

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“USO DE MATERIALES DE SOPORTE EN LA EFICIENCIA DEL
PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS VEGETALES DE
MERCADO”**

Presentada por:

MIGUEL ANGEL QUEVEDO BELTRÁN

**TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAGÍSTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima – Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“USO DE MATERIALES DE SOPORTE EN LA EFICIENCIA
DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS
VEGETALES DE MERCADO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

MIGUEL ANGEL QUEVEDO BELTRÁN

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Jose Luis Calle Maraví
PRESIDENTE

Mg.Sc. Rubén Bazán Tapia
PATROCINADOR

Ph.D. Lizardo Visitación Figueroa
MIEMBRO

Mg.Sc. Rosa María Miglio Toledo
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios siempre

A la familia, por su amor, paciencia y apoyo incondicional

“Faith is the bird that feels the light and sings when the dawn is still dark.”

Rabindranath Tagore

AGRADECIMIENTOS

Expreso una profunda gratitud al patrocinador Ruben Bazán Tapia por su apoyo, preocupación, paciencia y motivación con este trabajo de investigación.

Asimismo, agradezco encarecidamente a mí al Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR) y al Laboratorio de investigación en análisis de suelos, plantas y agua; así como al Centro de Investigación en Química, Toxicología y Biotecnología (CIQTOBIA) por colaborar con esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación	2
1.2. Objetivo General	3
1.3. Objetivos específicos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Terminología relacionada a la gestión de residuos de alimentos	4
2.2. El problema de la gestión de residuos de alimentos en el mundo	4
2.2.1 Hallazgos clave.....	4
2.2.2 Tipos de Pérdidas de Alimentos y desperdicio	6
2.2.3 Características de los residuos de alimentos o desperdicios vegetales.....	7
2.2.4 Impactos ambientales del desperdicio de los alimentos	8
2.3. El problema de la gestión de residuos de alimentos en el Perú.....	11
2.4. Materiales de Soporte (Bulking Agents)	14
2.4.1 Aplicación de Materiales de Soporte (Bulking Agents) en residuos de comida	14
2.4.2 Funciones Importantes de los Materiales de Soporte (Bulking Agents).....	15
2.5. Residuos de piña en el Perú.....	15
2.6. Propiedades de los residuos de piña	15
2.7. Parámetros físicos del compostaje	17
2.7.1 Densidad aparente.....	17
2.7.2 Porosidad y espacios libres de aire (Free Air Space)	18
2.7.3 Densidad de Partículas o Densidad Real.....	19
2.8. Experiencias similares de compostaje con materiales de soporte en el mundo	19
2.9. Experiencias similares en el Perú.....	20
2.10. Normas y reglamentos sobre compostaje	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1. Diseño de la investigación	23
3.1.1 Lugar donde se realizó la investigación.....	23
3.1.2 Materiales.....	24
3.1.3 Pretratamiento de los residuos de mercado	25
3.1.4 Determinación de las características del material de soporte (bulking agent) .	26
3.1.5 Construcción de las pilas de compostaje	27
3.1.6 Muestreo.....	28

3.1.7	Regulación de Humedad.....	29
3.1.8	Volteo de la Pila.....	29
3.1.9	Medición de variables en la pila de compostaje.....	29
3.1.10	Croquis Experimental.....	34
3.1.11	Análisis estadístico.....	35
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1.	Parámetros de caracterización de los materiales de soporte.....	36
4.2.	Parámetros físico-químicos del proceso de compostaje.....	37
4.2.1	Variación de la Temperatura en el tiempo.....	37
4.2.2	Variación del humedad en el tiempo.....	41
4.2.3	Variación del potencial de iones hidrogeno (pH) en el tiempo.....	43
4.2.4	Variación de la Conductividad eléctrica en el tiempo.....	45
4.2.5	Variación de la Densidad Aparente en el tiempo.....	47
4.2.6	Variación de los espacios libres de aire (FAS) en el tiempo.....	49
4.2.7	Nitrógeno Amoniacal.....	50
4.2.8	Nitratos.....	51
4.2.9	Cloruros.....	52
4.3.	Parámetros de evaluación de eficiencia del proceso de compostaje.....	53
4.3.1	Variación de la Relación C/N en el tiempo.....	53
4.3.2	Pérdida de Materia Orgánica.....	55
4.3.3	Pérdida de Nitrógeno Total.....	57
4.3.4	Variación de la generación de CO ₂ en el tiempo.....	59
4.3.5	Índice de Germinación.....	61
V.	CONCLUSIONES.....	64
VI.	RECOMENDACIONES.....	65
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
VIII.	ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de materiales compostables seleccionados	8
Tabla 2: Composición química de residuos de piña	16
Tabla 3: Rangos de estabilidad usando respirometría (Grupo A)	22
Tabla 4: Rangos de madurez usando pruebas en plantas (Grupo B)	22
Tabla 5: Parámetros de Caracterización de los materiales de soporte investigados	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución al azar de los tratamientos y bloques en el área experimental	34
Figura 2: Variación de la temperatura en el tiempo de muestreo	39
Figura 3: Variación promedio de la temperatura de los tratamientos	40
Figura 4: Variación de la humedad en el tiempo de muestreo	41
Figura 5: Variación de la humedad promedio de los tratamientos	42
Figura 6: Variación del pH en el tiempo de muestreo	44
Figura 7: Variación del pH promedio de los tratamientos	44
Figura 8: Variación de la Conductividad eléctrica en el tiempo de muestreo	46
Figura 9: Variación de la Conductividad eléctrica promedio de los tratamientos	46
Figura 10: Variación de la densidad aparente en el tiempo de muestreo	48
Figura 11: Variación de los espacios libres de aire (%) en el tiempo de muestreo	49
Figura 12: Variación de los espacios libres de aire (%) inicial promedio y prueba de comparación de Tukey (A)	50
Figura 13: Concentración promedio de nitrógeno amoniacal en el tiempo de muestreo	51
Figura 14: Concentración promedio de nitratos en el tiempo de muestreo	52
Figura 15: Concentración promedio de cloruros en el tiempo de muestreo	53
Figura 16: Variación de la relación C/N en el tiempo de muestreo	54
Figura 17: Relación C/N final y prueba de comparación de Tukey (A)	55
Figura 18: Pérdida promedio de materia orgánica durante el proceso de compostaje y prueba de comparación de Tukey (A)	56
Figura 19: Pérdida de nitrógeno total en el proceso de compostaje y prueba de comparación de Tukey (A)	58
Figura 20: Variación promedio de la generación de CO ₂ en el tiempo de muestreo	59
Figura 21: Generación de CO ₂ final promedio y prueba de comparación de Tukey (AB)	60
Figura 22: Índice de germinación promedio (%) de Compost final y prueba de comparación de Tukey (AB)	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Tabla de generación promedio mensual de residuos de piña (corona) entre los años 2011 - 2016	76
Anexo 2: Tabla de mediciones de temperatura evaluadas durante el compostaje	78
Anexo 3: Tabla de mediciones del contenido de humedad	83
Anexo 4: Tabla de mediciones de potencial de iones hidrógeno (pH)	83
Anexo 5: Tabla de mediciones de conductividad eléctrica (dS/m)	84
Anexo 6: Tabla de mediciones de la Densidad Aparente en el tiempo (Kg/m ³)	84
Anexo 7: Tabla de mediciones de los espacios libres de aire (%)	84
Anexo 8: Tabla de resultados de análisis de nitrógeno amoniacal	85
Anexo 9: Tabla de resultados de análisis de nitratos	85

Anexo 10: Tabla de resultados de análisis de cloruros	86
Anexo 11: Tabla de resultados de análisis de la relación C/N.....	86
Anexo 12: Tabla de resultados de pérdida de materia orgánica del proceso de compostaje (%)	87
Anexo 13: Tabla de resultados de pérdida de nitrógeno total del proceso de compostaje (%).....	87
Anexo 14: Tabla de resultados de Generación de CO2 durante el proceso de compostaje (mgCO2/g de Corg. día).....	88
Anexo 15: Tabla de resultados de Índice de germinación del compost final	88
Anexo 16: Pruebas estadísticas realizadas de parámetros de evaluación de eficiencia del proceso de compostaje	89
Anexo 17: Ensayos realizados durante la experimentación	97
Anexo 18: Fotografías	102

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1: Obtención de residuos vegetales de mercado.....	102
Foto 2: Picado de residuos de piña	102
Foto 3: Muestra de residuos en estado de descomposición utilizados	103
Foto 4: Determinación de nitrógeno Kejdhal	103
Foto 5: Determinación de la respiración microbiana.....	104
Foto 6: Pilas al inicio del proceso de compostaje.....	104
Foto 7: Pilas al final del proceso de compostaje	105
Foto 8: Tratamientos de la Prueba de Germinación.....	105

