residuo sólido orgánico utilizado en la ruma inicial, generando 25.7 Kg de Residuos que no se llegaron a descomponer del total, en 43 días. El diagrama de flujo de la planta de Compostaje VECS esta adecuado en función de las actividades que se realizan para obtener el compost. Al finalizar el proceso de compostaje el pH alcanzado a los 43 días fue de 7.4. Los rangos de temperatura fueron de 28.4°C a 30.6°C (Etapa de latencia), 30.6°C a 42.2°C (Etapa meso térmica I), 42.2°C a 75.3°C (Etapa termo génica) y por ultimo descendió hasta alcanzar los 41.1 °C (Etapa mesotérmica II). La humedad relativa no fue estable pero esta se mantuvo en un rango de 70% y 80% (Robles, 2015)

La Humedad en un rango de 45-60%. Temperatura entre 35-45 °C en la fase mesófila, entre 45-70 °C en la fase termófila y entre 35-45 °C en la fase de enfriamiento, el pH comprendido entre 4.5-8.5, Relación C/N fue de 35:1. Si fuese mayor, el proceso de compostaje sería demasiado lento; en sentido contrario, se incrementa el calor, liberando amoníaco (Santiago, 2017).

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

El aumento en la generación de residuos sólidos asociado al crecimiento poblacional y la globalización que genera cultura consumista; ha llevado a la aplicación de tecnologías apropiadas para la disposición final de residuos sólidos que permitan un control racional de los impactos producidos por los residuos, sin que se ponga en alto riesgo el medio ambiente y la salud pública. Los residuos orgánicos presentan problemas específicos, relacionados con su recojo, transporte, acondicionamiento previo a su incorporación a los suelos, técnicas de aplicación, dosificación y también el control de los efectos que producen. En el proceso de compostaje se pueden distinguir dos fases: descomposición y maduración o estabilización. Durante la descomposición la materia orgánica residual es transformada en moléculas más simples con desprendimiento de energía. Estas moléculas más sencillas serán transformadas en moléculas más complejas formando la materia orgánica estable. De esta manera, se puede decir que lo que se desea en el compostaje es imitar el proceso de estabilización natural de la materia orgánica, pero de manera más rápida, para que pueda ser una solución viable para reciclar gran parte de los residuos orgánicos producidos. En el compostaje se quiere obtener una materia orgánica de calidad con aplicación agrícola que, por lo tanto, tendrá que cumplir con las garantías sanitarias y fitosanitarias correspondientes. (Martínez, 2011).

Durante el proceso de compostaje los microorganismos transforman el residuo orgánico en presencia de oxígeno, CO₂, H₂O y un producto estabilizado que es el compost. Por lo tanto la disponibilidad de una cantidad adecuada de oxígeno es de gran importancia para el buen desarrollo del proceso, es decir de la actividad de los microorganismos que se

lleva a cabo. Si tenemos en cuenta que en el proceso de compostaje, los responsables o agentes de la transformación son los microorganismos. Todos aquellos factores que pueden limitar su vida y desarrollo lo serán del propio proceso. (Mariño, 2012).

El Plan Decenal de Saneamiento Básico 2011 – 2020, indica como uno de los objetivos los objetivos generales “Incrementar el acceso y la sostenibilidad de los servicios de agua, saneamiento y residuos sólidos, aplicando prácticas de uso y aplicando prácticas de manejo eficiente, particularmente de las zonas rurales y peri-urbanas; contribuyendo a elevar la calidad de vida de la población”, para lo que define como líneas de acción “Propiciar la reducción de generación de residuos sólidos; diseñar, gestionar, implementar sistemas de reciclaje de estos; y propiciar la participación intersectorial en la gestión de residuos sólidos con salud y medio ambiente” por lo que en base a estos lineamientos el presente proyecto propone la producción de compost a partir de residuos sólidos orgánicos de mercado y matadero. Las Organizaciones No Gubernamentales (ONG’s) y varios organismos internacionales comenzaron a ampliar su interés en nuestro país por invertir en proyectos de manejo apropiado de desechos sólidos que permitan mejorar los sistemas de recolección y transporte actuales, mejorar la infraestructura para la disposición final de los desechos mediante la construcción de rellenos sanitarios y otras metodologías no contaminantes que permitan generar también fuentes de trabajo con baja inversión. En la actualidad también ha crecido el número de proyectos que buscan la implementación de un componente más al sistema: el aprovechamiento y valorización de los desechos, ampliando las cadenas de reciclaje, recuperación y reutilización de material es orgánicos e inorgánicos, es decir, que permitan convertir los desechos en recursos (R en R2). (Parra, 2011).

2.2 Enunciados del problema

2.2.1 Problema general

¿Cuál es la variación de la temperatura, pH, % de humedad y % de residuos sólidos orgánicos (frutas de temporada -verduras) y digesta de animales de camal para obtener el compost con una relación C/N entre 25-30?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la variación de la temperatura, pH y porcentaje de humedad en el proceso de compostaje por 16 semanas en cinco lotes en los periodos de abril a julio del 2016 y los meses de agosto a noviembre del 2017?
- ¿Cuál es el porcentaje de residuos sólidos orgánicos y digesta de animales para obtener en el proceso de compostaje por 16 semanas en cinco lotes en los periodos de abril a julio del 2016 y los meses de agosto a noviembre del 2017 compost con una relación C/N entre 25 a 30?

2.3 Justificación

En la ciudad de Puno los residuos sólidos municipales generan una contaminación ambiental y es un problema que hasta estos días no tiene solución, en la ciudad de Puno estos son de 93.14 toneladas diarias, mientras que los residuos compostables son el 64.18% lo que equivale a 59.77 toneladas diarias, la Universidad Nacional de Altiplano Puno con un comedor que alberga a 2000 comensales genera residuos sólidos compostables de 1.38 toneladas diarias. Los residuos sólidos del camal son portadores de poblaciones microbianas que inciden negativamente en la salud humana y animal, constituyendo un riesgo e trata de bacterias, virus y hongos, en el camal del Calvario de la Ciudad de Puno donde se sacrifican 100 animales diarios produciendo 300.00 kilogramos de digesta de animales de camal o rumen el cual es el residuo que ocasiona mayores problemas porque se descompone rápidamente generando un desagradable olor. (PIGARS, 2013-2018)

La contaminación ambiental por residuos sólidos orgánicos es uno de los problemas más apremiantes que confrontamos autoridades y población en general, como consecuencia de una serie de factores económicos, sociales e institucionales, siendo los principales la migración rural y la falta de una cultura ambiental. Puno luego de haber sido considerada como una de las ciudades más limpias del país, hasta los años setenta del siglo pasado, se podría decir hoy que es una de las ciudades con mayores problemas causados por residuos sólidos inadecuadamente manejados, quedan sin tratamiento alguno. (Martínez, 2011).

Por tales razones se debe otorgar como primera prioridad a la solución de este problema que además genera múltiples riesgos de salud ambiental para sus habitantes, especialmente para los niños; se debe dar cumplimiento a la Ley General de Residuos

Sólidos Ley 27314. Los impactos ambientales que ocasionan los centros de beneficio animal están asociados principalmente al inadecuado manejo y disposición de los subproductos (rumen, estiércol y sangre), los cuales son (con pocas excepciones) enterrados o dirigidos a los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ocasionando el colmatado de los mismos y una alta carga contaminante en las aguas residuales generadas durante las labores productivas, las cuales son vertidas a fuentes hídricas cercanas a estos centros; razones como éstas, ocasionan que actualmente la mayoría de estos centros se encuentren en riesgo de cierre por parte de las autoridades ambientales y organismos de control y vigilancia. Por este motivo, es necesario desarrollar programas y proyectos que apunten a identificar sistemas de gestión ambiental que permitan a los centros de beneficio animal obtener soluciones socioeconómicamente viables a su situación ambiental, a través de estrategias de Producción Más Limpia, entendiéndose éstas, según lo define el Programa Ambiental de las Naciones Unidas -PNUM-, como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, a los productos y a los servicios para aumentar la eficiencia total y reducir los riesgos a los seres humanos y al ambiente, redundando de este modo, en una mayor competitividad.

El hombre empezó a utilizar las materias primas de una forma desordenada, con la excusa de explotar los recursos naturales para ganar mayores beneficios, el que produce más basura es más feliz, apareciendo el consumismo y el derroche. Esto ha producido la proliferación de insectos, roedores y microorganismos patógenos, trayendo como consecuencia enfermedades catastróficas para el hombre como la peste. El problema es educación y cultura. Además, supone que cada día debemos destinar áreas más extensas de nuestros suelos a la basura; o que arrojemos miles de toneladas de desperdicios al fondo del mar, lagos, ríos, etc. contaminando así este recurso natural que es la fuente de la vida y que es patrimonio de toda la humanidad.

La presencia de contaminantes en un suelo se refleja de forma directa sobre la vegetación induciendo su degradación, la reducción del número de especies presentes en ese suelo, y más frecuentemente la acumulación de contaminantes en las plantas, sin generar daños notables en estas. En el hombre, los efectos se restringen a la ingestión y contacto dérmico, que en algunos casos desembocan en intoxicaciones por metales pesados y más fácilmente por compuestos orgánicos volátiles o semivolátiles. La influencia de la contaminación de suelos sobre su calidad y sostenibilidad: el suelo es un recurso natural no renovable, al menos en una escala de tiempo. Tenemos por tanto la obligación de

mantenerlo y conservarlo para generaciones presentes y futuras. Esto implica la necesidad de adaptarlo a diversos usos (agricultura, bosque, suelo urbano, industria), aunque tendiendo hacia una “sostenibilidad” de dicho recurso natural, de manera ordenada y controlada. (Labrador, 2012)

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Determinar la variación de la temperatura, pH, porcentaje de humedad durante dieciséis semanas y óptimos de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y digesta de animales de camal para obtener un compost con una relación C/N óptima entre 25-30.

2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la variación de la temperatura, pH y porcentaje de humedad durante el proceso de compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y digesta de animales de camal en Puno, durante dieciséis semanas.
- Determinar los % óptimos de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y digesta de animales de camal para obtener un compost con una relación C/N óptima entre 25-30.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

En el proceso de compostaje la temperatura, pH, % de humedad y % de residuos sólidos orgánicos (frutas de temporada -verduras) y digesta de animales de camal tienen efecto en la obtención de un compost con una relación C/N entre 25-30.

2.5.2 Hipótesis específicas

- En el proceso de compostaje la temperatura, pH y porcentaje de humedad varían durante las 16 semanas en cinco lotes en los periodos de abril a julio del 2016 y los meses de agosto a noviembre del 2017.
- En el proceso de compostaje el porcentaje de residuos sólidos orgánicos y digesta de animales por 16 semanas en cinco lotes en los periodos de abril

a julio del 2016 y los meses de agosto a noviembre del 2017 son importante para lograr un compost con una relación C/N entre 25 a 30.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

El área de estudio fue la ciudad de Puno, distrito, provincia y región Puno, ubicada al sureste del Perú, limita por el Norte con el departamento de Madre de Dios; al Este con el País de Bolivia; por el Sur con el departamento de Tacna y por el Oeste con Moquegua, Arequipa y Cusco. La temperatura en Puno en verano es de 15 a 22°C en invierno de 5° a 16°, es una de las ciudades más frías del altiplano.

3.2 Muestra

Para determinar la variación en los cinco lotes de sembrado de compost, los datos de las variables de temperatura, pH y porcentaje de humedad fueron determinados en muestras semanales tomados manualmente con un guante protector durante dieciséis semanas.

3.3 Métodos de investigación

El tipo de investigación según su estado corresponde al tipo explicativo experimental, las variables dependientes fueron la temperatura, pH, porcentaje de humedad y compost de buena calidad y las variables independientes fueron residuos sólidos orgánicos (apio, poro, zanahoria, lechuga, tomate, papa, cebolla, habas cascara de: naranja, mandarina, lima, papaya, piña, limón, pera, manzana) y digesta de animales de camal (vacunos).

3.4 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos.

Determinar la variación de la temperatura, pH y porcentaje de humedad durante el proceso de compostaje

Se obtuvo permiso del Vicerrectorado de Investigación para poder adecuar las instalaciones en la azotea del Mega laboratorio de la UNA, Puno en los años 2016 y 2017, las muestras de sólidos orgánicos se obtuvieron del comedor universitario, mientras que la digesta del camal del Calvario de la Ciudad de Puno. El muestreo se realizó en los periodos de abril a julio del 2016, para lo cual se construyó una plataforma de madera que se cubrió con una plásticos donde se sembró el compost sobre plástico, el ancho de cada tratamiento fue de 1 m, 0.5 m de separación entre tratamientos y se realizó el sembrado de compost a cielo abierto.

En el tratamiento 1 se mezcló 30% de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y 70 % digesta de animales de camal, en el tratamiento 2 la mezcla fue 40% de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y 60 % digesta de animales de camal, en el tratamiento 3 la mezcla fue 50% de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y 50 % digesta de animales de camal, en el tratamiento 4 se mezcla 60% de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y 40 % digesta de animales de camal, en el tratamiento 5 la mezcla fue de 70% de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y 30 % digesta de animales de camal, mezclados de acuerdo a la tabla 4. La temperatura, pH y el % de humedad se midió durante 16 semanas y la concentración de nitrógeno y carbono se analizó en el Laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano, el volteando las pilas fue cada semana, en forma manual empleando una espátula grande.

Su replica que se realizó en los periodos de agosto a noviembre del 2017, para lo cual se construyó una caseta de 9 m de largo, 5 m de ancho con una altura de 2.20 m sobre una plataforma de mesa de madera cubriéndose con un plástico y rafia para proteger las mesas, se realizó el sembrado de compost en las mismas proporciones de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y digesta de animales de camal, que en el periodo anterior, el volteando las pilas fue cada semana, en forma manual empleando una espátula grande.

Determinación de temperatura

Para registrar los datos de temperatura se necesitó la ayuda de un termómetro digital, con la cual se obtuvieron datos de manera continua, se elaboró una ficha donde se apuntaron tanto los registros de temperatura.

Determinación del pH

Para el registro de datos de pH se obtuvo 50 g de muestra, la cual fue diluida en una relación de volumen (que ocupa los 50 g de compost)/volumen (agua bidestilada) igual a 1/1, y con la ayuda de un pH metro digital portátil se procedió a registrar los datos.

Determinación del porcentaje de humedad

Para esta determinación del porcentaje de humedad se pesaron 5 g de las diferentes muestras de los lotes y se depositaron en bolsas de papel kraft debidamente pesados y rotulados, y colocarlas las bolsas en el horno de secado a 80°C durante 24 horas, luego de las cuales se volvieron a pesar. El porcentaje de humedad se determinó por medio de la ecuación propuesta por Aguilera y Vélez (2001).

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} * 100$$

Determinación de los % óptimos de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y digesta de animales de camal para obtener un compost con una relación C/N entre 25-30.

La relación C/N, se determinaron, al término de las 16 semana de fermentación completa cuando el compost ya estuvo listo de cada uno de los cinco tratamientos, cuyo análisis se realizó en el Laboratorio de Análisis de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química.