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la eficiencia del uso de residuos de corona de piña como material de soporte en el compostaje de residuos vegetales de mercado. Se establecieron 3 tratamientos TA, TB y TC. El tratamiento de TA consistió en pilas de 200kg de residuos vegetales de mercado (33,33% de papa, 33,33% de camote y 33,33% de zanahoria) sin piña, el tratamiento TB consistió en pilas de 200Kg de residuos vegetales de mercado (33,33% de papa, 33,33% de camote y 33,33% de zanahoria) con 20 Kg de piña (10% en peso) y el tratamiento TC que consistió en pilas de 200Kg de residuos vegetales de mercado (33,33% de papa, 33,33% de camote y 33,33% de zanahoria) con 60 Kg de piña (30% en peso). En todos los casos se realizó el primer volteo a los 10 días y luego semanales. Se midió la temperatura, el pH, conductividad eléctrica y la humedad para realizar seguimiento al proceso de compostaje, así mismo se midieron parámetros fisicoquímicos como la densidad aparente, los espacios libres de aire (FAS), el nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitratos, carbono orgánico y cloruros con la finalidad de controlar y generar los parámetros para evaluar la eficiencia del proceso de compostaje como la relación C/N, la pérdida de materia orgánica y la pérdida de nitrógeno. Así también, se evaluó la respiración microbiana para evaluar la estabilización y el índice de germinación para evaluar la maduración y la fitotoxicidad del compost final. Se observó que después de un proceso de compostaje de 105 días, existen diferencias significativas en el incremento de los espacios libres de aire (FAS) con el uso de residuos de corona de piña para los tratamientos TB y TC con respecto al tratamiento TA, sin embargo no existen diferencias significativas entre los tratamientos TA, TB y TC en lo que respecta a relación C/N final, pérdida de materia orgánica y pérdida de nitrógeno, mientras que el tratamiento TC presentó mejores resultados con respecto al tratamiento control TA para la respiración microbiana e índice de germinación, por tanto es posible utilizar los residuos de corona de piña para el compostaje de residuos vegetales de mercado porque reducen la humedad, favorecen la aireación y la estabilización así como la reducción de fitotoxicidad del compost final con respecto a realizar un compostaje sin utilizar estos residuos.

Palabras clave: Compost, residuos vegetales de mercado, desperdicio de alimentos, materiales de soporte, estabilización, maduración, pérdida de materia orgánica, pérdida de nitrógeno.

ABSTRACT

In this investigation we evaluated the efficiency of the use of crown pineapple waste as possible bulking agent to compost the food waste of markets. It was established 3 treatments TA, TB y TC. Treatment TA consisted on piles of 200 kg of food waste from market (33,3% of potato, 33,33% of sweet potato y 33,33% of carrot) without crown pineapple waste, treatment B consisted in piles of 200 kg of food waste from market (33,3% of potato, 33,33% of sweet potato y 33,33% of carrot) and 20Kg of crown pineapple waste (10% in weight) and the treatment TC that consisted (33,3% of potato, 33,33% of sweet potato y 33,33% of carrot) and 60Kg of crown pineapple waste (30% in weight). In All the treatments the first turning of piles were after 10 days and then once a week. It was measured temperature, pH, conductivity and moisture to make the monitoring to the compost process, likewise it was measured the physical-chemical parameters such as bulk density, free air space (FAS), total nitrogen, nitrate, organic carbon and Chlorides with the aim to control and generate the parameters to evaluate the efficiency of the composting process such as C:N ratio, organic matter loss and the nitrogen loss. It was also measured the respirometry rate to evaluate the stability degree and the germination index to evaluate maturity and fitotoxicity of final compost. According to the evidence of the variables measured with the methodology established, it was observed that after a composting process of 105 days, there are significant differences in the increasing to the free air space (FAS) with the use of crown pineapple waste for the treatments TB y TC respect to TA, but there is no significant differences between the treatment TA, TB and TC related to final C:N ratio, organic matter loss and nitrogen loss, while treatment TC showed better results than the treatment TA with respect to respirometry rate and germination index, so is possible to use crown pineapple waste because the reduce moisture, promote aeration and stability as well as the reduction of fitotoxicity of final compost with respect to make compost without using crown pineapple waste.

Keywords: Compost, market vegetable residues, food waste, bulking agent, stability, maturity, organic matter loss, nitrogen loss.

I. INTRODUCCIÓN

Los residuos orgánicos se originan directa o indirectamente en casi todas las actividades humanas. Su inadecuada gestión es fuente de contaminación del suelo, el aire y el agua, componentes importantes de los ecosistemas a los cuales pertenece el hombre, generando consecuentemente enfermedades a las poblaciones cercanas así como a la flora y fauna.

Siguiendo la tendencia mundial, la población en el Perú ha venido incrementándose. Esto se observó durante el periodo del 2004 al 2009 en poblaciones urbanas con más de 500000 habitantes, ocasionando una mayor demanda de productos y servicios, por tanto, una mayor generación de residuos sólidos orgánicos, representado un 50,91% del total per cápita a nivel nacional (MINAM, 2012).

Los mercados son una de las mayores fuentes de residuos orgánicos urbanos. Investigaciones iniciales en Lima (Monge, 1994), indican que a nivel metropolitano se generaban 63 Ton/día de residuos, de los cuales 77,24% eran orgánicos. Así mismo son comunes los residuos de alimentos, generándose 25 Kg por persona al año en promedio a nivel de América Latina.

El compostaje, una de las tecnologías más utilizadas y eficaces, se ha utilizado principalmente para el tratamiento de residuos agrícolas y residuos urbanos, siendo éstos últimos con menor frecuencia. Existen formas de optimizar esta tecnología, ya sea usando diferentes insumos a compostar, seleccionando e incrementando los microorganismos que realizan el compostaje y optimizando las condiciones para facilitar la biodegradación.

La presente tesis tuvo como propósito favorecer las condiciones del proceso de compostaje, optimizando las condiciones físico-químicas para la biodegradación, para lo cual se utilizó las coronas de piña como material de soporte para mejorar la estructura, incrementar la aireación y reducir la humedad del proceso de compostaje, buscando alcanzar una estabilización y maduración en menos tiempo así como con menos pérdidas de materia orgánica y nitrógeno.

1.1. Justificación

Los cambios en la economía, tecnología y la sociedad generaron el incremento en la población a nivel mundial, demandando mayor consumo de productos y servicios, ocasionando una mayor generación de residuos con respecto a otras épocas precedentes. Según informes de la gestión de residuos sólidos del MINAM (2009 y 2012), en nuestro país se ha venido realizando el esfuerzo para reducir la generación de residuos orgánicos sin embargo comparando los años 2009 y 2012, el porcentaje de residuos sólidos sigue siendo todavía considerable en 50,91%.

Estos residuos orgánicos provienen en parte de desperdicios y pérdidas de alimentos similares a los que se encuentran en empresas de “retailing” o “ventas al por menor” como los mercados mayoristas, supermercados, mercados distritales y verdulerías los cuales generan residuos producto del inadecuado manejo por no contar con la tecnología adecuada o buenas prácticas para su transporte, almacenamiento y preservación.

Según la FAO (2011) y HPLE (2014) en América latina la generación de desperdicios y pérdidas de alimentos es de 25 Kg por persona al año, representando un 18,65% de consumo per cápita al año; provenientes de cereales, raíces y tuberosas, plantas oleaginosas, frutas y vegetales, carne, pescado y productos de consumo diario como lácteos entre otros.

Por tanto la generación de desperdicios y pérdidas de alimentos es considerable, y como consecuencia genera problemas ambientales tales como reducción de la vida útil de los rellenos sanitarios los cuales solo son 9 en el Perú (CGR, 2013), la generación de gases de efecto invernadero más nocivos como es el caso del metano, contaminación de los cuerpos de agua superficial y del suelo así como la formación focos infecciosos de enfermedades ya que si se vierten los desperdicios de los mercados en botaderos, éstos son fuente de alimentos para vectores tales como las ratas, mosquitos, moscas entre otros (Martínez, 2012).

Este 25% de solamente desperdicios y perdidas de alimentos puede ser reutilizando a través del compostaje, considerado una de las tecnologías más disponibles y accesibles para tratar los residuos orgánicos, generando como producto el compost que puede utilizarse en diferentes actividades humanas como mejorador de las propiedades del suelo, filtro de contaminación así como para controlar la erosión y rehabilitar áreas degradadas.

Por este motivo la presente investigación busca optimizar el proceso de compostaje utilizando las coronas de piña como material de soporte (bulking agent) para propiciar las

condiciones adecuadas de biodegradación en las pilas de compostaje, generando así un mejor tratamiento de residuos vegetales de mercado con menos tiempo de estabilización y maduración así como menos pérdidas de materia orgánica y nitrógeno.

1.2. Objetivo General

- Evaluar la influencia del uso de materiales de soporte en la eficiencia del proceso de compostaje de residuos vegetales de mercado.

1.3. Objetivos específicos

- Determinar la estabilización del proceso de compostaje en términos de emisión de CO₂ y relación C/N en el proceso de compostaje.
- Determinar la madurez del proceso de compostaje en función de la prueba de germinación.
- Determinar las pérdidas de nitrógeno en el proceso de compostaje.
- Determinar las pérdidas de materia orgánica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Terminología relacionada a la gestión de residuos de alimentos

- **Residuo de alimento o desperdicio**

Se considera a un residuo de alimento, a todos los alimentos apropiados para el consumo humano que han sido descartados o dejados por estar estropeados al nivel de ser consumible sin importar la causa (HLPE, 2014).

- **Alimento perdido:**

Se refiere a la reducción en todos los estados de la cadena de alimentos antes de llegar a nivel de consumidor, en masa, de comida que fue originalmente destinada para consumo humano, sin importar la causa (HLPE, 2014).

2.2. El problema de la gestión de residuos de alimentos en el mundo

2.2.1 Hallazgos clave

Los aspectos clave a considerar de acuerdo a la FAO (2016) que considera los hallazgos de FAO (2011):

- Alrededor de un tercio de los alimentos producidos en el mundo para el consumo humano (aproximadamente 1 300 millones de toneladas anuales) se pierde (se tira) o desperdicia.
- Las pérdidas y el desperdicio de alimentos ascienden a aproximadamente 680 000 millones USD en los países industrializados y a 310 000 millones USD en los países en desarrollo.
- Los países industrializados y en desarrollo desperdician aproximadamente la misma cantidad de alimentos (670 y 630 millones de toneladas, respectivamente).
- Las tasas más altas de desperdicio se concentran en los grupos de frutas y hortalizas y raíces y tubérculos.

- Las pérdidas y el desperdicio anuales en el mundo alcanzan aproximadamente un 30 % para los cereales; entre un 40 y un 50 % para los cultivos de raíces, frutas y hortalizas; un 20 % para cultivos oleaginosos, carne y productos lácteos; y un 35 % para el pescado.
- Cada año, los consumidores de los países ricos desperdician casi tantos alimentos (222 millones de toneladas) que la producción de alimentos neta total del África subsahariana (230 millones de toneladas).
- La cantidad de alimentos que se pierden o desperdician cada año equivale a más de la mitad de los cultivos de cereales anuales del mundo (2300 millones de toneladas en 2009/10).
- Las pérdidas y el desperdicio de alimentos también provocan un importante derroche de recursos como agua, tierra, energía, mano de obra y capital y producen emisiones de gases de efecto invernadero innecesarias, contribuyendo así al calentamiento global y al cambio climático.
- En los países en desarrollo, las pérdidas y el desperdicio de alimentos ocurren principalmente en las primeras etapas de la cadena de valor de alimentos y pueden tener su origen en restricciones técnicas, financieras y de gestión tanto de las técnicas de recolección como de las instalaciones de almacenamiento y refrigeración. El fortalecimiento de la cadena de suministro a través del apoyo directo de agricultores e inversores en infraestructura, transporte, así como en una expansión de la industria alimentaria y del envasado puede ayudar a reducir la cantidad de alimentos que se pierden o desperdician.
- En los países de ingresos altos y medianos, las pérdidas y el desperdicio de alimentos se producen principalmente en las últimas etapas de la cadena de suministro. A diferencia de lo que ocurre en los países en desarrollo, el comportamiento de los consumidores desempeña un papel importantísimo en los países industrializados. El estudio señala una falta de coordinación entre los actores de la cadena de suministro como un factor añadido. Los acuerdos entre agricultores y compradores pueden ayudar a aumentar el nivel de coordinación. Otras medidas para reducir la cantidad de pérdidas y desperdicio radican en sensibilizar a las industrias, los comercios minoristas y los consumidores, y en encontrar usos beneficiosos para los alimentos que actualmente se tiran.

- Los supermercados imponen altos «estándares estéticos» para los productos frescos que conllevan el desperdicio de alimentos. Los supermercados rechazan algunos productos alimenticios en la explotación agrícola debido a estrictos estándares de calidad sobre el peso, tamaño y apariencia de los cultivos. Por tanto, una buena parte de los cultivos nunca quita la explotación. Aunque algunos cultivos desechados se usan como pienso, los estándares de calidad desvían alimentos concebidos en un principio para el consumo humano hacia otros usos (Stuart, 2009 citado por FAO, 2011).
- La imposibilidad de cumplir con unos estándares mínimos de inocuidad alimentaria puede conllevar pérdidas de alimentos y, en casos extremos, impactos en la situación de seguridad alimentaria de un país. Factores como toxinas de origen natural, agua contaminada, uso no inocuo de pesticidas y residuos de medicamentos veterinarios pueden provocar que los alimentos no sean inocuos. Las condiciones escasas y antihigiénicas de manejo y almacenamiento y la falta de un control de temperatura adecuado también pueden dar origen a alimentos no inocuos.
- Los sistemas comerciales inadecuados provocan altas pérdidas de alimentos en los países en desarrollo. Para minimizar las pérdidas, los productos básicos producidos por los agricultores deben llegar al consumidor de manera eficiente. Existen muy pocas instalaciones mayoristas, de supermercados y vendedores minoristas que provean unas condiciones apropiadas de almacenamiento y de venta para los productos alimentarios. Los mercados mayoristas y minoristas de los países en desarrollo suelen ser pequeños e insalubres, abarrotados y desprovistos de aparatos de refrigeración (Kader, 2005 citado por FAO, 2011).

2.2.2 Tipos de Pérdidas de Alimentos y desperdicio

FAO (2011) considera etapas de las cadenas suministro de alimentos por las que se generan las pérdidas de alimentos y desperdicio de productos básicos vegetales y animales:

a. Productos vegetales básicos y no básicos:

Producción agrícola: pérdidas generadas por daños mecánicos y/o derrames durante la cosecha (como es el caso de la trilla o recolección de la fruta), la separación de cultivos en la poscosecha, etc.

Manejo poscosecha y almacenamiento: pérdidas generadas por derrames y al deterioro de los productos durante el manejo, almacenamiento y transporte entre la finca de explotación y la distribución.

Procesamiento: pérdidas generadas por derrames y al deterioro de los productos durante el procesamiento industrial o doméstico (como es el caso de la producción de zumo, enlatado y cocción de pan). Las pérdidas pueden ocurrir cuando se separan los cultivos que no son apropiados para el procesamiento o durante las etapas de lavado, pelado, troceado y cocción, o al interrumpir procesos y en los derrames accidentales

Distribución: pérdidas y desperdicio en el sistema de mercado (como es el caso de los mercados mayoristas, supermercados, vendedores minoristas o mercados tradicionales). En la presente investigación nos enfocamos en residuos que se generan en esta etapa que tiene características parecidas a las que se generan durante la siguiente etapa.

Consumo: pérdida y desperdicio generado durante el consumo en el hogar.

2.2.3 Características de los residuos de alimentos o desperdicios vegetales

WASTE Consultants (1993) describen a los residuos municipales y dentro de estos a los vegetales que vienen a ser todos los residuos de estos productos vegetales ya sean frutos, raíces, tubérculos, cáscaras, tallos, semillas y hojas que se desperdiciaron o que no tienen un uso para los generadores.

De acuerdo a Rich *et al.* (2013), los residuos de alimentos tienen una relación C/N baja por lo general entre un promedio de 17 a 19,6; considerándose que estos residuos suelen estar mezclados con otros con alto porcentaje de nitrógeno como las verduras de tallos verdes, sin embargo existen residuos vegetales con relaciones C/N por encima de este valor como es el caso de las raíces y tubérculos.

Faucette *et al.* (2000) en la investigación que realizó con residuos de alimentos de preconsumo y postconsumo encontró las siguientes características que se identificaron también en la presente investigación:

- Considerable volumen (densidad aparente mayor a 700 Kg/m³), en comparación con los residuos inorgánicos como el metal, residuos de construcción entre otros.
- Humedad por encima del 70%.
- Variabilidad en su tamaño.
- Olores desagradables.
- Fuente de atracción de vectores tales como moscas entre otros.
- Tendencia a formar lixiviados por la inestabilidad de su degradación.
- Porcentaje de carbono cercano a 50%.
- Residuos usualmente mezclados con otros residuos inorgánicos.

Otras investigaciones como las realizadas por NRAES (1992) citado por Tucker (2005), encontraron las siguientes características de los residuos vegetales:

Tabla 1: Características de materiales compostables seleccionados

Material	Tipo de valor	%N (Peso Seco)	Relación C/N (en peso)	Contenido de Humedad% (peso húmedo)	Densidad Aparente (Kg/m³)
Residuos de frutas	Rango	0,9 – 2,6	20 – 49	62 – 88	-
Productos vegetales	Típico	2,7	19	87	940,34
Residuos vegetales	Típico	2,5 - 4	11 - 13	-	-

FUENTE: NRAES (1992) citado por Tucker (2005)

Es necesario señalar que estos valores son en general para estos tipos de residuos y no menciona específicamente que residuos, estos valores pueden diferir por variedades del mismo vegetal u otras consideraciones geográficas como tipo de procesamiento al que estuvo sujeto el residuo, fuente y actividad de la cual proviene el residuo entre otras.

Otra de las características importantes es la variabilidad del pH de los residuos vegetales. Tucker (2005) menciona que los materiales que se pueden compostar deben estar dentro de un rango tolerable de 5.5 a 9, aunque el rango preferible se encuentra entre 6,5 a 8.

2.2.4 Impactos ambientales del desperdicio de los alimentos

Como indica FAO (2014), los principales impactos ambientales del desperdicio de los alimentos en sus diferentes etapas son los siguientes:

a. Impactos a la atmósfera:

- **Emisiones de Gases de efecto invernadero (CO₂ eq)**

Los residuos de alimentos generan emisiones de CO₂ durante su descomposición así como CH₄ cuando son dispuestos inadecuadamente en el ambiente. Sin considerar las emisiones de deforestación y manejo de suelos orgánicos, las emisiones por desperdicios de alimentos son 2,7 Gigatoneladas de CO₂ equivalente a nivel global.

- **Emisiones de Amoniac**

Las emisiones de amoniac generan acidificación y eutrofización, la cantidad que determino la FAO (2014) fue solo en base a información disponible del Reino Unido.

b. Impactos en el Agua

- **Contaminación de pesticidas en Fuentes de agua para bebida**

Las fuentes de agua para bebida son contaminadas por el uso de pesticidas para la siembra de los alimentos que luego son desechados y terminan también en fuentes de agua para bebida. La magnitud del impacto fue basada en estimaciones con información que tenía el Reino Unido del uso de pesticidas.