La determinación del nitrógeno se realizó por El método digestión Kjeldahl, El método Dumas, en química analítica, es un proceso de análisis químico para determinar el contenido en nitrógeno de una sustancia química. Se basa en un método inicialmente descrito por (Jean-Baptiste Dumas, 1826) el cual que se realizó en las siguientes etapa:

Digestión: conversión del Nitrógeno (proveniente de las proteínas) en ion amonio mediante calentamiento a una temperatura de 400° C aproximadamente, en bloque de digestión con adición previa de ácido sulfúrico y catalizador (sulfato de cobre (II)), que desencadenan la conversión del nitrógeno de la muestra en amonio.

Destilación: separación por arrastre con vapor del amoníaco y posterior solubilización en una solución ácida de concentración conocida. En esta etapa se adiciona NaOH a la disolución de amonio obtenida previamente, generándose NH₃ y vapor de agua, que arrastra al mismo. La solubilización posterior en la solución ácida permite la conversión de NH₃ a catión amonio, el cual se encuentra junto con el exceso de solución ácida añadido. El NH₃ puede recogerse sobre dos medios: ácido fuerte en exceso de concentración conocida, o bien, ácido bórico en exceso medido.

Valoración: medición de la cantidad de ácido neutralizado por el amoníaco disuelto, lo que indica la cantidad de Nitrógeno presente en la muestra inicial. Según el medio de recogida en la destilación, el amonio se valora de dos formas: recogida sobre ácido bórico en exceso medido: se emplea un ácido y el indicador rojo metilo.

Según (Claudia Santibáñez V, 2002). La determinación de carbono se realizó en los siguientes pasos: Pesar en cada crisol una cantidad de muestra de 5 g. Introducir las muestras en la mufla y calcinar a 600 °C por 2 horas. Terminada la calcinación, trasladar los crisoles al desecador. Pesar nuevamente los crisoles y registrar el peso luego se realizó los cálculos:

$$\% \text{ Materia orgánica} = ((A - B)/A) * 100$$

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \% \text{ M.O.} * 1,724$$

Donde

A = peso muestra, B = peso muestra calcinada a 600 °C y Luego se cuantifica la relación C/N, cuyo control de calidad cuyos resultados se certifican, en los correspondientes certificados de análisis.

Tabla 4
Variación de residuos sólidos orgánicos y digesta de animales de camal.

Tratamientos	Residuos solidos		Digesta de animales de camal		Total	Peso total
	%	kg	%	kg	%	kg
T 1	30	2.4	70	5.6	100	8
T2	40	3.2	60	4.8	100	8
T3	50	4.0	50	4.0	100	8
T4	60	4.8	40	3.2	100	8
T5	70	5.6	30	2.4	100	8
		20.0		20		

3.5. Análisis estadístico

La información obtenida fue expresada en medidas de tendencia central (media) y de dispersión (desviación estándar, coeficiente de variabilidad y valores extremos).

Diseño experimental

Los datos de la variación de temperatura, pH y humedad fueron analizados en un diseño bloque completo al azar con subunidades por tratamiento (dieciséis semanas), siendo el modelo aditivo lineal el siguiente

$$Y_{i(jk)} = \mu + t_{i(jk)} + B_{j(ik)} + S_{k(ij)} + \xi_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{i(jkl)}$ = Variable respuesta

μ = Promedio general

$t_{i(jk)}$ = Tratamientos de 1 al 5

$B_{j(ik)}$ = Bloques (I y II periodos)

$S_{k(ij)}$ = k-esima semana (1 al 16).

ξ_{ijkl} = Error experimental.

Los datos de la relación C/N óptimos considerando lotes fueron analizados en un diseño bloque completo al azar, siendo el modelo aditivo lineal el siguiente:

$$Y_{i(jk)} = \mu + t_{i(jk)} + B_{j(ik)} + \xi_{ijk}$$

Donde:

$Y_{i(jk)}$ = Variable respuesta

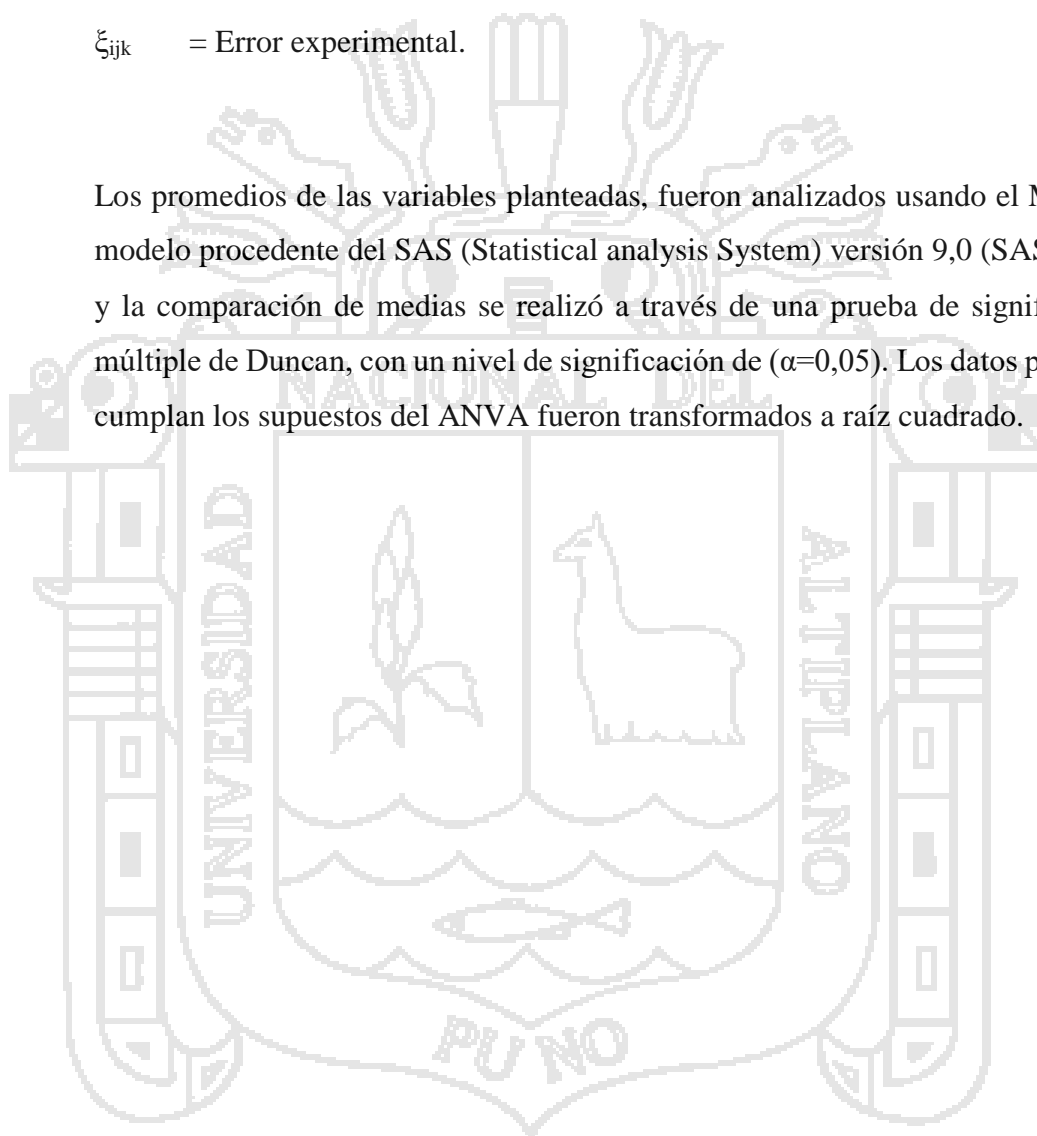
$t_{i(jk)}$ = Tratamientos de 1 al 5

μ = Promedio general

$B_{j(ik)}$ = Bloques (I y II periodos)

ξ_{ijk} = Error experimental.

Los promedios de las variables planteadas, fueron analizados usando el MIXED modelo procedente del SAS (Statistical analysis System) versión 9,0 (SAS 2008) y la comparación de medias se realizó a través de una prueba de significancia múltiple de Duncan, con un nivel de significación de ($\alpha=0,05$). Los datos para que cumplan los supuestos del ANVA fueron transformados a raíz cuadrado.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variación de la temperatura

4.1.1 Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.

En la tabla 5, se muestra la variación de la temperatura en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.



Tabla 5
Variación de la temperatura (°C) en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.

Semanas	Abril-Julio			Agosto-Noviembre			Promedio ±EE
	Prom. ±DS	Valor extremo		Prom. ±DS	Valor extremo		
		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.	
Primera	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	11,40 ± 0,55	11,00	12,00	11,70 ± 0,15 ^k
Segunda	40,80 ± 0,84	40,00	42,00	41,00 ± 1,00	40,00	42,00	40,90 ± 0,28 ^{de}
Tercera	45,60 ± 0,89	45,00	47,00	43,20 ± 1,48	41,00	45,00	44,40 ± 0,54 ^c
Cuarta	50,60 ± 0,89	50,00	52,00	59,20 ± 0,84	58,00	60,00	54,90 ± 1,46 ^a
Quinta	55,60 ± 0,89	55,00	57,00	55,40 ± 3,13	50,00	58,00	55,50 ± 0,69 ^a
Sexta	50,20 ± 0,45	50,00	51,00	46,80 ± 5,89	40,00	53,00	48,50 ± 1,37 ^b
Séptima	45,20 ± 0,45	45,00	46,00	42,20 ± 8,44	32,00	48,00	43,20 ± 1,90 ^{de}
Octava	40,20 ± 0,45	40,00	41,00	38,00 ± 6,96	30,00	45,00	39,10 ± 1,52 ^e
Novena	35,40 ± 0,55	35,00	36,00	34,80 ± 4,87	29,00	39,00	35,10 ± 1,04 ^f
Decima	30,60 ± 0,89	30,00	32,00	29,20 ± 2,17	26,00	32,00	29,90 ± 0,55 ^g
D. primera	25,40 ± 0,55	25,00	26,00	26,60 ± 2,51	23,00	29,00	26,00 ± 0,58 ^h
D. segunda	20,20 ± 0,45	20,00	21,00	24,40 ± 1,82	22,00	26,00	22,30 ± 0,80 ⁱ
D. tercera	15,40 ± 0,55	15,00	16,00	21,60 ± 2,61	18,00	24,00	18,50 ± 1,18 ^j
D. cuarta	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00 ^k
D. quinta	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00 ^k
D. sexta	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00 ^k
Prom. ± EE	31,45 ± 2,00^a	12,00	57,00	31,80 ± 2,01^a	12,00	60,00	31,63 ± 0,10

Las letras diferentes señalan diferencia estadística (p ≤ 0,05)

La temperatura es uno de los factores que influye de forma crítica en la velocidad de descomposición de la materia orgánica durante el compostaje, tal como refieren Apaza *et al.* (2015). La temperatura de inicio fue de $11,70 \pm 0,15$; Kelsy y Minaya (2013) reportan una temperatura inicial de 12°C ; Arias *et al.* (2009) en un lote estática con aireación reporta una temperatura de inicio de 15°C . La temperatura inicial generalmente es la temperatura ambiente.

La fase mesofila inicial corresponde hasta la tercera semana ($44,40 \pm 0,54^{\circ}\text{C}$); Viteri *et al.* (2016) citan en la fase mesófila 45°C ; Gordillo *et al.* (2011) reporta como la temperatura inicial fue de 45°C ; Santiago (2017) quien cifra una **temperatura** entre $35-45^{\circ}\text{C}$ en la fase mesófila; Oviedo *et al.* (2014) para la fase mesofílica de 40°C ; Robles *et al.* (2015) reporta rangos de temperatura en la etapa de latencia, $30,6^{\circ}\text{C}$ a $42,2^{\circ}\text{C}$; Rojas y Zeledón (2007) al realizar la pasteurización de abono la misma que se logró a temperaturas entre 45°C ; Chiumenti *et al.* (2005) y Guo *et al.* (2012) al evaluar del proceso de compostaje, la temperatura llegó a la temperatura inicial de 45°C ; Mariño (2012). mesófilos se multiplican rápidamente, como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura a 40°C .

La fase termofila corresponde a la quinta semana ($55,50 \pm 0,69^{\circ}\text{C}$), Viteri *et al.* (2016) en la fase termófila la temperatura fue superior a 60°C , Kelsy y Minaya (2013) la temperatura a 60°C a los 40 días; Arias *et al.* (2009) con incremento de la temperatura a 70°C a los 120 días, Bolaños (2017) reporta que la temperaturas en la fase termofílica máxima la semana fue hasta 57°C ; Gordillo *et al.* (2011) alcanzo la temperatura más elevada de 60°C ; Santiago (2017) quien cifra una **temperatura** entre $45-70^{\circ}\text{C}$ en la fase termófila; Oviedo *et al.* (2014) la fase termofílica de 60°C ; Robles *et al.* (2015) en la etapa meso térmica I, $42,2^{\circ}\text{C}$ a $75,3^{\circ}\text{C}$; particular Rojas y Zeledón (2007) se logró a temperaturas entre 45°C y 50°C por un tiempo prolongado; Bolaños (2017) en 12 lotes la fase termofílica se logró el incremento de la temperatura fue hasta 57°C ; Mariño (2012).

El promedio de la temperatura en el proceso de compostaje fue de $31,63 \pm 0,10^{\circ}\text{C}$, entre los meses de abril-julio de $31,45 \pm 2,00^{\circ}\text{C}$ y agosto-noviembre de $31,80 \pm 2,01^{\circ}\text{C}$, al análisis estadístico sin diferencia ($P > 0,05$); la temperatura en la primera semana fue mínima ($11,70 \pm 0,15^{\circ}\text{C}$) y máximas entre la cuarta ($54,90 \pm$

1,46 °C) y quinta semana (55,50 ± 0,69 °C), disminuyendo hacia la decima sexta semana (12,00 °C), al analisis de variancia con diferencia altamente significativa (P ≤0,01).

4.1.2 Variación de la temperatura por lote en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre 2017.

En la tabla 6, se muestra la temperatura por lote en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.

Tabla 6
Temperatura promedio (°C) por tratamientos en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.