- **Contaminación de nitratos en Fuentes de agua para bebida**

Las fuentes de agua para bebida son contaminadas por el uso de nitratos para la siembra de los alimentos que luego son desechados y terminan también en fuentes de agua para bebida. La magnitud del impacto fue basada en estimaciones con información que tenía el Reino Unido del uso de nitratos.

- **Uso del agua**

Los desperdicios de alimentos consumen en total 300 Km³ a nivel global considerando la irrigación total para producir el alimento tanto productos vegetales como animales. Estos valores fueron basados en los volúmenes basados en AQUASTAT en el 2013.

- **Escasez de agua**

Se genera la escasez de agua cuando se utiliza agua para producir los alimentos que se encuentra en muy poca cantidad para satisfacer otras necesidades básicas. El costo global de escasez de agua es 1.15 dólares/m³, en el caso de diferentes países varía según las condiciones geográficas entre 0,02 dólares/m³ a 18,8 dólares/m³. Estos valores fueron basados en información de Estados Unidos y reportados por AQUASTAT.

c. Impactos en el Suelo

- **Erosión del suelo**

Los residuos de alimentos generan erosión del suelo ocasionando por tanto pérdida de nutrientes, pérdida de productividad, pérdida del valor de las tierras utilizadas así como daños a la biodiversidad.

- **Ocupación del suelo**

Este impacto se por el cambio de uso del suelo, de uno forestal o humedal o natural hacia uno para uso agrícola con la finalidad producir estos alimentos sea vegetal o animal, esto ocasiona una reducción de los beneficios que proveen los ecosistemas que son reemplazados.

d. Impactos en la Biodiversidad

- **Pérdida de Biodiversidad por usos de pesticidas**

El uso de pesticida ocasiona la contaminación del hábitat de las especies cercanas a zonas donde se producen los alimentos que luego son desperdiciados. Los valores para estimar los costos de esta pérdida fueron tomados de Estados Unidos, Reino Unido y Tailandia para luego hacer estimaciones a nivel global.

- **Pérdida de biodiversidad por eutrofización**

El uso excesivo de fertilizantes que contienen nitrógeno y fósforo genera la eutrofización de las zonas cercanas a las áreas donde se produce el alimento que luego es desperdiciado. Los valores para estimar los costos fueron estimados con la información registrada en el Reino Unido.

- **Sobreexplotación de recursos hidrobiológicos**

La explotación excesiva de recursos hidrobiológicos para producir alimentos que luego son desperdiciados ocasiona no solo la pérdida de las especies que sustentan la cadena alimenticia sino también las funciones asociadas al ciclo del carbono del océano.

- **Perdida de polinizadores**

Los insumos utilizados y la pérdida de hábitat que afecta a los polinizadores ha generado 2,2 millones de dólares al Reino Unido en las últimas dos décadas para producir alimentos que luego son desperdiciados. El estudio menciona de acuerdo a las estimaciones que si la pérdida de polinizadores se debiera solo a la agricultura (un tercio del producto desperdiciado) entonces los residuos de alimentos serían responsables de 15 billones de dólares perdidos anualmente a nivel global.

2.3. El problema de la gestión de residuos de alimentos en el Perú

Existe un desconocimiento acerca de la cantidad exacta de residuos de alimentos generados en el Perú. Según informes de la gestión de residuos sólidos del MINAM (2009) y MINAM (2012), en nuestro país se ha venido realizando esfuerzo para reducir la generación de residuos orgánicos sin embargo comparando los años 2009 y 2012, el porcentaje de residuos sólidos siendo todavía considerable (50,91%).

De acuerdo a CEPAL (2016) durante el año 2012, en el Perú se generaron 6,2 millones de toneladas, 4,6 millones correspondían a residuos domiciliarios y 1,6 millones correspondieron a residuos comerciales y de otros sectores. En este año la composición de los residuos sólidos comprendió materia orgánica (50,9%), plásticos (10,1%) y residuos peligrosos (8,5%). En el caso de residuos sólidos no municipales alcanzaron los 11 millones de toneladas a nivel nacional de los cuales 98% se relacionaron con el sector agrícola y en menor proporción de los sectores vivienda y salud. Los residuos sólidos no municipales comprendían envases contaminados (41,4% de sus residuos peligrosos), en el sector pesquero las borras de aceite (52,5%); en comunicaciones, los residuos contaminados con mezclas y emulsiones de aceites y agua (65,7%); en agricultura los residuos de aceite (57,4%); en construcción y saneamiento, los residuos de lodos de pozo séptico, aguas

servidas y de lavados de equipos (99,7%), y en transporte, los residuos metálicos (38,05%) entre otros.

De acuerdo al Plan integral de Residuos sólidos 2016 - 2024 desarrollado por MINAM (2016), en el 2014 se generó un total de 7497482 t/año de residuos urbanos municipales, de los cuales un 64% son residuos domiciliarios y un 26% son residuos no domiciliarios, siendo la región costa (principalmente Lima Metropolitana y Callao) la que genera mayor cantidad con 9794 t/día. A nivel nacional la generación promedio fue de 13244 t/día, mientras que Lima Metropolitana y Callao generaron 5970 t/día seguido del resto de ciudades de la costa con 3224 t/día, las ciudades de la sierra con 2736 t/día y de la selva con 1314 t/día. Así también en este plan MINAM (2016) indica que la composición de los residuos sólidos de ámbito municipal generados en el 2014 comprende 53,14 % de materia orgánica, el 18,64% de residuos no reaprovecharles, el 18,64% de residuos reaprovecharles y 6,83% de residuos reciclables. Por otro lado, en el caso de los residuos no municipales correspondientes a los sectores manufactura, pesquería, acuicultura, agricultura y salud solo se contó con información del 2013 que indica que se generó 1,03 millones de toneladas de las cuales 80% provenían del sector manufactura y en contraste en el año 2012 se generó 11,03 millones de toneladas, MINAM (2016) indica que esto se debió a malas gestiones de información de los sectores del estado.

Como se ha podido apreciar la composición de la materia orgánica se ha mantenido por encima del 50%, y con el tiempo los estudios han podido identificar el porcentaje que es reaprovechable (18,64%), sin embargo los estudios no indican mayor información sobre cuál es la composición del porcentaje de materia orgánica o residuos reaprovechables, por tanto es aún más desconocido el porcentaje de residuos de alimentos o desechos que se pierden en las diferentes fases de la producción de alimentos.

CARETAS (2016) menciona que sólo los supermercados generan 7 millones de toneladas/año lo cual representa 500 millones de soles y que las empresas de retail prefieren eliminar estos desechos que todavía pueden ser comestibles pero que por defectos estéticos o de empaque no son vendidos, esto debido a que la Ley que promueve la donación de alimentos y facilita el transporte de donaciones en situaciones de desastres naturales (Ley N° 30498), establece que la SUNAT solo admite una deducción de los gastos por concepto

de donación del 10% de la renta de tercera categoría y considera que la deducción de los gastos no podrá exceder del 3% de la venta neta.

Por otro lado Diario Gestión (2015) menciona que sólo los supermercados desechan más de S/. 300 millones anuales de estos productos por la falta de un marco legal adecuado precisamente porque se requiere aprobar un proyecto de ley que permita registrar como gasto deducible del Impuesto a la Renta el 100% de las donaciones de alimentos que realicen las empresas así mismo se debería eliminar el Impuesto General a las Ventas (IGV) de las donaciones de alimentos que se realicen, tanto para las productoras y comercializadoras, como para los que prestan servicios de distribución.

Según la FAO (2011) y HPLE (2014) en latino américa la generación de residuos de alimentos es 25 Kg por persona al año, lo que representa un 18,65% de consumo per cápita al año, estos residuos comprenden residuos de alimentos y alimentos perdidos tales como cereales, raíces y tuberosas, plantas oleaginosas, frutas y vegetales, carne, pescado y productos de consumo diario como lácteos entre otros.

Así mismo, CIP (2016) menciona que solo en el caso de la papa entre los años 2002 y 2010 a nivel nacional se produjo en promedio cada año 489,59 miles de toneladas de mermas de papa lo cual representa 15 % de la producción nacional. En lo que respecta a otras cadenas productivas de otros productos no se cuenta con información por tener menos información disponible registrada.

De lo expuesto se ha podido apreciar que los residuos de alimentos o desechos es un problema que abarca diferentes etapas de su producción y si bien se tiene una gestión, ésta no ha sido destinada a buscar otras alternativas que no sean disposición final o incineración. En la presente investigación se busca utilizar el compostaje debido a que es una de las tecnologías más prácticas de realizar y de menor costo de mantenimiento para tratar los residuos de alimentos o desechos de mercados que no puedan ser utilizados para alimentar debido a su estado de descomposición o su inutilidad en otros ámbitos de las actividades a nivel nacional.

2.4. Materiales de Soporte (Bulking Agents)

Los materiales de soporte juegan un importante rol en el compostaje porque proveen una mejor valoración de nutrientes, una mejor aireación, reducen la humedad y regulan el pH (Batham *et al.*, 2013). Ha sido demostrado que materiales de soporte como residuos de cultivos de arroz y aserrín incrementaron la degradación y lograron una buena calidad del compost de residuos de comida, así también; materiales de soporte como la paja, el aserrín, cáscaras de maní, turba, cascarillas de arroz, entre otros han sido muy efectivos para el compostaje de estiércol de cerdo y lodos de aguas residuales. Como señala Rich *et al.* (2013), una de las principales características de los materiales de soporte es que estos proveen un porcentaje óptimo de los espacios libres aire (FAS), el cual es un indicador de cantidad y movimiento de aire a través de la matriz del compost. Así mismo Chang y Chen (2010) citados por Rich *et al.* (2013), encontraron que utilizar aserrín como material de soporte para el compostaje de residuos de alimentos generó en un incremento de la capacidad de absorción de agua del compost y el porcentaje de producción de compost así como la reducción del pH final, del tiempo de compostaje y de la acidificación.

Tucker (2005) menciona que la estrategia para utilizar materiales de soporte (bulking agents) es la siguiente:

- El material se biodegrada con el resto de materiales a compostar y forma parte del producto final como es el caso de la viruta.
- El material no se biodegrada o se biodegrada mucho más lentamente que el resto de materiales a compostar, luego es separado del producto final y reciclado para reuso, como es el caso de residuos de madera más grandes que las virutas.

2.4.1 Aplicación de Materiales de Soporte (Bulking Agents) en residuos de comida

El uso de los materiales de soporte (bulking agents) tales como aserrín, residuos de cultivos de arroz, virutas de madera y cascaras de maní; mejoran el proceso de compostaje al reducir los olores, ajustar la humedad, mantener el contenido de nitrógeno, la relación C/N y la aireación de los materiales a compostar. Estos materiales propician una mejor biodegradación de los residuos de comida logrando un compost útil (Batham *et al.*, 2013).

2.4.2 Funciones Importantes de los Materiales de Soporte (Bulking Agents)

Las funciones de los materiales de soporte (bulking agents) en el proceso de compostaje son las siguientes (Batham *et al.*, 2013):

- Ajuste de pH entre 6 y 8 el cual es el rango óptimo.
- Aceleran el proceso de compostaje al modificar la densidad aparente de forma específica en los residuos a compostar.
- Controlar y mantener la relación C/N apropiada.
- Mejoran la capacidad de absorción de agua de los materiales a compostar.
- Promover una adecuada aireación de tal forma que se facilite la existencia de Espacios libres de aire para un mejor y más rápido proceso de compostaje.

2.5. Residuos de piña en el Perú

Los residuos de piña en el Perú, que comprenden cáscaras, tallos y coronas principalmente no han sido monitoreados en los últimos años. Sin embargo de acuerdo a los últimos registros realizados por MINAGRI (2016) sobre los ingresos al mercado mayorista de frutas N°02 se generan mensualmente los datos señalados en la tabla del Anexo 1, considerando que la corona de una piña pesa 0,25 Kg en promedio y representa el 10,58 % del fruto, entonces mensualmente se genera en promedio 390,23 Toneladas de coronas de piña, así mismo es importante señalar que la producción de piña no varía durante el año a pesar de la estacionalidad.

2.6. Propiedades de los residuos de piña

Upadhyay *et al.* (2010) mencionan que es común que las partes no comestibles de la piña se conviertan en un residuo y que la piña suele desperdiciarse por mal manejo en transporte y almacenamiento así como condiciones ambientales adversas generándose hasta un 55% de residuo, así mismo, 40 a 80% del fruto de la piña se descarta como residuo generando una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) (Bankoffi y Han, 1990 citados por Upadhyay *et al.*, 2010). Estos investigadores recopilaron las propiedades químicas de los residuos de piña que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2: Composición química de residuos de piña

Parámetros	Ensilado^a	Fresco^a	Seco^a	Cáscaras^b	Completo^c	Piel^c	Corona^c	Pulpa^c
Humedad (%)	72,49	71,07	27,43	92,2	-	-	-	-
Sólidos totales (%)	27,51	29,03	72,57	7,8	-	-	-	-
Sólidos Volátiles (%)	87,12	96,12	95,9	89,4	-	-	-	-
pH	4	4,7	-	-	-	-	-	-
Cenizas (%)	12,88	3,88	10,6	10,6	0,7	0,6	0,4	0,2
Como % en base seca								
Celulosa	9	11,2	12	19,8	19,4	14,0	29,6	14,3
Hemicelulosa	4,7	7	6,5	11,7	22,4	20,2	23,2	22,1
Pectina	5,1	6,7	7,1	-	-	-	-	-
Sólidos de Ether Soluble	4	6,1	6,7	-	-	-	-	-
Proteína	0,91	3,13	3,3	-	4,4	4,1	4,2	4,6
Azúcares reductores	5	25,8	27,8	-	6,5	-	-	-
Azúcares no reductores	1,7	5,7	4,9	-	5,2	-	-	-
Azúcares Totales	-	-	-	-	11,7	-	-	-
Lignina	9	11,52	-	-	4,7	1,5	4,5	2,3

FUENTE: ^aRani *et al.*, (2004), ^bBardiya *et al.*, (1996), ^cBankoffi y Han, (1990) citados por Upadhyay (2010).

Mainoo *et al.* (2009) investigaron el vermicompostaje de residuos de piña logrando 0,4% de nitrógeno total, 0,4% de fósforo total y 0,9 % de potasio total así como una relación C/N de 9-10. Se han venido realizando los esfuerzos para que se reduzca la generación de residuos de piña reutilizándolos para la extracción de compuestos valiosos como la bromelaína y antioxidantes fenólicos los cuales son utilizados en la industria farmacéutica, como es el caso de los tallos. Sin embargo no se ha encontrado mucha información acerca de la posible reutilización de las coronas.

2.7. Parámetros físicos del compostaje

2.7.1 Densidad aparente

La densidad aparente húmeda es la cantidad de masa (sólidos y agua) en un volumen dado, ésta es importante para las mezclas de materiales a compostar, mientras que la densidad aparente seca es el volumen de sólidos en un volumen dado. Altos valores de densidad aparente en general indican un incremento en masa y una reducción en la porosidad y volumen de aire, mientras que muy bajos valores de densidad aparente indican excesiva aireación de sustrato e indirectamente una caída en la fracción de agua disponible (Agnew y Leonard, 2003).

La densidad aparente influye en las propiedades mecánicas como resistencia a compresión, porosidad y facilidad de compactación por lo que es importante manejar la densidad aparente para la aireación del proceso de compostaje. La densidad aparente varía en función de la altura de la carga a compostar, al respecto Schaub - Szabo y Leonard (1999) citados por Agnew (2002) encontraron esta relación encontrando una fórmula empírica que se muestra continuación:

$$BD = Az^B$$

Donde:

A es la constante dependiente del material.

BD es densidad aparente húmeda en Kg/m³.

Z es la altura de la carga a compostar.

B es el exponente indicador de la compresibilidad del material a compostar.

Estos investigadores encontraron que a una humedad del 47 %, A tendría un valor de 495 y B el valor de 0.104. Es necesario mencionar que estos investigadores llegaron a esta fórmula empírica a nivel de laboratorio.

2.7.2 Porosidad y espacios libres de aire (Free Air Space)

La porosidad es el porcentaje poros llenados con agua o aire en la matriz de compost (Baker *et al.*, 1998 citados por Agnew, 2002), la cual determina el agua y aire disponible para los microorganismos. Es necesario un concentración de oxígeno de 5% en los poros de la matriz y una humedad de un 50% (Rynk, 1992 citado por Agnew, 2002). Los espacios libres de aire de una matriz orgánica insaturada influyen también en los procesos de calor y transporte de masa así como los coeficientes de difusión de oxígeno y factores de fricción (Oppenheimer *et al.*, 1996 citados por Agnew, 2002).

El flujo de aire promueve las siguientes funciones:

- Alimentación necesaria de las demandas de oxígeno por los microorganismos así como remoción de Dióxido de Carbono y amonio (Haug, 1995 citado por Agnew, 2002).
- Remoción de humedad (Haug, 1995 citado por Agnew, 2002).
- Remoción de calor (Haug, 1995 citado por Agnew, 2002).

Tal como menciona Rynk (1992), Jeris and Regan (1973) así como Haug (1995) citados por Agnew y Leonard (2003), si bien la continuidad de los poros influencia cuan fácilmente fluye el agua o el aire, los espacios libres de aire influyen en los procesos transporte de calor y masa por tanto en la cinética microbiana. Así mismo los espacios libres de aire no implican un relación estrechamente directa en con la continuidad de los poros, pero si nos permite saber que tan fácil es la convección de aire que facilita la transferencia de oxígeno a través del compost. Agnew y Leonard (2003) así como Tucker (2005) mencionan que los valores de espacios libre de aire (FAS) propuestos por Shulze (1962) deben ser por lo menos 30%, sin embargo otros autores como Rynk (1992) así como Nappi y Barberis (1993) citados por Agnew y Leonard (2003) mencionan que la porosidad óptima para una descomposición aeróbica debe estar entre el rango de 85% a 90%.

Shell (1955), Hamelers (1992) y Tseng *et al.* (1995) citados por Agnew (2002) recomiendan que si no se usan sistemas activos de aireación, se debería asegurar que las propiedades físicas de los materiales a compostar eviten que el oxígeno limite el proceso de compostaje. Este análisis fue tomado en consideración para realizar la presente investigación.