TRAT AMIE NTOS	Abril-Julio		Agosto-Noviembre				
	Prom. ±EE	Valor extremo		Prom.± EE	Valor extremo		Prom ±EE
		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.	
T 1	31,13 ± 3,94	12,00	55,00	30,19 ± 3,63	11,00	60,00	30,66 ± 2,64 ^a
T 2	31,31 ± 3,97	12,00	55,00	29,25 ± 3,77	11,00	57,00	30,28 ± 2,70 ^a
T 3	31,56 ± 3,98	12,00	56,00	32,81 ± 4,14	12,00	60,00	32,19 ± 2,83 ^a
T 4	31,94 ± 4,04	12,57	52,00	33,63 ± 4,08	12,00	59,00	32,78 ± 2,83 ^a
T 5	31,31 ± 3,98	12,00	55,00	33,13 ± 4,21	11,00	59,00	32,22 ± 2,86 ^a

El promedio de temperatura (°C) en el tratamiento uno fue de 30,66 ± 2,64 °C, en el tratamiento dos de 30,28 ± 2,70 °C, tratamiento tres de 32,19 ± 2,83 °C, tratamiento cuatro de 32,78 ± 2,83 °C y tratamiento cinco de 32,22 ± 2,86 °C, al análisis estadístico no hay diferencia entre lotes (P >0)

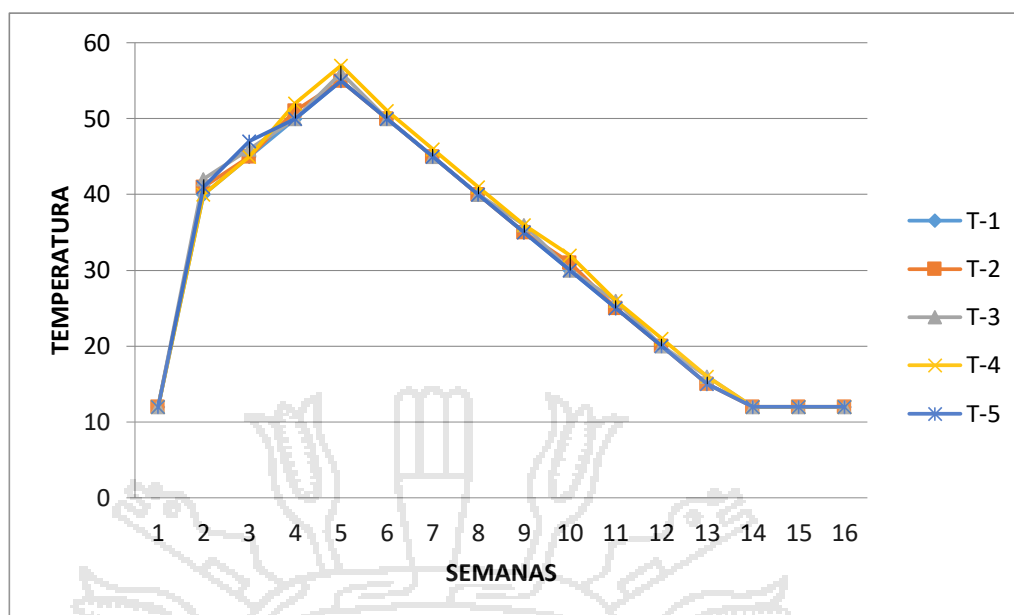


Figura 1. Variación de la temperatura en el compostaje entre los meses abril-julio 2016.

En la figura 1, se observa la variación de la temperatura mesófila promedio desde 12°C a 40.8 °C, la variación de temperatura termófila promedio fue de 40.8°C a 55.6°C en el sembrado en un ambiente en comun para las 5 tratamientos

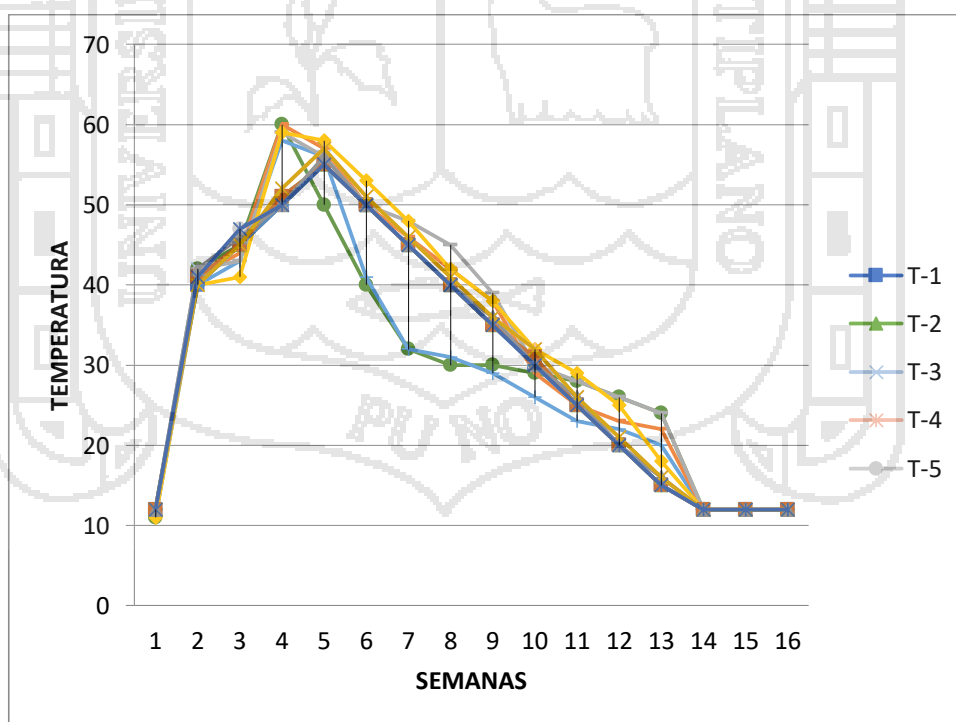


Figura 2. Variación de la temperatura en el compostaje entre los meses agosto-noviembre 2017

En la figura 2, se observa la variación de la temperatura mesófila promedio entre 11.4°C a 41 °C, la variación de temperatura termófila promedio fue de 41°C a 59.20°C, el sembrado en un ambiente en comun para los 5 lotes.

En el proceso de compostaje inicialmente todo el material está a la misma temperatura, pero al crecer los microorganismos se genera calor aumentando la temperatura, el síntoma más claro de la actividad microbiana es el incremento de la temperatura de la masa que está compostando, por lo que la temperatura ha sido considerada tradicionalmente como una variable fundamental en el control del compostaje tal como señalan Liang *et al.* (2003); Miyatake *et al.* (2006). La evolución de la temperatura representa muy bien el proceso de compostaje, pues se ha comprobado que pequeñas variaciones de temperatura afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios de la humedad, pH o C/N. Por la evolución de la temperatura se puede juzgar la eficiencia y el grado de estabilización a que ha llegado el proceso, ya que existe una relación directa entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica. Asimismo, existe una relación directa entre la degradación y el tiempo durante el cual la temperatura ha sido alta. A veces la temperatura puede llegar a ser tan alta que inhibe el crecimiento de los propios microorganismos, conociéndose este fenómeno como suicidio microbiano.

4.2 Variación del pH en el proceso de compostaje

4.2.1 Variación del pH en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.

En la tabla 7, se muestra la variación del pH en el proceso de compostaje en el muestreo en los periodos abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.

Tabla 7
Variación del pH (UpH) en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.

Semana	Abril-Julio			Agosto-Noviembre		
	Prom. ±DS	Valor extremo Mín.	Máx.	Prom.± DS	Mín.	Máx.
Primera	5,06 ± 0,04	5,01	5,12	5,14 ± 0,07	5,03	5,23
Segunda	6,56 ± 0,02	6,53	6,58	5,15 ± 0,04	5,11	5,19
Tercera	7,08 ± 0,01	7,06	7,10	5,76 ± 0,41	5,28	6,17
Cuarta	7,55 ± 0,01	7,53	7,57	5,94 ± 0,33	5,52	6,25
Quinta	7,85 ± 0,02	7,83	7,87	6,39 ± 0,50	5,82	6,93
Sexta	8,05 ± 0,02	8,02	8,07	6,57 ± 0,43	5,97	6,99
Séptima	9,02 ± 0,02	9,00	9,04	6,81 ± 0,35	6,23	7,11
Octava	9,46 ± 0,02	9,45	9,49	7,09 ± 0,38	6,58	7,55
Novena	9,77 ± 0,01	9,76	9,78	7,45 ± 0,56	6,93	8,23
Decima	9,94 ± 0,02	9,93	9,98	7,59 ± 0,58	7,05	8,36
D. primera	10,02 ± 0,01	10,01	10,04	7,96 ± 0,76	7,15	8,36
D. segunda	10,15 ± 0,01	10,14	10,16	8,12 ± 0,72	7,36	8,88
D. tercera	10,22 ± 0,01	10,21	10,23	8,38 ± 0,51	7,87	8,97
D. cuarta	10,24 ± 0,01	10,23	10,25	8,64 ± 0,39	8,23	9,06
D. quinta	10,26 ± 0,01	10,25	10,27	8,89 ± 0,29	8,46	9,18
D. sexta	10,29 ± 0,00	10,29	10,29	9,10 ± 0,11	8,98	9,23
Prom. ± DS	8,85 ± 1,58^a	5,01	10,29	7,20 ± 1,54^b	5,03	9,23

Las letras diferentes señalan diferencia estadística ($p \leq 0,05$).

El pH mínimo en el periodo de abril a julio 2016 fue de 5.01 UpH, mientras que en el periodo agosto a noviembre 2017 fue de 5.03; López (2017) quien en el proceso de compostaje dio un pH mínimo fue 5,2 UpH; similar a los reportados por Apaza *et al.* (2015) y Benito *et al.* (2005) considera que el pH fue de 6.5; Santiago (2017) quien reporta valores mínimo de 4,5 UpH; Bohórquez *et al.* (2014). Respecto al pH, todos los tratamientos se encuentran al inicio a 4 UpH;

El pH máximo en el periodo de Abril a Julio 2016 fue de 10.29 UpH, mientras que en el periodo Agosto a Noviembre 2017 fue de 9.23 UpH; los resultados están dentro de los reportados por Gordillo *et al.* (2011) cuyos valores óptimos de 8 a 8,50; López (2017) quien en el proceso de compostaje dio un pH mayor fue 8,7 UpH; similar a los reportados por Apaza *et al.* (2015) y Benito *et al.* (2005) considera que el pH el proceso que fue de 8.5; Arias *et al.* (2009) quien reporta un pH en el proceso de compostaje de 9, 36 UpH; Bolaños (2017) reporta un pH máximo durante el compostaje de 9,72 UpH; Bolaños (2017) reporta un pH máximo durante el compostaje de 9,72 UpH; Robles *et al.* (2015) quien cifra valores de pH a los 43 días (sexta semana) de 7.4 UpH; Santiago (2017) quien reporta valores máximos de 8.5 UpH; Bolaños (2017) 9,72 UpH. Arias *et al.* (2009) quien reporta un pH máximo fue 9, 36 UpH; Bohórquez *et al.* (2014). Respecto al pH, al final de todos los tratamientos se encuentran a 9 UpH.; Gordillo *et al.* (2011) el pH óptimo de 8 a 8.5 aunque finalizó elevado 9 a 9.5; Hoyos *et al.* (2010) final un pH de 9,49 a 10,16.

En todas las investigaciones se inicia el proceso de compostaje en un medio ácido, donde da un medio adecuado para que se reproduzcan los microorganismos, a medida que se incrementa el pH y T se da la muerte de los microorganismos luego el pH se vuelve básico hasta el fin del compostaje.

El pH fluctuó en el periodo de Abril a Julio 2016 entre $8,85 \pm 1,58^a$ UpH, mientras que en el periodo Agosto a Noviembre 2017 fue de $7,20 \pm 1,54^b$ UpH ($P \leq 0,05$). Álvarez (2017) quien cifra valores de pH promedio de 6.83 UpH; Apaza *et al.* (2015) que fue $9,70 \pm 0,63$ UpH,

4.2.2 Variación del pH por lote en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.

En la tabal 8, se muestra los promedios de pH (UpH) por lote en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.

Tabla 8
pH (UpH) por tratamientos en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.

TRATAMIE NTOS	Abril-Julio			Agosto-Noviembre			Prom ±EE
	Prom. ±EE	Valor extremo		Prom.± EE	Valor extremo		
		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.	
T 1	8,84 ± 0,40	5,12	10,29	7,61 ± 0,36	5,11	9,23	8,22 ± 0,29^a
T 2	8,84 ± 0,41	5,01	10,29	7,52 ± 0,34	5,13	9,15	8,18 ± 0,29^a
T 3	8,85 ± 0,40	5,09	10,29	7,18 ± 0,32	5,17	9,15	8,02 ± 0,29^a
T 4	8,85 ± 0,40	5,08	10,29	6,79 ± 0,53	5,03	8,98	7,86 ± 0,40^a
T 5	8,85 ± 0,40	5,10	10,29	6,88 ± 0,30	5,16	9,01	7,87 ± 0,30^a

El promedio de pH (UpH) en el tratamiento uno fue de $8,22 \pm 0,29$ UpH, en el tratamiento dos de $8,18 \pm 0,29$ UpH, tratamiento tres de $8,02 \pm 0,29$ UpH, tratamiento cuatro de $7,86 \pm 0,40$ UpH y tratamiento cinco de $7,87 \pm 0,30$ UpH, al análisis estadístico no hay diferencia entre lotes ($P > 0,05$), lo que sugiere que la composición de los lotes no influye en el pH promedio.

Respecto al pH, todos los tratamientos se encuentran dentro del rango de 4 a 9 como lo exige la norma tal como refieren Bohórquez *et al.* (2014). Los valores promedio de pH en los cinco lotes están dentro de los reportados por Gordillo *et al.* (2011) quienes con la finalidad del aprovechamiento de los residuos azucareros de forma técnicamente viable por medio de la producción y evaluación del proceso de compostaje, el pH para el proceso fue el óptimo de 8 a 8.5 aunque finalizó elevado 9 a 9.5 y ligeramente superiores a los reportados por Ferrer *et al.* (1993) en la producción de compostaje a partir de desechos de uva con adición de gallinaza, con variación del índice de hidrogeno durante el proceso, al primer día de 3,37 y el día 25 de 7,39.

Valores inferiores fueron citados por Yañez *et al.* (2007) quienes evaluaron la etapa de descomposición rápida del proceso en los aspectos técnico y ambiental

del compostaje de residuos a través de un proceso de alta temperatura, denominado compostaje en silos hiperventilados (CSH), reportando valores de pH al primer día de 6,5 y al décimo día 4,7.

Los resultados son superiores a los citados por Hoyos *et al.* (2010) quienes al evaluar el proceso de compostaje de gallinaza de ave de jaula y el efecto de la mezcla con diferente proporciones de material celulósico sobre la composición química y física, bajo un proceso de fermentación en fila móvil reporta para el producto final un pH de 9,49 a 10,16.

Sobre el particular los resultados se encuentran dentro de las condiciones ideales para el desarrollo del proceso de compostaje, parámetro aceptable de pH de 5,5 a 9,0 y 6,5 a 8,0, reportados por Pace *et al.* (2002) y Soto y Meléndez (2003).

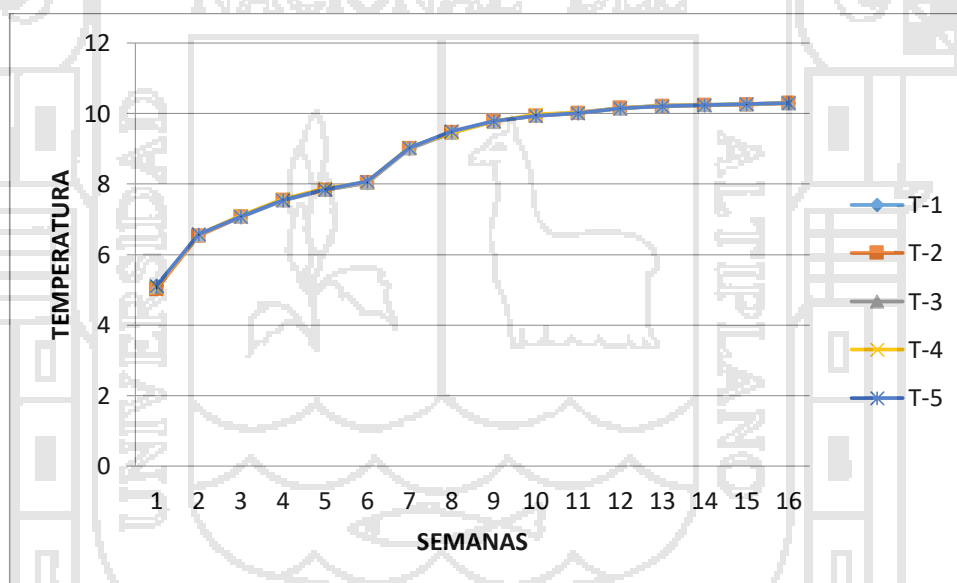


Figura 3. Variación del pH en el compostaje abril-julio 2016

En la figura 3, se observa la variación del pH desde 5.01 hasta 10.29 en cada uno de los 5 TRATAMIENTOS .