2.7.3 Densidad de Partículas o Densidad Real

La densidad real es la relación entre la masa de los sólidos y el volumen que éstos sólidos ocupan. Investigadores como Baker *et al.* (1998) citados por Agnew (2002) comenzaron a realizar investigaciones sobre esta propiedad pero no establecieron relaciones entre la densidad aparente húmeda.

2.8. Experiencias similares de compostaje con materiales de soporte en el mundo

Mainoo *et al.* (2009) investigó el vermicompostaje de residuos de piña logrando 0,4% de nitrógeno total, 0,4% de fósforo total y 0,9 % de potasio total así como una relación C/N de 9-10. Esta investigación fue considerada en la presente tesis. Se han venido realizando los esfuerzos para que se reduzca la generación de residuos de piña reutilizándolos para la extracción de compuestos valiosos como la bromelaína y antioxidantes fenólicos los cuales son utilizados en la industria farmacéutica, como es el caso de los tallos. Sin embargo no se ha encontrado mucha información acerca de la posible reutilización de las coronas.

Chang *et al.* (2006) realizaron la el compostaje a escala de laboratorio, para lo cual utilizaron residuos de comida para perro (2,4 Kg), cascarillas de arroz (6 kg) así como compost maduro (1,6 Kg), los cuales monitorearon en sistemas de reactores durante 4 días con una emisión máxima entre 340 a 400 g de CO₂/ Kg de muestra al día, un pH que comenzó cercano a la neutralidad seguido de una caída a 5 y luego llegó a 9 así como una conversión de carbono entre el 14,2% a 24,3%.

Ahmed *et al.* (2013) realizaron el co-compostaje de hojas de piña *Ananas comosus* y estiércol de pollo en el que utilizaron 4 cajas construidas para realizar el compostaje con mezclas de insumos como las hojas piña, sobras de alimentos de pollo, melaza y estiércol de pollo con la finalidad de evaluar sus propiedades fisicoquímicas y realizar pruebas biológicas para determinar la calidad del compost producido. Estos investigadores concluyeron que el compost producido después de 57 días no tuvo malos olores, presentó bajo contenido de metales y comparable cantidad de nutrientes, así también los niveles de fitotoxicidad fueron bajos (índice de germinación mayor al 80%) por lo que recomiendan se utilice los residuos de hojas de piña y estiércol de pollo para optimizar los procesos de compostaje.

Liu *et al.* (2013) evaluó los efectos de compost de residuos de piña en las propiedades de suelo así como el crecimiento y rendimiento de cultivos de piña, para esto construyeron una pila de 2000 kg, después de 3 meses compostaje se aplicó el compost a parcelas con cultivos

de piña de 15 m² a una razón de 40 000 kg/ha. Durante el ciclo vegetativo se evaluaron diferentes propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo así como variables para determinar el crecimiento y desarrollo. Los investigadores concluyeron que el compost de residuos de piña redujo la densidad aparente e incrementó la materia orgánica, el nitrógeno, fósforo y potasio disponible, así también se incrementó la actividad microbiana y la abundancia de bacterias, hongos y actinomicetos beneficiosos así como mejor rendimientos de frutos de piña.

2.9. Experiencias similares en el Perú

Monge (1994) realizó el estudio de la compostificación de residuos de mercado de EMMSA para lo cual evaluó el desempeño de 10 pilas de 2 toneladas cada una de dimensiones de 4 m de largo, 2,5 de ancho y 1,5 m de altura. En esta investigación no utilizaron materiales de soporte sin embargo facilitaron la aireación mediante volteo mecánico lo cual permitió reducir el tiempo de estabilización y mejores resultados.

Arenas *et al.* (2002), realizaron la caracterización de residuos sólidos urbanos (áreas verdes y mercados) para la elaboración de compost en el distrito de Los Olivos en la cual encontró un generación de 547.87m³ o 164 toneladas/mes, descubriendo que los mercados generaban mayor cantidad de residuos orgánicos de origen vegetal (96,91%), mientras que los residuos de áreas verdes comprendieron 40179,61 m³ de grass de los cuales 38082,0 m³ procedían de los parques de Los Olivos, siendo por tanto que es factible realizar una planta piloto de compostaje de un sistema de pilas abiertas.

Castro *et al.* (2006) estudiaron el aprovechamiento del aserrín de estoraque, capirona y de la mezcla de aserrín generado en el distrito de Villa el Salvador para lo cual evaluaron el proceso de compostaje y la calidad agronómica de los compost obtenidos, logrando un compostaje en un período de 4 meses.

Carrasco (2009) investigó la calidad de los sustratos bagacillo, aserrín o ichu picado para el compostaje, para poder identificar las mejores condiciones de temperatura, reducción tiempo de maduración, de los malos olores y humedad en el proceso de compostaje con la aplicación de microorganismos EM.

Estas experiencias anteriores en el Perú nos han mostrado que si se ha venido realizando la utilización de los residuos tales como aserrín, ichu picado con la finalidad de poder reciclarlo y que forme parte del producto compostado, sin embargo no se ha investigado acerca de

cómo estos materiales utilizados y otros pueden mejorar el proceso de compostaje con la finalidad de poder lograr una estabilización y maduración del producto en menos tiempo así como menos pérdidas de nitrógeno y carbono. Esta optimización utilizando coronas de piña como material de soporte (bulking agent) en el proceso de compostaje fue materia de la presente investigación.

2.10. Normas y reglamentos sobre compostaje

Existe diferentes formas de identificar la calidad, la madurez así como la estabilización del compost, así por ejemplo la norma realizada por la Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) de acuerdo a la “Guía para la calidad del Compost” (CCME, 2005), o la norma austriaca ÖNORM S2220 1993 (ÖNORM, 1993). Se utilizó la norma de la California Compost Quality Council CCQC (2001) que establece el índice de Madurez de Compost que es comúnmente aceptado por laboratorios en los Estado Unidos el cual recomienda lo siguiente:

Es necesario muestrear la relación C/N la cual debe ser menor o igual a 25.

Este índice de madurez no acepta un solo parámetro sino al menos uno más de los parámetros del grupo A y B además de la relación C/N, los cuales pueden ser los siguientes:

Grupo A

- Evolución de CO₂ o respiración
- Demanda de oxígeno
- Prueba Dewar de autocalentamiento.

Grupo B

- Ratio de Amonio: nitrato.
- Concentración de Amonio
- Concentración de Ácidos orgánicos volátiles.
- Pruebas en plantas.

De todos estos parámetros se consideró la relación C/N, la respiración de CO₂ así como la prueba de germinación para la evaluación de la influencia de las coronas de paja (bulking agent) en la eficiencia del proceso de compostaje. Considerando los parámetros de estos grupos se comparó los resultados de la presente investigación con los rangos de las siguientes tablas:

Tabla 3: Rangos de estabilidad usando respirometría (Grupo A)

Parámetro	Unidad	Muy estable	Moderamente estable	Menos estable
Carbono biológicamente disponible	mg CO ₂ -C / g C Org al día	< 2	2- 4	> 4

FUENTE: California Compost Quality Council (2001).

Tabla 4: Rangos de madurez usando pruebas en plantas (Grupo B)

Parámetro	Unidad	Bastante maduro	Moderamente maduro	Inmaduro
Índice de Germinación	%	> 90	80 - 90	< 80

FUENTE: California Compost Quality Council (2001).

Estos rangos se tomaron referencia para tomarlos como parte del análisis en la evaluación de la eficiencia del proceso de compostaje

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño de la investigación

El diseño fue experimental. Se utilizaron los residuos de alimentos de los mercados de mayoristas de Lima, los cuales tienen diferentes tipos de residuos vegetales entre otros.

Se estableció la relación C/N óptima posible con los residuos disponibles, se picó el material, seguidamente se mezcló uniformemente para poder utilizar diferentes proporciones de coronas de piña (bulking agent), con la finalidad de incrementar los espacios libres de aire (FAS), reducir la humedad excesiva y ajustar la relación C/N de la mezcla de residuos de mercado que fueron compostados. Se llevó a cabo un control de proceso registrando los valores de las variables durante la experimentación y en función a los requerimientos de las unidades experimentales se realizaron acciones para procurar un buen compostaje.

3.1.1 Lugar donde se realizó la investigación

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos y Aguas Residuales (CEMTRAR) de la UNALM; se hizo uso del Laboratorio de Investigación en Análisis de suelos, plantas y agua, así como del Centro de Investigación en Química, Toxicología y Biotecnología (CIQTOBIA), todos pertenecientes a la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM).

Las condiciones climatológicas corresponden a una zona árida con una temperatura promedio de 18 °C y una precipitación promedio de 5 mm anuales, perteneciente al desierto árido subtropical de acuerdo al sistema modificado de Koppen (Córdoba, 2007).

3.1.2 Materiales

a. Fuentes de materia primas

- Residuos de mercado (papa, comete y zanahoria) provenientes del “Gran Mercado Mayorista de Lima”.
- Agua de riego
- Materiales de soporte (bulking agents) provenientes de la comercialización de piña del Mercado Mayorista de Frutas N°2.
- Materiales para la determinación de nitrógeno total Kejdhal.
- Materiales para la determinación del Carbono Total.
- Baldes de plástico
- Envases de plástico
- Agua de riego
- Agua Destilada
- Reactivos para la determinación de nitrógeno Kejdhal
- Reactivos para medición de estabilización (NaOH)

b. Equipos

- Balanza electrónica
- Balanza tipo plataforma
- Termómetro digital
- Potenciómetro portátil
- Conductímetro portátil
- Estufa eléctrica
- Cámara fotográfica
- Cromatógrafo de iones.
- Equipo para medir colorimetría
- Máquina picadora
- Máquina agitadora de soluciones.

c. Materiales diversos

- Mangueras
- Trinches
- Lampas
- Carretillas bugui
- Bolsas de celofán
- Sacos y mantas
- Envases de plástico
- Vasos de precipitación
- Wincha metálica
- Guantes de plástico
- Materiales de escritorio

3.1.3 Pretratamiento de los residuos de mercado

El área utilizada para el compostaje, fue debidamente limpiada para poder llevar a cabo la experimentación. Se recibieron los residuos (desechos de papa, camote y zanahoria) así como el material de soporte (coronas de piña) para construir las pilas. Los residuos de mercado biodegradables fueron seleccionados, separando los residuos no biodegradables y aquellos que afectan el proceso de compostaje como: vidrio, metales, plásticos y residuos de animales tales como grasas y tejidos. Luego se procedió a reducir el tamaño de los vegetales y las coronas de piña (materiales de soporte) a partículas mayores o iguales a 4 cm según lo recomendado por Huet *et al.* (2012). Seguidamente se juntaron los diferentes tipos de residuos de tal forma que fueran lo más homogéneos posibles, buscando lograr una la relación C/N cercana al rango de 25 a 30 y la humedad más adecuada posible según las condiciones disponibles en que se encontraban los residuos proporcionados por el “Gran Mercado Mayorista de Lima”.

3.1.4 Determinación de las características del material de soporte (bulking agent)

Las características del material de soporte (coronas de piña picada) fueron medidas antes de ser mezcladas con el resto de residuos vegetales de mercado mediante las siguientes variables de evaluación:

a. Potencial de Iones Hidrógeno (pH):

Se determinó el pH mediante el método potenciométrico, para lo cual se tomó como referencia la norma ÖNORM M 6201, que consiste en extraer una muestra y hacer una dilución 1:10 con agua destilada, agitar por 5 minutos y luego dejarla en reposo por dos horas para luego medir el pH con el potenciómetro (ÖNORM, 2006).

b. Densidad Aparente

La densidad Aparente se determinó siguiendo el método establecido por la Ohio State University (2015), para lo cual se utilizó un balde de 1 galón para luego pesar el balde, el volumen de agua a una marca conocida así como el volumen del compost, seguidamente se obtuvieron los resultados de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{1000 \text{ kg de } H_2O}{m^3} \times \frac{W_{bc} - W_b}{W_{bw} - W_b}$$

W_b = Peso del balde

W_{bw} = Peso del balde con agua

W_{bc} = Peso del balde con compost

c. Espacios Libres de Aire (FAS)

Los espacios libres de aire se determinaron en función a los datos obtenidos para determinar la densidad aparente y la mezcla de compost con agua a una marca conocida como indica la Ohio State University (2015), como se muestra a continuación:

$$\text{Espacios libre de aire (FAS)} = \frac{Wbcw - Wbc}{Wbw - Wb} \times 100 \%$$

Wb = Peso del balde

Wbw = Peso del balde con agua

Wbc = Peso del balde con compost

Wbcw = Peso del balde con compost y agua

d. Capacidad de absorción de agua

Se determinó la capacidad de retención de agua de acuerdo a Adhikari *et al.* (2008) citados por Iqbal *et al.* (2010) que consistió en humedecer con agua destilada por 24 horas la muestra para luego secarla a 105°C por 24 horas hasta que las muestras de agua gravitacional hayan sido drenadas, luego el agua total absorbida fue la diferencia entre el peso de la muestra humedecida y el peso de la muestra seca, calculándose de esta forma:

$$WAC(\%) = 100 \times \frac{(WAB - Wdry)}{Wdry}$$

Dónde: WAB es el peso de la muestra humedecida, Wdry es el peso de la muestra seca.

e. Relación Carbono/Nitrógeno

Se determinó la relación carbono nitrógeno de acuerdo a la división entre la concentración de carbono total obtenido por diferencias de pesos de muestra fresca con muestra sometida a calcinación (550 °C) por 5 horas, y el Nitrógeno total determinados por el Método Kjeldahl como recomienda norma Ö NORM S 2023 (Ö NORM, 1993).

3.1.5 Construcción de las pilas de compostaje

Para la construcción de pilas de compostaje se utilizaron pilas de cielo abierto o “windrow”, para lo cual se tomó como referencia el método establecido por Castro *et al.* (2006) y Carrasco (2009):

En el área destinada para las pilas, se dispuso una capa de materiales de soporte (residuos de comercialización de piña) de 2 m de ancho x 2 m de largo, seguidamente se dispuso la mezcla de residuos vegetales de mercado, a continuación se mezclaron estas capas con la finalidad de homogenizar la pila, luego se volvió a disponer una capa materiales de soporte, a continuación se vertió otra capa de la mezcla de residuos vegetales de mercado, y sucesivamente se repitió este proceso hasta lograr pilas de 0.8 m de alto. No se regó la pila al inicio debido a su alto contenido de humedad y estructura inestable.

a. Tratamientos

Se llevaron a cabo los siguientes tratamientos:

TA: Pila con material picado sin material de soporte (200Kg).

TB: Pila con material picado aproximadamente a 4cm (200Kg) y con material de soporte al 10% en peso (20 Kilos de coronas de piña picada).

TC: Pila con material picado aproximadamente a 4cm (200Kg) y con material de soporte al 30% en peso (60 kilos de coronas de piña picada).

La razón por la que se utilizó en esta investigación los residuos de papa, camote y zanahoria fue debido a que la mayor generación de desperdicios (entre un 40% y 50%) según la FAO (2011) se da en los cultivos de raíces, frutas y hortalizas.

3.1.6 Muestreo

La toma de muestras se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones de TMECC 02.01 citadas por Ventura y Sarmiento (2007). Se extrajeron 8 sub muestras de la parte superior, central, e inferior de la pila, a una profundidad de 25 a 30 cm, luego se mezclaron y se separaron en cuartos para obtener una muestra representativa de 500 g. Los muestreos se realizaron quincenalmente para parámetros de control, mientras que para los parámetros fisicoquímicos y biológicos (respiración microbiana) que sirvieron para determinar la estabilización y maduración, se realizó 4 veces durante todo el proceso de compostaje.

3.1.7 Regulación de Humedad

El riego se realizó manualmente con manguera, con una frecuencia de 2 veces cada semana, los días lunes y viernes, de acuerdo a los requerimientos de humedad de las pilas de compostaje, para lo cual se utilizó el método de puño y reconocimiento visual (Díaz y Savage, 2007).

3.1.8 Volteo de la Pila

Las pilas se voltearon cada 10 días y luego se hizo cada 7 días de acuerdo al requerimiento según la temperatura que se observó durante el compostaje y las condiciones en las que se encontraban los residuos, con la finalidad de favorecer la aireación durante el proceso de compostaje evitando que este proceso se vuelva anaeróbico por la probable compactación o temperaturas extremas que se dieran durante el proceso de compostaje y cause la muerte de los organismos aeróbicos. Estos volteos facilitaron la regulación de la humedad y la temperatura, así mismo sirvieron para homogenizar las pilas y para relocalizar los materiales que no estuvieron expuestos a biodegradación intensa por estar en la superficie de la pila.

3.1.9 Medición de variables en la pila de compostaje

Temperatura

La temperatura fue medida mediante un termómetro digital que midió la temperatura central superior de cada pila, para lo cual se introdujo el sensor a unos 30 cm en los lados de la pila, tomándose 4 puntos representativos al azar aproximadamente a la misma altura de la pila (Del Pozo, 2007).

Humedad

La humedad fue medida tomando 8 submuestras de la parte central, lateral y superior central, luego se llevó a la estufa a 60° C por 24 horas, el contenido de agua se obtuvo por la siguiente fórmula (Ventura y Sarmiento, 2007):

$$HR(\%) = \frac{(\text{Pinicial} - \text{Peso Final}) \times 100\%}{\text{Pinicial}}$$

Potencial de Iones Hidrógeno (pH):

Luego de ser extraídas las muestras, se determinó el pH mediante el método potenciométrico, para lo cual se tomó como referencia la norma ÖNORM M 6201, que consistió en extraer una muestra y hacer una dilución 1:10 con agua destilada, agitar por 5 minutos y luego se dejó en reposo por 15 min para luego medir el pH con el potenciómetro (ÖNORM, 2006).

Conductividad eléctrica

Para este parámetro se tomó como referencia a la norma TMECC 04.10, que consistió en mezclar la muestra en una dilución de 1:10 en agua destilada, agitarla por 15 minutos, dejarlo en reposo por 15 min y luego medir la conductividad eléctrica con el conductímetro (TMECC, 2004).

Carbono total orgánico

La concentración de carbono total orgánico se obtuvo por la diferencia de pesos entre la muestra fresca y la muestra luego de ser sometida a calcinación (550 °C) por 5 horas en mufla, de acuerdo a lo descrito por Nelson and Sommers (1982) y mencionado por la norma ÖNORM S 2023 (Ö NORM, 1993).