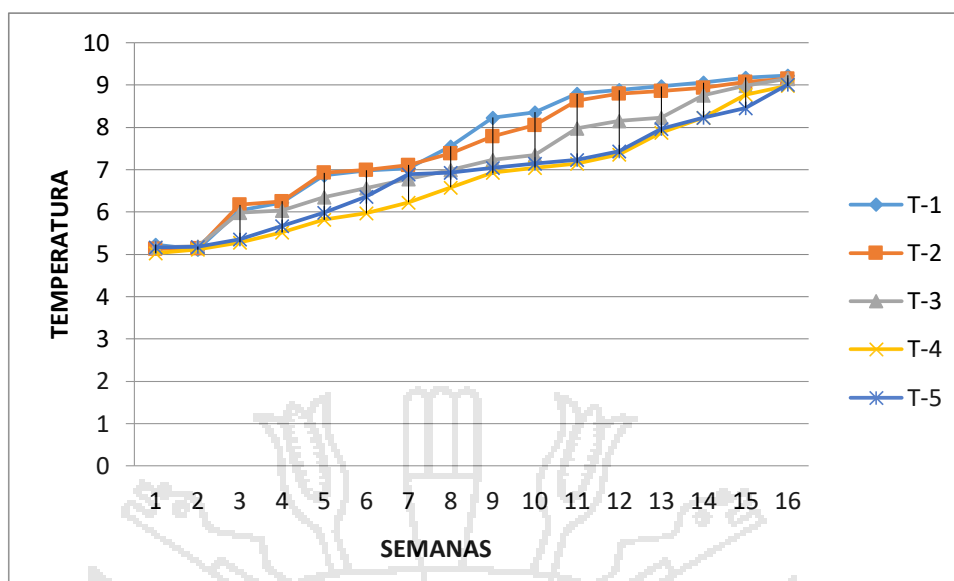


Figura 4. Variación del pH en el compostaje agosto - noviembre 2017

En la figura 4, se observa la variación del pH de 5.14 hasta 9.10 en cada uno de los 5 tratamientos, en conclusión, el pH es un parámetro que puede condicionar la actividad biológica que degrada la materia orgánica y puede seleccionar a las poblaciones microbianas presentes en cada momento, en general las bacterias prefieren un pH cercano a la neutralidad con un rango comprendido entre 6-7,5, mientras que los hongos se desarrollan mejor en medio ácido, aunque toleran un margen más amplio de pH (5-8); así, aunque el compostaje puede desarrollarse dentro de un amplio rango de pH (3-11), se consideran como valores óptimos los comprendidos entre 5,5 y 8,0, el pH de la mezcla de compostaje puede experimentar una bajada al inicio del proceso debido a la formación de ácidos orgánicos durante el proceso de degradación de las fracciones de materia orgánica más lábiles; con posterioridad, el pH aumentará debido a la degradación de compuestos de naturaleza ácida y a la mineralización de compuestos nitrogenados hasta la forma de amoníaco, actuando también el proceso de amonificación como un importante sumidero de protones y, por tanto, favoreciendo al aumento del pH.

4.3 Variación de porcentaje de humedad

4.3.1 Variación de porcentaje de humedad en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.

En la tabla 9, se muestra la variación del porcentaje de humedad en el proceso de compostaje en los periodos de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.

Tabla 9

Variación del porcentaje de humedad en el proceso de compostaje en los periodos de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.

Semana	Abril-Julio			Agosto-Noviembre			Porcentaje
	Porcentaje	Valor extremo		Porcentaje	Valor extremo		
		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.	
Primera	77,86	70,20	74,40	66,43	63,42	73,50	69,64^a
Segunda	69,15	68,70	69,70	64,22	61,62	69,27	66,69^b
Tercera	66,86	66,42	67,38	62,05	58,78	67,38	64,46^{cb}
Cuarta	64,80	63,98	66,68	59,88	55,46	64,28	62,34^c
Quinta	61,36	60,35	62,38	56,71	51,78	59,19	59,03^d
Sexta	55,50	55,36	55,78	55,57	54,81	56,36	55,53^e
Séptima	49,07	48,65	49,96	51,31	48,98	53,19	50,19^f
Octava	47,75	47,48	47,97	48,06	43,98	50,39	47,90^{gf}
Novena	46,10	45,84	48,84	45,80	41,79	49,46	45,95^g
Decima	38,69	38,49	38,86	40,89	36,18	47,78	39,79^h
D. primera	35,63	35,39	35,88	38,72	34,78	45,92	37,18ⁱ
D. segunda	33,67	33,56	33,87	34,77	30,55	41,46	34,22^j
D. tercera	25,54	25,47	25,59	26,44	22,88	31,51	25,99^k
D. cuarta	20,67	20,36	20,98	20,59	19,23	22,73	20,63^l
D. quinta	15,52	15,50	15,55	16,45	15,37	19,71	15,99^m
D. sexta	10,04	10,02	10,07	11,25	10,01	13,81	10,65ⁿ
Porcentaje	44,58^a	10,02	70,20	43,70^a	10,01	73,50	44,14

Las letras diferentes señalan diferencia estadística ($p > 0,05$).

El porcentaje de humedad mayor en el proceso de compostaje fue de 70.20 % y 73.50 % en el primer periodo; Oviedo *et al.* (2014) quien menciona que los sustratos del compostaje de biorresiduos de origen municipal (BOM) se caracterizan por el alto contenido 70 % de humedad; Ferrer *et al.* (1993) en la producción de compostaje a partir de desechos de uva con adición de gallinaza reporto la variación del porcentaje de humedad durante el proceso desde 73,08% en el primer día. Yañez *et al.* (2007) evaluó la etapa de descomposición rápida del proceso en los aspectos técnico y ambiental del compostaje de residuos a través de un proceso de alta temperatura, denominando reportando valores de porcentaje

de humedad al primer día de 85% ; Madejón *et al.* (2002) y Haug (1993); consideran que la humedad de los materiales está entre el 50-70%; Haug (1993); a su vez, con un buen control de la humedad y de la aireación, la humedad óptima depende del tipo de residuo; así se ha encontrado que, para la paja de cereales está entre 75 y 85%.por encima del 70% el agua desplaza al aire.

Mientras que en el segundo periodo al final del proceso se obtuvo 44,58% y entre agosto-noviembre fue 10.02 y 10.01%, respectivamente; Oviedo *et al.* (2014) quien menciona que la humedad al final 12 % de humedad, Ferrer *et al.* (1993) a 22,27% en el día veinticinco. Yañez *et al.* (2007) al décimo día 45,5%; Madejón *et al.* (2002) menor a la decima sex7ta semana (10,65%), al analisis de variancia Haug (1993); la actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30%.

El % promedio de humedad en el proceso fue de 44.14 %; Rojas y Zeledón (2007) indican que el promedio general es relativamente inferior a los rangos de humedad final del ensayo (50 a 65%) ; Robles *et al.* (2015) los rangos típicos en composta son consideradas de 30 a 60 % de humedad; Santiago (2017) quien cifra valores de 45 a 60%.; Hoyos *et al.* (2010) quienes al evaluar el proceso de compostaje bajo un proceso de fermentación en fila móvil reportan para el producto final un porcentaje de humedad de 35,8 a 43,93%; Los resultados se encuentran dentro de las condiciones ideales para el desarrollo del proceso de compostaje, parámetro aceptable de porcentaje de humedad de 40 a 65% y 50 a 60%, reportados por Romero (2000), Pace *et al.* (2002) y Soto y Meléndez (2003). El contenido de humedad óptimo del proceso de compostaje deberá estar entre el 50 y el 60 por 100, en peso tal como refiere Corbit (2011),

Si la humedad decae por debajo del 40- 45% la velocidad de descomposición decrece por la muerte de los microorganismos tal como refiere Richard (2004). si la humedad es menor a 40 %, la actividad microbiana se ve reducida; si es mayor a 60 %, el agua llena los espacios porosos requeridos para el movimiento del aire, por lo que se producen condiciones de anaerobiosis tal como menciona Epstein (1996), Rynk *et al.* (1992); La importancia de una humedad apropiada es de suma importancia puesto que al estudiar la variación a una temperatura constante, en función de la humedad, pequeñas variaciones de humedad provocaban grandes

cambios en la temperatura tal como señala Shulze (2011). En todo proceso de compostaje se inicia con un % de humedad entre 70 a 80% y al finalizar todos los procesos disminuyen a una humedad del 10 al 12 %.

El porcentaje de humedad en el proceso de compostaje fue de 44,14%, entre los meses de abril-julio fue de 44,58% y entre agosto-noviembre fue 43,70%, al análisis estadístico sin diferencia significativa ($P > 0,05$); el porcentaje de humedad fue mayor a la primera semana (69,64%) y menor a la decima sexta semana (10,65%), al analisis de variancia con diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$), lo que sugiere una disminucion de la humedad en el tiempo.

4.3.2 Variación en el porcentaje de humedad por tratamientos en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.

En la tabla 10, se muestra los promedios de porcentaje de humedad por lote en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio y agosto a noviembre.

Tabla 10
Porcentaje de humedad por tratamientos en el proceso de compostaje en los periodos de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.

TRATAMIENTOS	Abril-Julio			Agosto-Noviembre			Porcentaje
	Porcentaje	Valor extremo Mín.	Valor extremo Máx.	Porcentaje	Valor extremo Mín.	Valor extremo Máx.	
T 1	44,58	10,05	74,40	42,40	10,01	63,42	43,49 ^a
T 2	44,55	10,03	72,50	44,04	12,19	67,15	44,30 ^a
T 3	44,35	10,07	70,20	46,16	13,81	64,14	45,25 ^a
T 4	44,68	10,02	73,70	41,84	10,02	63,92	43,26 ^a
T 5	44,72	10,03	73,50	44,05	10,22	73,50	44,39 ^a

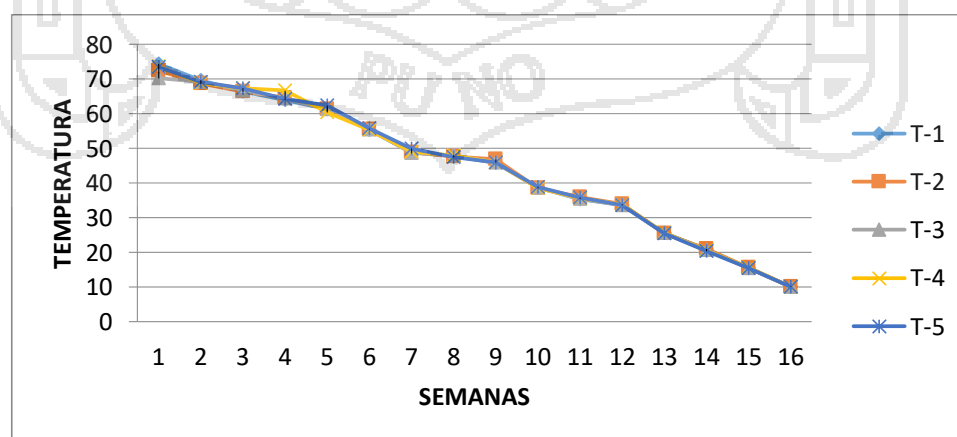


Figura 5. Variación del % humedad en el compostaje abril a julio 2016

En la figura 5, se observa la disminución del % de humedad promedio en los cinco tratamientos de sembrado de compost desde 73 hasta 10 %. Para cada uno de los cinco tratamientos.

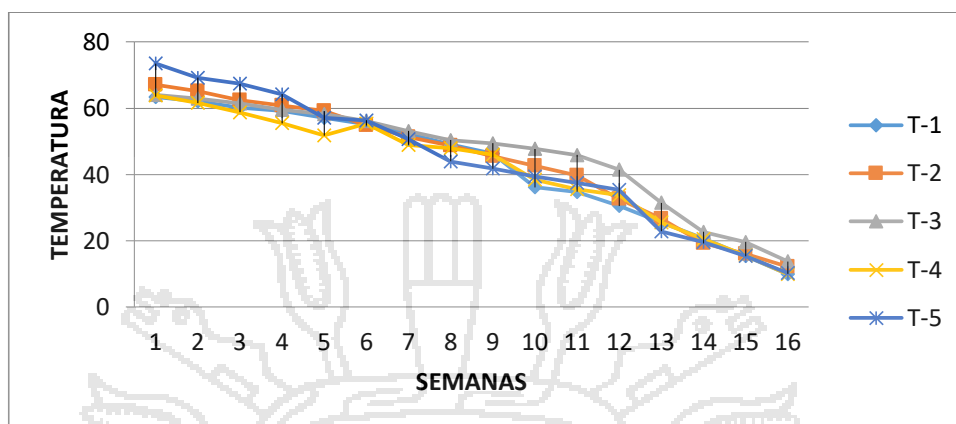


Figura 6. Variación del % humedad en el compostaje agosto a noviembre 2017

En la figura 6, se observa la variación del % de humedad en cada uno de los 5 tratamientos en el sembrado de compost; en este orden de ideas, y teniendo en cuenta que el compostaje es un proceso que requiere del control de ciertas condiciones físico-químicas, entre las cuales reviste una importancia trascendental el cálculo de la humedad iniciales de la mezcla de residuos a tratar tal como refieren Guerrero y Monsalve (2006).

4.4 Porcentajes óptimos de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y digesta de animales de camal para obtener un compost con una relación C/N entre 25-30.

En la tabla 11, se muestra la relación C/N óptimo de los porcentajes de residuos sólidos orgánicos (frutas y verduras) y digesta de animales de camal para obtener un compost con una relación C/N entre 25-30.

Tabla 11
Relación C/N por tratamientos en los periodos de abril a junio del 2016 y agosto a noviembre del 2017.

Tratamiento	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	Promedio
Abril-julio	25,00	25,00	26,00	25,00	26,00	25,40 ^b
Agosto-noviembre	25,00	29,00	36,00	39,00	41,00	34,00 ^a
Promedio	25,00 ^a	27,00 ^a	31,00 ^a	32,00 ^a	33,50 ^a	29,70

La tabla 11, muestra la relación C/N en el periodo abril-junio de 25,40 y por tratamientos en el mismo periodo, en el tratamientos uno, dos y cuatro fue de 25, tratamientos tres y cinco de 26; la relación óptima C/N para el periodo agosto-noviembre fue de 34,00 y en el tratamiento uno fue de 25 tratamientos dos 29, tratamiento tres 36, tratamiento cuatro 39 y tratamiento cinco 41, al análisis estadístico con diferencia significativa entre periodos ($P \leq 0,05$); el promedio de la relación C/N en los dos periodos fue en el tratamiento uno de 25, dos de 27, tres de 31, cuatro de 32 y cinco de 33,50, al análisis estadístico sin diferencia significativa ($P > 0,05$).

La relación C/N óptima está comprendida entre 25 y 30 (Soto, 2010); En el trabajo la relación C/N fue óptima para el primer periodo 2016, mientras que en el segundo periodo solo los tratamientos uno y dos son óptimos. Relación C/N óptimos en el rango de 25 a 30; estos resultados están considerados como una relación óptima y están dentro de los parámetros reportados por Gordillo *et al.* (2011) Porras (2011) quien en un trabajo realizado que consistió en el montaje de tres experimentos con el fin de comparar las características finales de los residuos compostados; la materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total reportando la relación C/N entre 25 a 30, similares también a los citados por Escobar *et al.* (2012) en la elaboración de compost (Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada) la relación C/N fue de 25. Bolaños (2015) en el compostaje de biosólidos y en una mezcla de biosólidos (BS) con suelo arcilloso (SA) y estiércol degradado (ED) de equino donde se evaluó en las proporciones: 70:30:00, 65:30:05, 60:30:10 y 50:30:20, la relación obtenida fue de C/N, fue de 18; Álvarez (2017) en lodos para determinar en contenido de humedad, cenizas, materia orgánica y contenido grasas y aceites, y la digestión de los lodos para degradar las grasas y aceites, para lo cual se mezcló el lodo con estiércol a diferentes proporciones para evaluar la de mejor rendimiento en la degradación de la grasa, la relación carbono/nitrógeno fue de 20.51 valores inferiores por las condiciones referidas. Sobre el particular, Santiago (2017) determinó la **relación C/N** en el proceso de compostaje a partir de residuos domésticos obteniendo un valor de 35 valor mayor al presente estudio, Penagos (2009) indica que el proceso seleccionado es el de lotes estáticas con aireación forzada, el mismo que es adecuado por incentivar el uso de mano de obra intensiva y usar una tecnología al alcance de nuestro país; experimentalmente se ha determinado las mejores condiciones de relación inicial C/N para este de 30. Ferrer *et al.* (1993) en la producción de compostaje

a partir de desechos de uva con adición de gallinaza reporto la relación C/N el proceso de 13,47 a 17,62. Valores inferiores fueron citados por Yáñez *et al.* (2007) quienes al evaluar la etapa de descomposición rápida del proceso en los aspectos técnico y ambiental del compostaje de residuos a través de un proceso de alta temperatura, denominado compostaje en silos hiperventilados (CSH), reportando la relación C/N de 19,8 a 27,9. Así mismo a los citados por Hoyos *et al.* (2010) al evaluar el proceso de compostaje de gallinaza de ave de jaula y el efecto de la mezcla con diferente proporciones de material celulósico sobre la composición química y física, bajo un proceso de fermentación en fila móvil reporta para el producto final una relación C/N de 11,58 a 16,52.

Los resultados se encuentran en las condiciones ideales para el desarrollo del proceso de compostaje, parámetro aceptable de la relación C/N de 20 a 40 Pace *et al.* (2002) relación C/N 25 a 30 reportados por Soto y Meléndez (2003). C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35 tal como refieren Jhorar *et al.* (1991). La relación C/N proporciona una estimación directa de las fracciones biológicamente degradables en el compostaje, esta relación ha sido usada por los diferentes investigadores como un índice de estabilidad/madurez, en el proceso de compostaje este índice puede disminuir incluso hasta 11 al final del ensayo y por lo general se considera maduro cuando la relación C/N es menor de 25 o más cercano a 15 tal como refiere Pascual *et al.* (1997)

La relación C/N óptima está comprendida entre 25 y 30 para Soto, mientras que :, Gordillo, Soto y Meléndez y Porras corroboran estas condiciones, en el trabajo la relación C/N fue óptima entre 25-30 para el primer periodo 2016, mientras que en el segundo periodo solo los tratamientos uno y dos son C/N fue óptima entre 25-30, Penagos (2009) fue de 30 los cuales coinciden con nuestro trabajo al igual Escobar C/N fue de 25. Pero en los trabajos fue menor a los realizados: por Bolaños de 18 , Álvarez 20,51, Ferrer fue de 13,47 a 17,62; Yáñez C/N de 19,8 a 27,9. Hoyos fue de 11,58 a 16,52; Pascual la relación C/N es menor de 25 o más cercano a 15. Los valores reportados son superiores a los citados por por Santiago es mayor (2017) determinó **la relación C/N** de 35 y así como teóricamente según Jhorar óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35 tal como refieren.

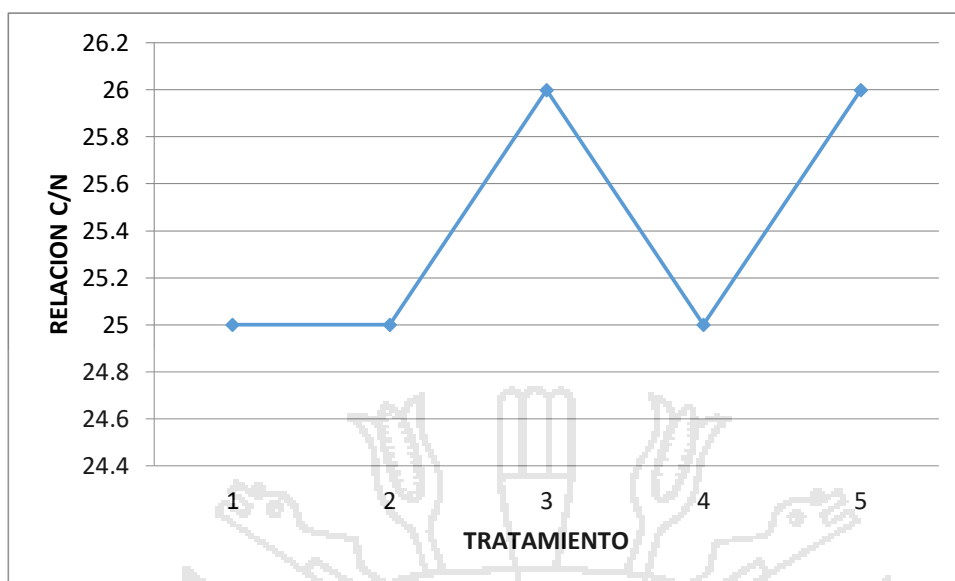


Figura 7. Variación del C/N en el compostaje de abril a julio 2016

En la figura 7, se observa la variación de la relación C/N en los cinco tratamientos para el periodo abril a junio fue de 25 a 26.

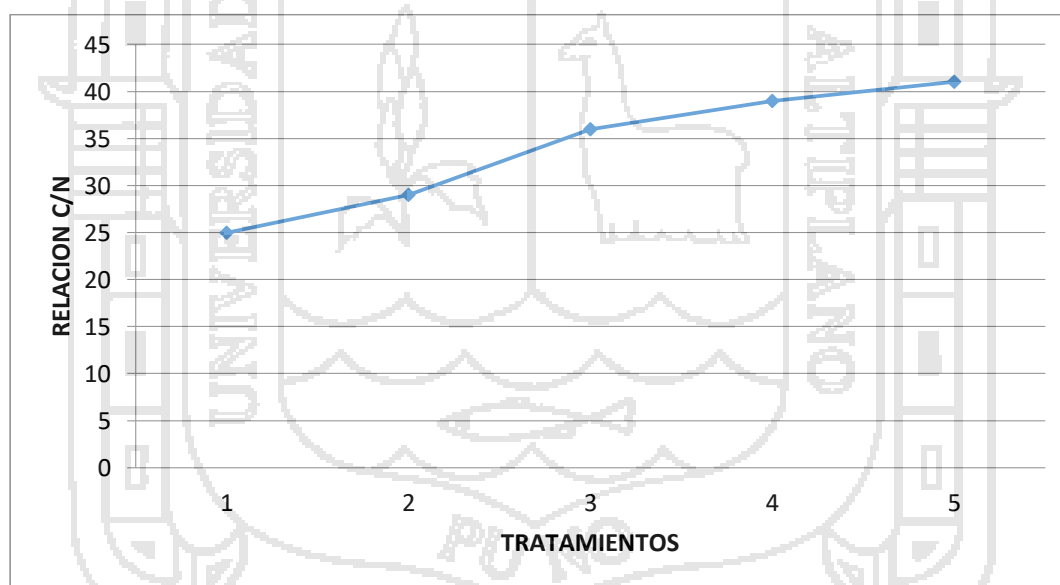


Figura 8. Variación del C/N en el compostaje de agosto noviembre 2017

En la figura 8, se observa la variación de la relación C/N en cada uno de las 5 tratamientos, la misma que esta entre 25 a 41.

CONCLUSIONES

- El promedio de la temperatura fue de $31,63 \pm 0,10$ °C, entre los meses de abril-julio de $31,45 \pm 2,00$ °C y agosto-noviembre de $31,80 \pm 2,01$ °C ($P > 0,05$); en la primera semana fue mínima ($11,70 \pm 0,15$ °C) y máximas entre la cuarta ($54,90 \pm 1,46$ °C) y quinta semana ($55,50 \pm 0,69$ °C), disminuyendo hacia la décima sexta semana ($12,00$ °C) ($P \leq 0,01$), no habiendo diferencia entre tratamientos ($P > 0,05$).
- El promedio de pH fue de $8,02 \pm 1,78$ UpH, entre los meses de abril-julio fue mayor ($8,85 \pm 1,58$ UpH) respecto a agosto-noviembre ($7,20 \pm 1,54$ UpH) ($P \leq 0,05$); el pH a la primera semana fue mínima ($5,11 \pm 0,07$ UpH) y máximas entre la décimo quinta ($9,58 \pm 0,75$ UpH) y decima sexta semana ($9,70 \pm 0,63$ UpH) ($P \leq 0,01$), no habiendo diferencia entre tratamientos ($P > 0,05$).
- El % de humedad fue de 44,14%, entre los meses de abril-julio fue de 44,58% y entre agosto-noviembre fue 43,70% ($P > 0,05$) y fue mayor a la primera semana (69,64%) y menor a la décima sexta semana (10,65%) ($P \leq 0,01$), no habiendo diferencia entre tratamientos ($P > 0,05$).
- La relación C/N fue mayor en el periodo II (34,00) respecto al periodo I (25,40) ($P \leq 0,05$) y entre tratamientos fue similar ($P > 0,05$).

RECOMENDACIONES

- Utilizar mezclas de desperdicio de camal Del Calvario como digesta, sangre, estiércol y otros, para el compostaje, con la finalidad de que los vecinos que viven en las proximidades no tengan que soportar los fuertes olores nauseabundos y además las plagas de moscas, pues consideran que el camal municipal no estaría cumpliendo las normas de salubridad y por ello se está generando contaminación en toda la zona.
- Sobre todo la superabundancia residuos sólidos orgánicos como residuos de verduras, cascaras de frutas, legumbres, huevos, huesos de carne de ovino, vacuno, pollo, pescado, restos de comidas, es necesario trabajar un proyecto factible para la utilización en la obtención del compost.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M. y Vélez, B. (2001). *Aproximación al estudio del efecto de la cobertura vegetal sobre los grupos bacterianos proteolíticos y celulósicos en el departamento De Quindio* (Tesis de pregrado en microbiología acuática y veterinaria). Pontificia Universidad Javerana. Facultad de ciencias, departamento de Microbiología. Bogotá.
- Álvarez, O. R. (2017). *Estudio del impacto del uso de digestato anaerobio y microorganismos eficientes en el proceso de compostaje de residuos de feria*. (Tesis para optar el título de Ingeniero en Biotecnología). Universidad Andrés Bello. Santiago de Chile.
URI: <http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/4641> consultado el 12 de enero 2018..
- Ancín Rípodas, M. (2011). *Evaluación de diferentes tipos de fertilizantes químicos y orgánicos en la producción de frijol (Phaseolus vulgaris L. var. Alubia) en el distrito de San Juan de Castrovirreyna. Huancavelica (Perú)*(Tesis para grado de ingeniero agrónomo). Universidad Pública de Navarra Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Perú.
- Apaza, E. E., Mamani, F. y Sainz, H. (2015). Sistema de compostaje para el tratamiento de residuos de hoja de coca con la incorporación de tres activadores biológicos, en el centro experimental de Kallutaca. *J. Selva Andina Biosph.* 3, (2). La Paz, Bolivia.
- Bohórquez, A., Puentes, Y. J. y Menjivar, J.C. (2015). *Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar*. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Palmira, Valle del Cauca.
jcmenjivarf@unal.edu.co

- Bohórquez, A., Puentes, Y .J. y Menjivar, J. C. (2014) Quality evaluation of compost produced from agro-industrial byproducts of sugar cane. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* (2014) 15(1) 73-81
- Bolaños, D. C. (2017) *Transformación de residuos agrícolas y pecuarios en compost en los municipios de San Vicente del Caguán- Caquetá y Belloantioquia* (Tesis de grado). Universidad de Manizales maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente.
- Bongcam, V. E. (2013). *Guía para compostaje y manejo de suelos*. Bogotá.
- Brito, H. (2017). Diseño y construcción de un reactor batch prototipo para la obtención de compost”conference paper · with 75 readsconference: conference: international congress of environmental sciences, at Riobamba, at Riobamba, 1. Escuela superior politécnica de Chimboraz.
- Bueno, P., Díaz, M. (2011). Factores que afectan al proceso compostaje (2da ed.). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Cardona, C. A. (2010). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado Biodegradation of organic solid wastes from market places, *Open Journal systems Revista colombiana de biotecnología VOL.VI.*
- Carmona, S. (2017). *Efecto del uso de microorganismos de montaña sobre el suelo con base en dos cultivos agrícolas*(Tesis de Licenciatura). Ingeniería Ecológica: Universidad de Costa Rica. San José.
- Carolla, C., Sánchez, R. y Montiel, E. (2007). Modelo estadístico que permite inferir concentración de potasio en «compost» producido a partir de desechos orgánicos. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela.*
- Castellanos, P. 1999. *Manejo integrado del cultivo cebolla de rama (Allium fistulosum L.) para el departamento de Risalda.* (en línea). Consultado: 28 de septiembre de 2009. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www /docs _si2
- Castillo, A. E. (2010). *Vermicompost chemical and physical characterization from raw and mixed organic wastes Argentina.* Trabajo financiado por Secretaría Ciencia y Técnica. Universidad Nacional del Nordeste.
- Castillo, A. E., Quarín, S. H. e Iglesias, M.C. (2000). Caracterización química y física de compost de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agric. Téc.* .60,(1) Chillán.

- Chiumenti, A., Chiument, I. R., Diaz, L. F., Savage, G., Eggerth, L. y Goldstein, N. (2005). Modern composting technologies. Biocycle. *Journal of Composting Organics Recycling. Singapore*, 96 pp.
- Corbit, R. A. (2003). Manual de referencia de Ingeniería Medioambiental. Brage McGRAW-Hill interamericana de España, S.A.U., Madrid. pp. 8.163 – 8.168.
- Corbit, R. A. (2011). *Manual de referencia de Ingeniería Medioambiental*. Madrid, España: Brage McGRAW-Hill Interamericana
- Costa, F., García, C., Hernández, T. y Polo, A. (2009). Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*. Centro de Edafología y Biología Aplicada de Segura.
- De Guardia, A., Mallard, P., Teglia, C., Marin, A., Le Pape, C., Launay, M., Benoist, J.C. y Petiot, C. (2010). Comparison of five organic wastes regarding their behaviour during composting: Part 2, nitrogen dynamic. *Waste Manage.* 30, 415-425.
- De Haro, F.M. (1990). *Utilización de diferentes sustratos para la producción de humus de lombriz, y su evaluación como fertilizante* (Tesis de graduación). Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias. Corrientes, Argentina.
- Diaz, L. F., Savage, G. M., Eggerth, L. y Chiumenti, A. (2007). Systems used in composting. En: *Compost Science and Technology* (L.F. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidling-maier y E. Stentiford, Eds.). *Waste Management Series 8, Elsevier*, Amsterdam, pp. 67-87.
- Ekinci, K., Keener, H.M. y Elwell, D. L. (2004). Effects of aeration strategies on the composting process: Part I. *Experimental studies. Trans. ASAE*, , 47 (5): 1697-1708.
- Escalante, A, M. A. (2011). *Alternativas de sustratos hortícolas obtenidas mediante compostaje de mezclas de cachaza con residuos orgánicos*. Colombia. (Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Escobar, F., Sánchez, J. y Azero, M. (2017). *Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani*, Universidad Católica Boliviana Cochabamba, Bolivia..Scielogranja@fundacionpatino.org
- Eymar, E. (2011). . *Caracterización físico-química de residuos orgánicos compostados, evaluación de su potencial nutritivo y aprovechamiento agrícola* Departamento de Química agrícola (UAM). Facultad de Ciencias.