Nitrógeno Total Kjeldhal

El nitrógeno total Kjeldhal se realizó de acuerdo al método modificado por Bremner (1965) y mencionado por la norma ÖNORM S 2023 (1993), que consistió en utilizar una muestra de entre 0,25 a 1 g que fue sometida a digestión con ácido sulfúrico y una mezcla de sales que facilitaron la oxidación de materia orgánica así como la conversión de todas las formas de nitrógeno a N^{+3} , seguidamente esta mezcla se transformó a NH_4^+ , se llevó a destilación con una base fuerte (hidróxido de sodio) para formar hidróxido de amonio que se descompone en amoniaco y agua. A continuación se valoró el amoniaco colectado y se tituló con ácido sulfúrico y finalmente se determinó por fórmula la concentración de nitrógeno en función del volumen gastado en la titulación con ácido sulfúrico.

Relación Carbono/Nitrógeno

Se determinó la relación carbono nitrógeno de acuerdo a la división entre la concentración de carbono total obtenido por calcinación de muestra a 550 °C por 5 horas y el Nitrógeno total determinados por el Método Kjeldahl como recomienda norma Ö NORM S 2023 (Ö NORM, 1993).

Estabilización

Se midió la estabilización por medio de la actividad microbiana a través de la generación de CO₂ (respiración microbiana) para lo cual se utilizó el método de la Cornell Waste Management Institute (2015). En este método se utilizaron baldes de 1 galón en los que se incorporaba una muestra de compost y 20 ml de un solución de NaOH a 1M, luego éstos fueron sellados con cinta adhesiva. Al día siguiente se tituló la solución que captó el CO₂ con una solución de HCl a 1 M, se tituló hasta que el indicador fenolftaleína cambió a transparente. Esta titulación se repitió durante 4 veces durante esa semana para luego determinar el promedio. La respiración microbiana se determinó 4 veces durante toda la fase experimental.

Nitrógeno como nitrato (N-NO₃⁻)

El Nitrógeno como Nitrato (N-NO₃⁻) se determinó de acuerdo al método establecido por Morra *et al.* (2010). Éste método consiste en muestrear 40 g de compost a los cuales se agregará agua destilada en una proporción de 1:5, seguidamente se agitará por 30 min, luego se extrae la suspensión que será centrifugada y filtrada, para luego medir la concentración de nitratos por Cromatografía iónica. En el caso de las mediciones finales que resultaron no encontrar nitratos por encima del límite de detección, se utilizó la adaptación del método establecido por Cataldo *et al.* (1975) que consistió en agitar por 30 min una solución compost (10 g) y solución extractora (Sulfato de Potasio a 0,34 M) a un proporción 1:5, luego se sometió a centrifugación por 10 min, a continuación se filtraron las muestras con papel filtro, seguidamente 0,5 ml del filtrado se diluyó en 1 ml de Ácido Salicílico al 5% así como 10 ml de NaOH a 4 N finalmente las muestras se dejan enfriar y se lee con el equipo para medir colorimetría a una longitud de onda entre 410 y 420 nm. Así también realiza la lectura de soluciones estándar de 0ppm, 2ppm, 4ppm, 8ppm, 12ppm, 16 ppm y 32ppm para poder determinar la concentración de la curva estándar.

Nitrógeno Amoniacal (N-NH₄⁺)

El Nitrógeno Amoniacal (N-NH₄⁺) se determinó de forma similar al método Kjeldahl, en el que se destiló 50 ml de la muestra filtrada (250 g de sustancia húmeda/litro) en ácido bórico (30 ml) en un sistema de destilación. Esta solución amonio borato se tituló hasta que cambie de color. El contenido de amonio se calculó por el consumo de ácido clorhídrico (Ö NORM, 1993).

Cloruros

Al igual que el nitrógeno como nitrato (N-NO₃⁻), los cloruros fueron determinados por Morra *et al.* (2010).

Prueba de Índice de germinación

Como indica la norma CCQC (2001), con la finalidad de evaluar la madurez del proceso de compostaje así como la fitotoxicidad del compost final se realizó la prueba de germinación de acuerdo al Test de Zucconi (Guo *et al.*, 2012), que se describe a continuación:

Se prepararon extractos 1:10 que luego se agitaron por 20 minutos y se filtraron con doble gasa. Seguidamente se extrajo 10 ml y colocaron 10 semillas de cada muestra de compost a 3 placas petri de 9,5 cm por muestra que contenían papel filtro. A continuación se dejó incubar en la oscuridad por 5 días y finalmente se contó el número de semillas que germinaron y la longitud de la radícula que lograron.

Se midió el porcentaje de germinación relativo (PGR), crecimiento de la radícula relativo (CRR) para obtener luego el Índice de germinación, de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$IG (\%) = (\% \text{ de PGR}) \times (\% \text{ de CRR}) / 100$$

En donde:

IG%: índice de germinación expresado en porcentaje.

% de PGR: Porcentaje de germinación relativo.

% de CRR: Crecimiento de radícula relativo.

El PGR se obtiene de la siguiente manera:

$$\%PGR = GMn/Gc \times 100$$

En donde:

GMn: Número de semillas germinadas en la muestra “n” (n=1,2,3,4)

Gc: Número de semillas germinadas en la muestra control.

$$\%CRR = LMn/Lc \times 100$$

LMn = Longitud promedio de las radículas en la muestra “n” (n=1,2,3,4)

Lc = Longitud promedio de las raíces en la muestra control.

Pérdida de Materia orgánica

Se determinó la pérdida de materia orgánica con los valores iniciales y finales del porcentaje de sólidos volátiles de acuerdo a la siguiente Formula (Paredes *et al.*, 2000 citado por Rockson, 2014):

$$\text{Pérdida de M. O. (\%)} = 100\% - 100 \times \left\{ \frac{(100 - OMo) \times OMt}{(100 - OMt) \times OMo} \right\}$$

Donde:

OMo = Contenido de materia orgánica original expresada como porcentaje de sólidos volátiles.

OMt = Contenido de materia orgánica expresada como porcentaje de sólidos volátiles muestreada en el tiempo t.

Pérdida de Nitrógeno Total

Se determinó la pérdida de nitrógeno total con los valores iniciales y finales del porcentaje de cenizas así como nitrógeno total con la siguiente Formula (Paredes *et al.*, 2000 citado por Dui-an *et al.*, 2013):

$$\text{Pérdida de Nt (\%)} = 100\% - 100 \times \left\{ \frac{(A_1) \times N_2}{(A_2) \times N_1} \right\}$$

Donde:

A_1 =Porcentaje inicial de contenido de cenizas

A_2 = Porcentaje de contenido de cenizas en el tiempo t

N_1 =Nitrógeno total inicial

N_2 = Nitrógeno total en el tiempo t

3.1.10 Croquis Experimental

Se establecieron las unidades experimentales de la siguiente forma:

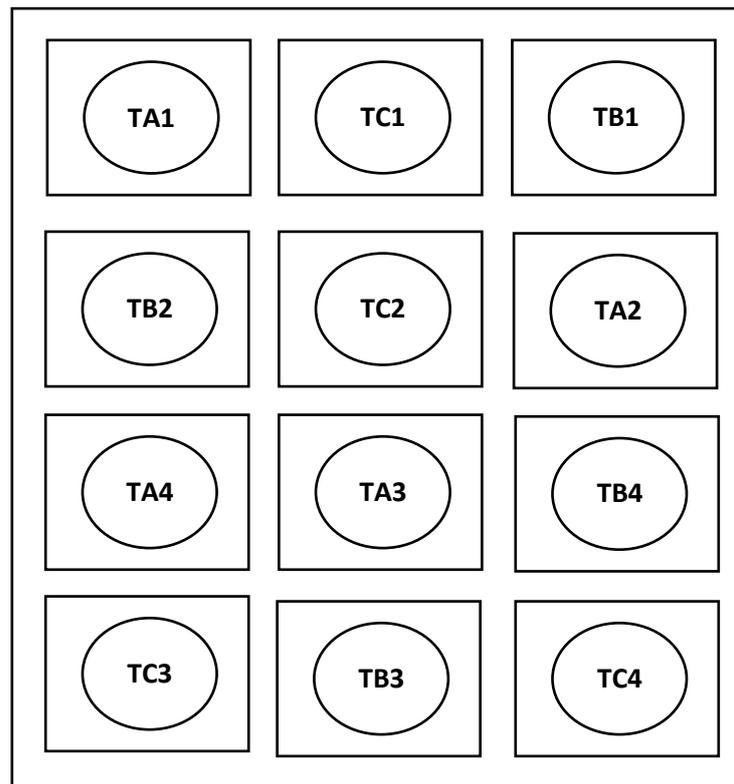


Figura 1: Distribución al azar de los tratamientos y bloques en el área experimental

3.1.11 Análisis estadístico

Se llevó a cabo el análisis estadístico de los datos monitoreados a lo largo del proceso de compostaje de cada pila con la aplicación de Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 3 tratamientos y 4 bloques y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey. Siendo el modelo aditivo lineal:

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

Donde:

Y_{ij} : valor observado en el i-ésimo % en pila de compost y j-ésima variedad de papa desechada.

μ : efecto de la media general.

τ_i : efecto del i-ésimo “% de coronas de piña” en pila de compost.

β_j : efecto del j-ésima variedad de papa desechada.

ε_{ij} : efecto del error experimental

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros de caracterización de los materiales de soporte

En la tabla 6 se observó que la humedad promedio de los residuos de coronas de piña (86,43%) fue similar a los valores (83%) recopilados por López *et al.* (2014) debido a la menor proporción de materia seca (17%), compuesta principalmente