- Ferrer, J., Mujica, D. y Páez, G. (1993). Producción de compostaje a partir de desechos de uva. *Rev. Tec. Ing. Univ. Zulta*. Vol. 16 N°3.
- Gómez Z, J. (2009). *Abonos Orgánicos*. Colombia. (Ed.), Santiago de Cali: Henao.
- González, A. R. & Deza, M. J. (2010). Factores que condicionan el proceso de compostaje
- Gordillo, F., Peralta, E., Chávez, E., Contreras, V., Campuzano, A. y Ruiz, O. (2011). Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 37(2) agosto, 2011, pp. 140-149 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Buenos Aires, Argentina versión impresa ISSN 0188-4999
- Guerrero, J. y Monsalve J. (2006). El compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda. *Scientia et technica* XII, (32).. utp. ISSN 0122-1701
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y. y Yujun, Y. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technol.* 112, 171-178.
- Hargreaves, J.C., Adl, M. S. y Warman, P. R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agr. Ecosyst. Environ.* 123, 1-14.
- Haug, R. T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Boca Raton. Florida: Lewis Publishers.
- Hoyos, J. L., Vargas, C.A. y Velasco, R.J. (2010). *Evaluación de compost obtenido en lote móvil empleando mezclas de gallinaza de jaula con material celulósico*. Facultad de Ciencias Agropecuaria.
- Inbar, Y., Hadar Y. and Chen, Y. (1993). Recycling of cattle manure. The composting process and characterization of maturity. *J. Environm. Qual.* 22:857-863.
- Jaramillo, G. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia* ata Márquez Universidad de Antioquia facultad de Ingeniería posgrados de ambiental especialización en gestión ambiental.
- Kalemelawa, F., Nishihara, E., Endo, T., Rumana Yeasmin Z.A., Moses M. y Tenywa S.Y. (2012). An evaluation of aerobic and anaerobic composting of banana peels treated with different inoculums for soil nutrient replenishment. *Bioresource Technol.* 136, 375-382

- Kelsy, P. y Minaya, G. (2013). *Obtención de compost a partir de residuos orgánicos permeabilizados con geomembrana*. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica UNI.
- Labrador, J. (2001). *La materia orgánica en los agrosistemas* (Segunda ed.). Madrid, España: Ediciones mundi prensa. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación.
- Labrador, J. (2012). *La materia orgánica en los agrosistemas* (Segunda ed.), España: Ediciones Mundi prensa - Ministerio de Agricultura.
- Liang, C., Das, K.C. y McClendon R.W. 2003. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Biores. Technol.*, 86, 131–137.
- López, A. (2017). *Evaluación de la dosis óptima de microorganismos eficaces en el proceso de compostaje de residuos orgánicos domiciliarios generados en la zona urbana de concepción, provincia de concepción – Junín*. Tesis para optar el Título de Ingeniero ambiental Universidad Alas Peruanas [.http://repositorio.uap.edu.pe/handle/uap/5159](http://repositorio.uap.edu.pe/handle/uap/5159)
- Luque, M. O. (2010). *Alternativas económicas para el manejo de residuos Orgánicos en centros de reciclaje*. Venezuela. Jornada de Conservación Ambiental.
- Madejón, E., Díaz, M. J., López, R. y Cabrera, F. (2002). New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials. *Biores. Technol.*, 85: 73-78.
- Mariño, D. C. A. (2012). *Evaluación del proceso de compostaje de los Residuos sólidos orgánicos en la finca la Virginia, Corregimiento Bolo la Italia, Municipio de Palmira*. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad de Ingeniería.
- Marmolejo, L. F. (2011). *Marco conceptual para la sostenibilidad de los sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos en cabeceras municipales menores a 20.000 habitantes del Valle del Cauca* (Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería). Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Marmolejo, L. F., Oviedo, R., Jaimes, J. y Torres, P. (2010). Influencia de la separación en la fuente sobre el compostaje de residuos sólidos municipales. *Revista Agronómica de la Universidad Nacional* 28, 319-328.
- Epstein E. (1996). *The science of composting*. CRC Press. Boca Raton, EUA, 487 pp.
- Martina. (2009). *Introducción a la microbiología del suelo*. México Editorial AGT,
- Martínez, G. J. (2011). *Manejo de desechos sólidos mediante compos*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira.

- Mazzarino, M. J., Laos, F., Satti, P., Roselli, L., Moyano, S., Tognetti, C., y Labud, V. (2010). Aprovechamiento Integral de Residuos orgánicos en el n.o. Universidad Nacional Comahue, (Ed.), Quintral, Bariloche.
- Medina Lara, M. S., Quintero Lizaola, R., Espinosa Victoria, D., Alarcón, A., Etchevers Barra, J. D., Trinidad Santos, A. y Conde Martínez, V. F. (2018). Generación de un inoculante acelerador del compostaje, *Revista Argentina de Microbiología*, 50, (2), 206-210. ISSN 0325-7541, <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.010>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754117301050>)
- Meléndez, J. P. (2000). *Evaluación de gallinaza y Bocashi, sobre el rendimiento de Arveja China (Pisum sativum, L.) en la finca San Antonio Contreras, San Raymundo, Guatemala* (Tesis Ing. Agr.). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Miyatake, F. y Iwabuchi, K. (2006). Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Biores. Technol.*, 97: 961–965.
- Oviedo, E. R., Marmolejo, L. F. y Torres, P. (2014) Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal *Rev. Int. Contam. Ambient* 30, (1). Grupo de Investigación Estudio y Control de la Contaminación Ambiental, Universidad del Valle, Calle 13 # 100 - 00, A.A 25360, Cali, Colombia *Autor responsable; edgar.oviedo@correounivalle.edu.co, eroviedo@uis.edu.co.
- Pace, M., Miller, B. and Farrell- Poe, K. (1995). *The Composting Process* [online]. Utah State University: Cooperative Extension Service. <http://extension.usu.edu/files/agpubs/agwm01.pdf>
- Parra, A. (2011). *Experiencias en la valorización de residuos orgánicos*. Municipalidad Distrital de Villa Rica. Sub Gerente de Gestión y Fiscalización ambiental.
- Pascual, J., Garcia, C., Hernandez, T. y Ayuso, M. (1997). Characterization of urban waste according to fertility and phytotoxicity parameters. *Waste. Minag. Res* 15: 103.112.
- Penagos, J. W., Adarraga, J., Aguas, D. y Molina, E. (2009). Reducción de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia por medio del Compostaje Líquido.
- PIGARS (2013-2018). Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos de la provincia de Puno.
- Poincelot, R. (2008). A scientific examination of the principles and practice of

composting. *Compost*.

- Porras, S.A. (2011) *Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani*. Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana Av. General Galindo s/n, Cochabamba, Bolivia.
- Richard, T. (2004). . *Municipal solid waste composting: biological processing* [online]. New York: Cornell University. Department of Agricultural and Biological Engineering, 1996. Last updated: October 2000 [cited: 2 August 2004]. Available from the World Wide Web:<<http://compost.css.cornell.edu/MSWFactSheets/m>
- Röben, E. (2009). *Manual de Compostaje Para Municipios*. DED., (Ed.), Loja, Ecuador, 68 pp. Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. Gestión integral de Residuos sólidos. España: Mc Graw Hill Interamericana.
- Robles, M. B. (2015). *Evaluación de parámetros de temperatura, pH y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad provincial de Leoncio Prado Universidad Nacional Agraria de la Selva*.
- Rojas, F. N. y Zeledón, E. A. (2007). *Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características física, química y biológica del compost*. Hacienda las Mercedes, Managua. Nicaragua.
- Romero Rojas, J.A. (2000). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rynk, R., van de Kamp, M., Willson, G. B., Singley, M. E., Richard, T. L., Kolega J. L., Gouin, F. R., Laliberty L., Kay, D., Murphy, D. W., Hoitink, H. A. J., and Briton, W. F. (1992). *On-farm composting handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Ithaca, NY.
- Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C. y Bernal, M. P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Biores. Technol.*, 78 (3): 301-308.
- Santiago, J. (2017). *Determina la dosis adecuada de composta para aumentar la materia orgánica*. <http://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/determina-la-dosis-adeuada-de-composta-para-aumentar-la-materia-orgánica/>
- Shulze, K. L. (2011). Continuous Thermophilic Composting. *Appl. Microbiol.*
- Soliva, M. y López, M. (2012). *Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales*

- tratados y de las condiciones del proceso*. España. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.
- Soto, M. G. (2010). *Abonos orgánicos, Principios, aplicaciones e impacto en la agricultura*. En: Gloria Meléndez (ed.), *Abonos orgánicos: definiciones y procesos*, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Soto, M. G. y Meléndez, G. (2003). Compost: Abono o enmienda? Cómo medir la calidad de un compost? *En: Memorias Taller de Abonos Orgánicos*. Costa Rica: CATIE, GTZ, CANIAN.
- Suler, D. J. y Finstein, S. (1977). Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO₂ Formation in Bench-Scale, continuously Thermophilic Composting of Solid Waste. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33, (2), 345-350.
- Sundberg, C. y Jonsson, H. (2008). Higher pH and faster decomposition in biowaste composting by increased aeration. *Waste Manage.* 28, 518-526.
- Sundberg, C., Smárs, S. y Jonsson, H. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bioresource Technol.* 95, 145-150.
- Viteri, R., Guevara, L., Villacrés, M, y Jara, J. (2016). Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del Cantón *Riobamba*. *European Scientific Journal* 12, (29). ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
- Yañez, P., Levy, A. Azero, M. (2007). Evaluación del compostaje de residuos de dos agroindustrias palmeras del Trópico de Cochabamba en silos hiperventilados. *Rev Acta Nova*. v.3 n.4 Cochabamba.



Anexo 1. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en el muestreo de Abril a Julio 2016 y agosto a noviembre del 2017

Sem.	Abril a Julio 2016					Agosto a noviembre del 2017				
	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5
1	12	12	12	12	12	11	11	12	12	11
2	40	41	42	40	41	42	40	41	42	40
3	45	45	46	45	47	45	43	44	43	41
4	50	51	50	52	50	60	58	60	59	59
5	55	55	56	57	55	50	56	57	56	58
6	50	50	50	51	50	40	41	50	50	53
7	45	45	45	46	45	32	32	46	48	48
8	40	40	40	41	40	30	31	42	45	42
9	35	35	36	36	35	30	29	38	39	38
10	30	31	30	32	30	29	26	29	30	32
11	25	25	26	26	25	28	23	25	28	29
12	20	20	20	21	20	26	22	23	26	25
13	15	15	16	16	15	24	20	22	24	18
14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
16	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
PROM	31.13	31.31	31.56	31.94	31.31	30.19	29.25	32.81	33.63	33.13
DS	15.76	15.88	15.93	16.18	15.92	14.52	15.08	16.57	16.33	16.85
MAX	55.00	55.00	56.00	57.00	55.00	60.00	58.00	60.00	59.00	59.00
MIN	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	11.00	11.00	12.00	12.00	11.00
EE	3.94	3.97	3.98	4.04	3.98	3.63	3.77	4.14	4.08	4.21

Anexo 2. Variación de pH en el proceso de compostaje en el muestreo de Abril a Julio 2016 y agosto a noviembre del 2017

Sem.	Abril a Julio 2016					Agosto a noviembre del 2017				
	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5
1	5.12	5.01	5.09	5.08	5.10	5.23	5.13	5.17	5.03	5.16
2	6.55	6.53	6.56	6.58	6.57	5.11	5.14	5.19	5.11	5.18
3	7.06	7.08	7.09	7.10	7.08	6.03	6.17	5.98	5.28	5.36
4	7.53	7.55	7.55	7.57	7.55	6.22	6.25	6.03	5.52	5.67
5	7.83	7.83	7.85	7.87	7.85	6.87	6.93	6.35	5.82	5.99
6	8.02	8.04	8.05	8.06	8.07	6.98	6.99	6.56	5.97	6.36
7	9.00	9.01	9.03	9.04	9.03	7.03	7.11	6.78	6.23	6.89
8	9.45	9.46	9.47	9.45	9.49	7.55	7.38	6.99	6.58	6.93
9	9.78	9.78	9.76	9.77	9.78	8.23	7.79	7.23	6.93	7.05
10	9.93	9.93	9.95	9.98	9.93	8.36	8.05	7.35	7.05	7.15
11	10.01	10.01	10.04	10.03	10.01	8.79	8.63	7.98	7.15	7.23
12	10.15	10.16	10.15	10.14	10.15	8.88	8.79	8.15	7.36	7.44
13	10.22	10.21	10.23	10.22	10.21	8.97	8.86	8.23	7.87	7.96
14	10.23	10.23	10.25	10.23	10.24	9.06	8.93	8.76	8.23	8.23
15	10.27	10.25	10.26	10.26	10.27	9.18	9.07	8.99	8.77	8.46
16	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29	9.23	9.15	9.15	8.98	9.01
PROM	8.84	8.84	8.85	8.85	8.85	7.61	7.52	7.18	6.79	6.88
DS	1.62	1.63	1.62	1.61	1.61	1.43	1.36	1.28	2.11	1.19
MAX	10.29	10.29	10.29	10.29	10.29	9.23	9.15	9.15	8.98	9.01
MIN	5.12	5.01	5.09	5.08	5.10	5.11	5.13	5.17	5.03	5.16

Anexo 3. Variación del porcentaje de humedad en el proceso de compostaje en el muestreo de Abril a Julio 2016 y agosto a noviembre del 2017

Sem.	Abril a Julio 2016					Agosto a noviembre del 2017				
	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5
1	74.40	72.50	70.20	73.70	73.50	63.42	67.15	64.14	63.92	73.50
2	69.70	68.70	69.20	68.90	69.27	62.14	65.23	62.86	61.62	69.27
3	66.42	66.48	66.68	67.36	67.38	60.17	62.46	61.44	58.78	67.38
4	63.98	64.58	64.48	66.68	64.28	59.26	60.78	59.63	55.46	64.28
5	61.39	61.36	61.32	60.35	62.38	57.17	59.19	58.28	51.78	57.12
6	55.36	55.44	55.56	55.36	55.78	55.14	54.81	56.17	55.36	56.36
7	48.92	48.82	48.65	48.98	49.96	52.28	51.36	53.19	48.98	50.72
8	47.78	47.62	47.88	47.97	47.48	49.16	48.78	50.39	47.97	43.98
9	45.84	46.84	45.87	45.96	45.99	46.28	45.49	49.46	45.96	41.79
10	38.68	38.62	38.78	38.49	38.86	36.18	42.63	47.78	38.49	39.39
11	35.39	35.88	35.54	35.58	35.78	34.78	39.81	45.92	35.58	37.51
12	33.56	33.87	33.56	33.79	33.56	30.55	32.72	41.46	33.79	35.33
13	25.54	25.53	25.55	25.59	25.47	25.54	26.67	31.51	25.59	22.88
14	20.78	20.98	20.68	20.55	20.36	20.78	19.23	22.73	20.55	19.65
15	15.50	15.55	15.52	15.53	15.51	15.50	16.14	19.71	15.53	15.37
16	10.05	10.03	10.07	10.02	10.03	10.01	12.19	13.81	10.02	10.22
PORC.	44.58	44.55	44.35	44.68	44.72	42.40	44.04	46.16	41.84	44.05
MAX	10.05	10.03	10.07	10.02	10.03	10.01	12.19	13.81	10.02	10.22
MIN	5.12	5.01	5.09	5.08	5.10	5.11	5.13	5.17	5.03	5.16



Anexo 4. Análisis de variancia para la variable dependiente temperatura utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	36944.20000	2309.01250	253.74	<.0001
Error	143	1301.30000	9.10000		
Corrected Total	159	38245.50000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TEM Mean
0.965975	9.538721	3.016621	31.62500

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SEM	15	36939.30000	2462.62000	270.62	<.0001
BLOQUE	1	4.90000	4.90000	0.54	0.4643

Duncan Grouping	Mean	N	SEM
A	55.500	10	5
A	54.900	10	4
B	48.500	10	6
C	44.400	10	3
D C	43.200	10	7
D E	40.900	10	2
E	39.100	10	8
F	35.100	10	9
G	29.900	10	10
H	26.000	10	11
I	22.300	10	12
J	18.500	10	13
K	12.000	10	15
K	12.000	10	14
K	12.000	10	16
K	11.700	10	1

Duncan Grouping	Mean	N	BLOQUE
A	31.8000	80	2
A	31.4500	80	1



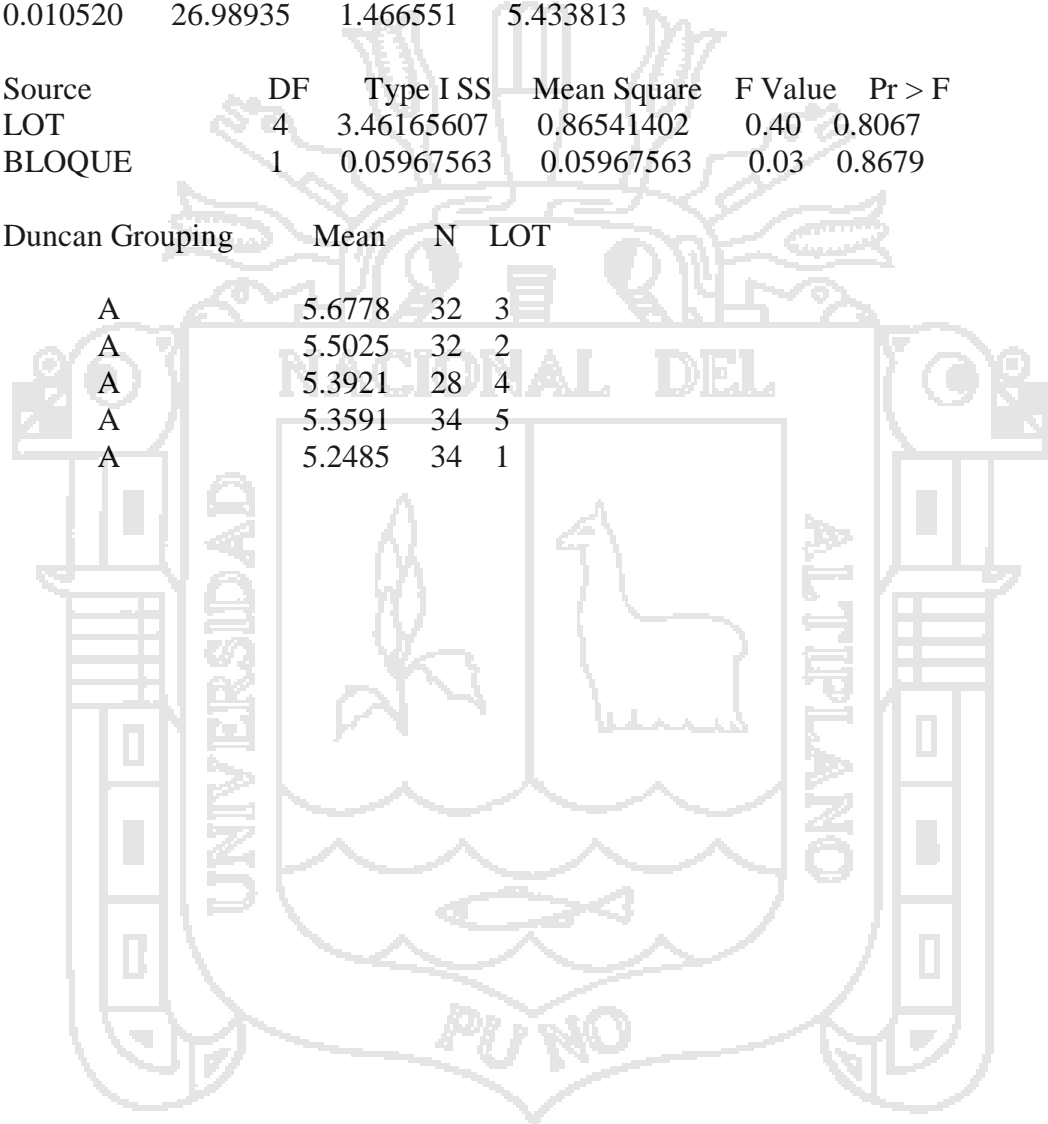
Ecuación 5. Análisis de variancia para la variable dependiente temperatura por lotes utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	3.5213317	0.7042663	0.33	0.8958
Error	154	331.2186427	2.1507704		
Corrected Total	159	334.7399744			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TEM Mean
0.010520	26.98935	1.466551	5.433813

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOT	4	3.46165607	0.86541402	0.40	0.8067
BLOQUE	1	0.05967563	0.05967563	0.03	0.8679

Duncan Grouping	Mean	N	LOT
A	5.6778	32	3
A	5.5025	32	2
A	5.3921	28	4
A	5.3591	34	5
A	5.2485	34	1





Anexo 5. Análisis de variancia para la variable dependiente pH utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0. .

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	417.2663000	26.0791438	138.11	<.0001
Error	143	27.0031094	0.1888329		
Corrected Total	159	444.2694094			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TEM Mean
0.939219	5.420642	0.434549	8.016563

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SEM	15	307.0588994	20.4705933	108.41	<.0001
BLOQUE	1	110.2074006	110.2074006	583.62	<.0001

Duncan Grouping	Mean	N	SEM
A	9.6970	10	16
A	9.5780	10	15
B A	9.4390	10	14
B A C	9.2980	10	13
B D C	9.1370	10	12
E D C	8.9880	10	11
E D	8.7680	10	10
E F	8.6100	10	9
G F	8.2750	10	8
G	7.9150	10	7
H	7.3100	10	6
I H	7.1190	10	5
I J	6.7440	10	4
J	6.4230	10	3
K	5.8520	10	2
L	5.1120	10	1

Duncan Grouping	Mean	N	BLOQUE
A	8.84650	80	1
B	7.18663	80	2

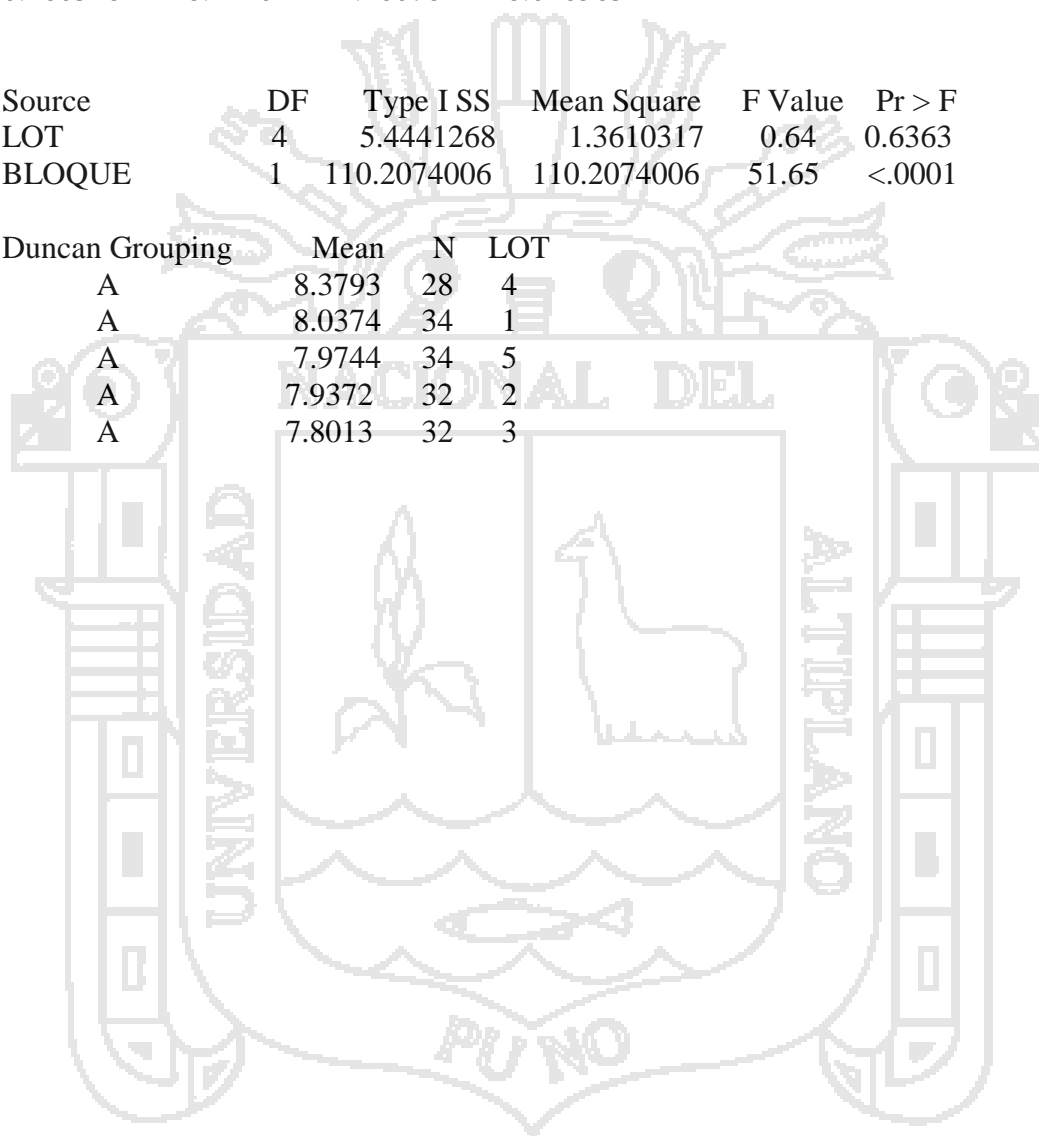
Anexo 6. Análisis de variancia para la variable dependiente pH por lotes utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	115.6515274	23.1303055	10.84	<.0001
Error	154	328.6178820	2.1338824		
Corrected Total	159	444.2694094			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TEM Mean
0.260318	18.22204	1.460781	8.016563

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOT	4	5.4441268	1.3610317	0.64	0.6363
BLOQUE	1	110.2074006	110.2074006	51.65	<.0001

Duncan Grouping	Mean	N	LOT
A	8.3793	28	4
A	8.0374	34	1
A	7.9744	34	5
A	7.9372	32	2
A	7.8013	32	3





Anexo 7. Análisis de variancia para la variable dependiente porcentaje de humedad utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	365.4004300	22.8375269	607.62	<.0001
Error	143	5.3746944	0.0375853		
Corrected Total	159	370.7751244			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TEM Mean
0.985504	2.998142	0.193869	6.466313

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SEM	15	365.3445544	24.3563036	648.03	<.0001
BLOQUE	1	0.0558756	0.0558756	1.49	0.2247

Duncan Grouping	Mean	N	SEM
A	8.33900	10	1
B	8.16400	10	2
C B	8.02700	10	3
C	7.89500	10	4
D	7.68100	10	5
E	7.45200	10	6
F	7.08300	10	7
G F	6.92000	10	8
G	6.77500	10	9
H	6.30200	10	10
I	6.09100	10	11
J	5.84400	10	12
K	5.09200	10	13
L	4.54100	10	14
M	3.99600	10	15
N	3.25900	10	16

Duncan Grouping	Mean	N	BLOQUE
A	6.48500	80	1
A	6.44763	80	2

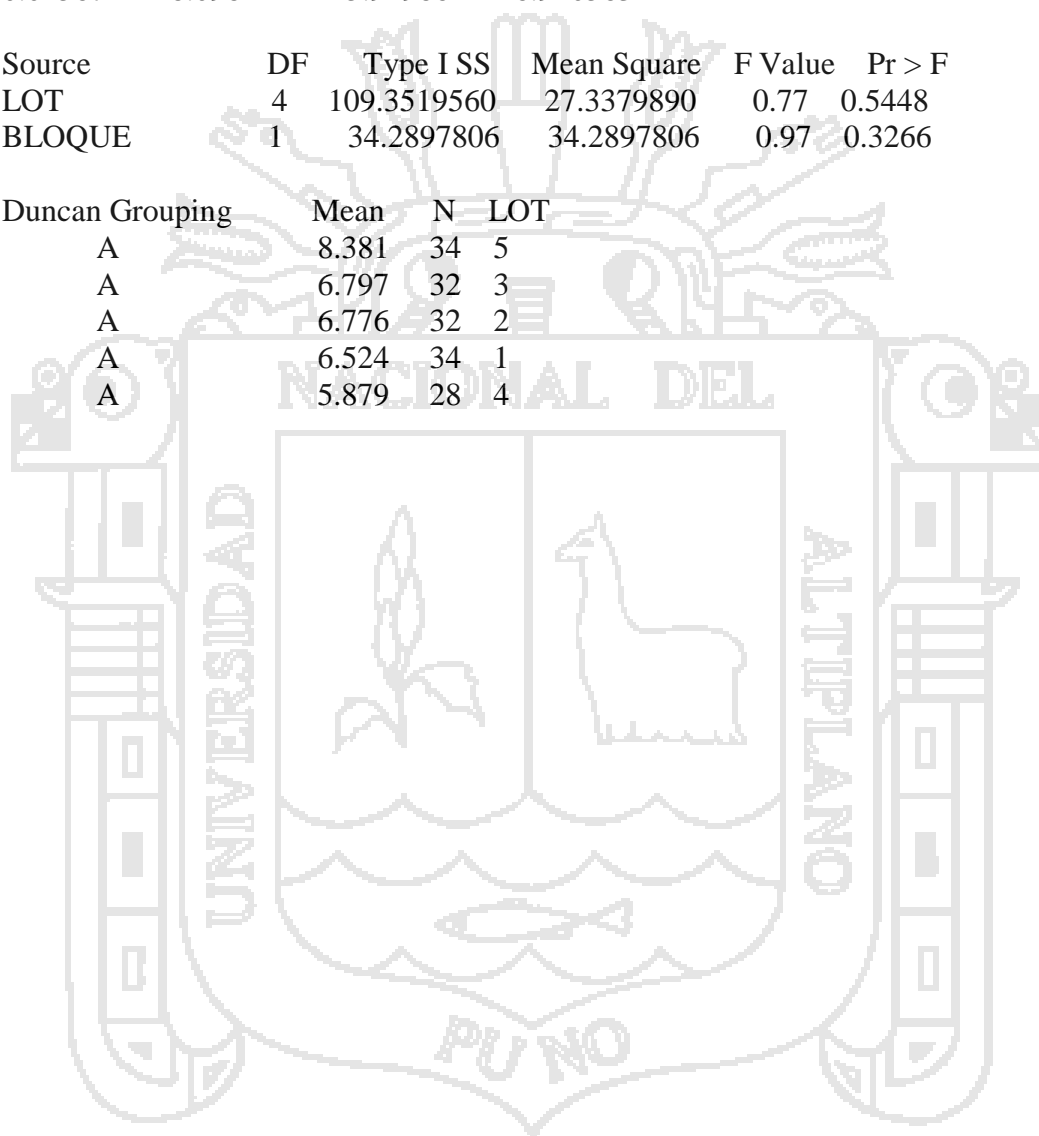
Anexo 8. Análisis de variancia para la variable dependiente porcentaje de humedad por lotes utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	143.641737	28.728347	0.81	0.5431
Error	154	5451.735513	35.400880		
Corrected Total	159	5595.377249			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TEM Mean
0.025672	8.09811	5.949864	6.910563

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOT	4	109.3519560	27.3379890	0.77	0.5448
BLOQUE	1	34.2897806	34.2897806	0.97	0.3266

Duncan Grouping	Mean	N	LOT
A	8.381	34	5
A	6.797	32	3
A	6.776	32	2
A	6.524	34	1
A	5.879	28	4



Anexo 9. Análisis de variancia para el periodo de muestreo utilizando el SAS (Statistical analysis System) versión 9,0.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
LOTE	4	101.6000000	25.4000000	1.22	0.4243
BLOQUE	1	184.9000000	184.9000000	8.85	0.0410

R-Square	Coeff Var	Root MSE	NUM Mean
0.774115	15.39277	4.571652	29.70000

Duncan Grouping Mean N PERIODO

A 34.000 5 2

B 25.400 5 1

Duncan Grouping Mean N LOTE

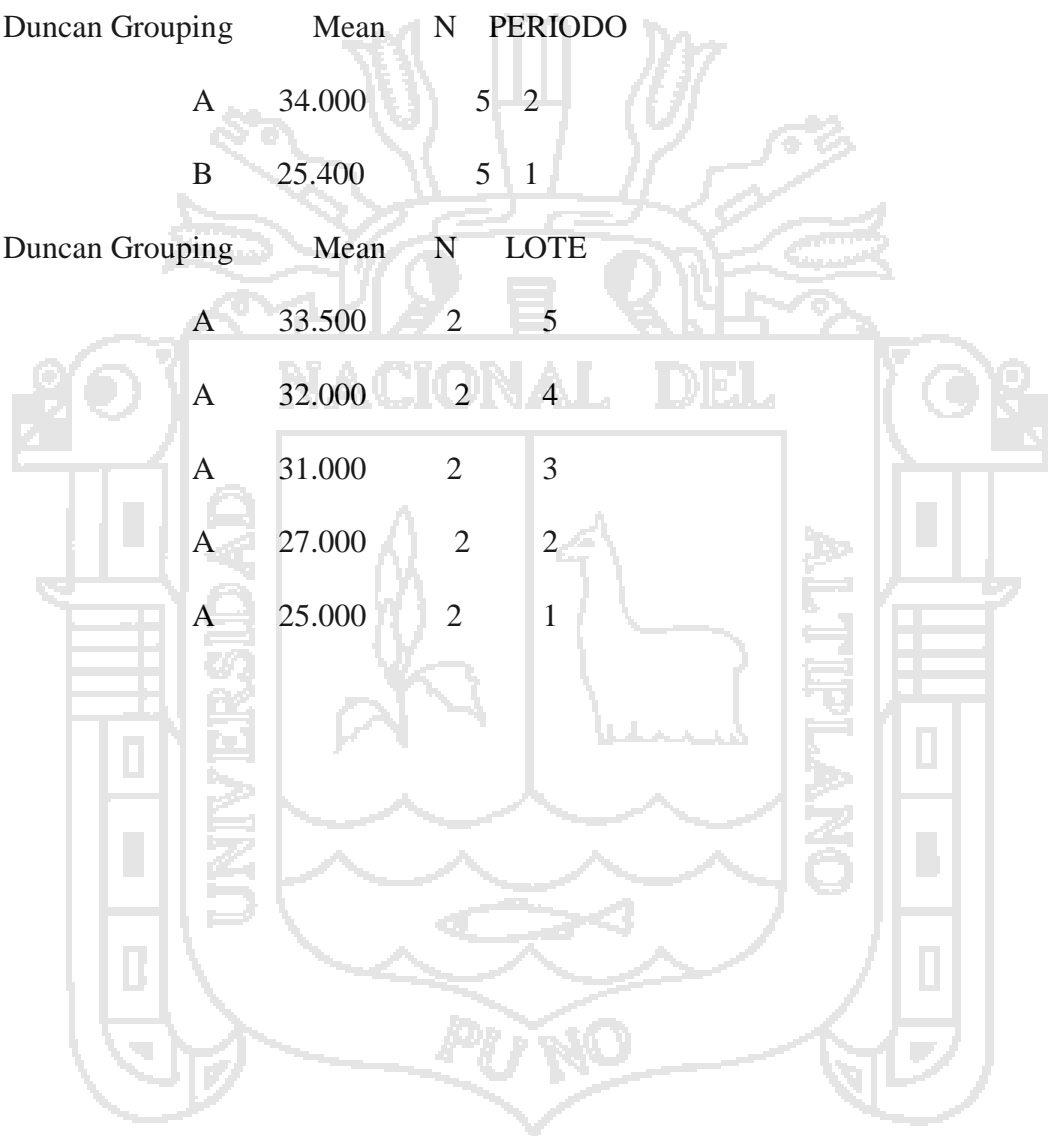
A 33.500 2 5

A 32.000 2 4

A 31.000 2 3

A 27.000 2 2

A 25.000 2 1



Anexo 10. Evidencias fotográficas



Figura 9. Camal del Calvario ubicado detrás del Calvario de Azoguini de la ciudad de Puno.



Figura 10. Camal del Calvario puno, ubicado detrás del Calvario de Azoguini de la ciudad de Puno.



Figura 11. Camal del Calvario Puno, ubicado detrás del Calvario de Azoguini de la ciudad de Puno.



Figura 12. Sacando muestra del rumen en Camal del Calvario Puno, ubicado detrás del Calvario de Azoguini de la ciudad de Puno.



Figura 13. Muestras de frutas y verduras en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano.



Figura 14. Muestras de frutas y verduras mezcladas con rumen en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano

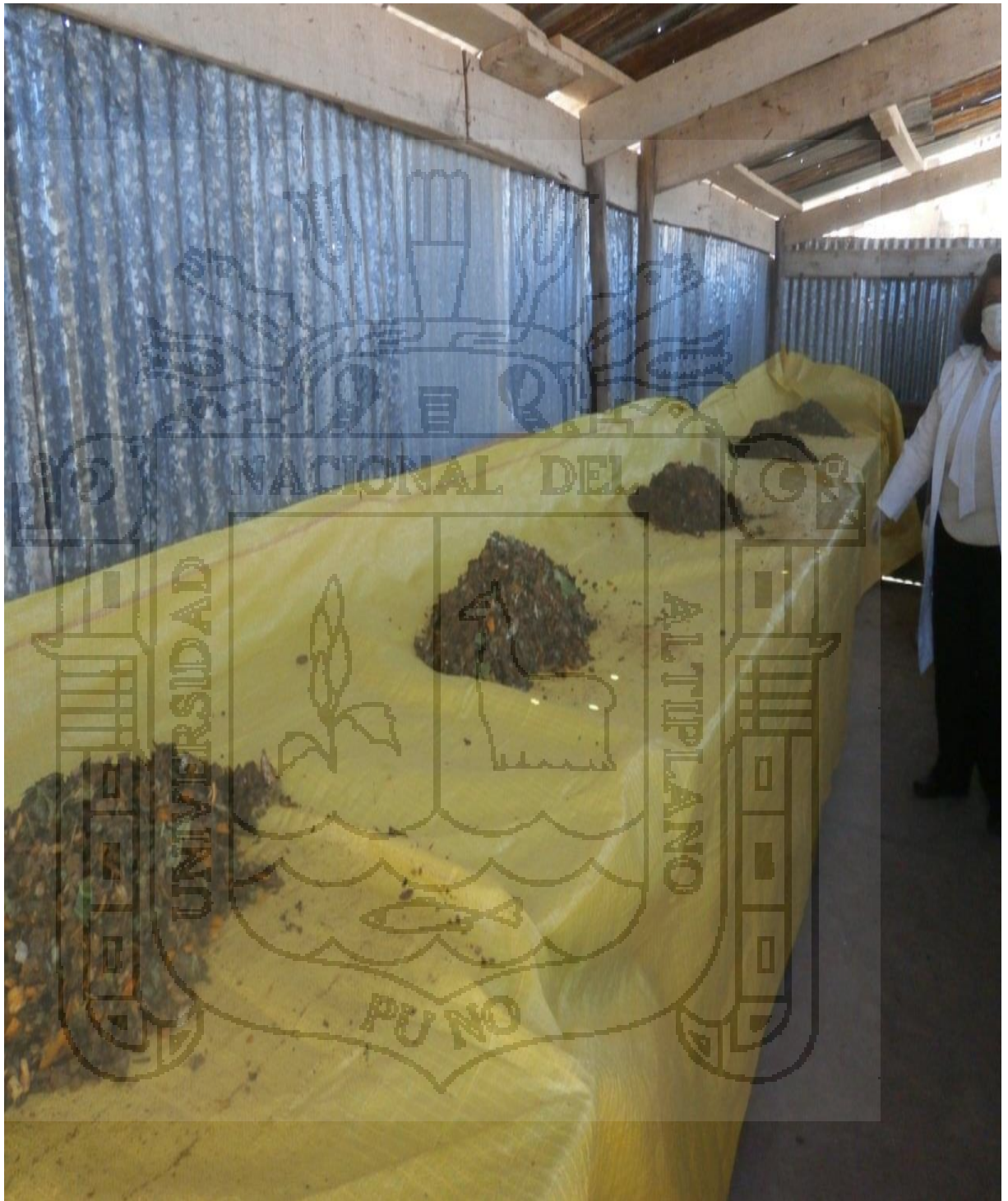


Figura 15. Muestras de frutas y verduras mezcladas con rumen en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano



Figura 16. Medición de temperatura en cada una de las muestras en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano



Figura 17. Medición de pH en cada una de las muestras en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano



Figura 18. Medición de pH en cada una de las muestras en el peachimetro del Laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingenieria Quimica de la Universidad Nacional del Altiplano



Figura 19. Peachimetro del Laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingenieria Quimica de la Universidad Nacional del Altiplano

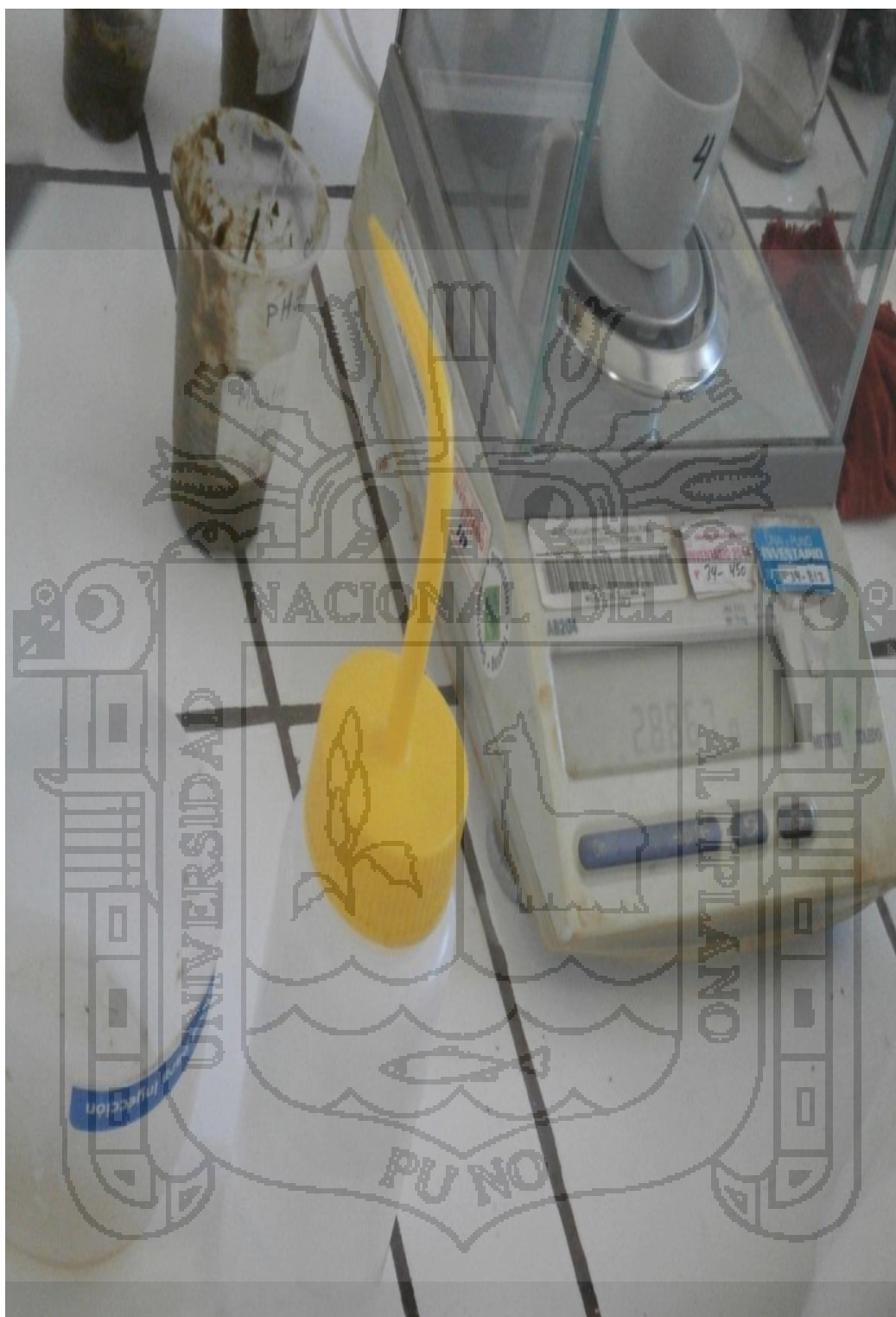


Figura 20. Balanza analítica para determinar el % de humedad del Laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano



Figura 21. Obtención del compost en el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano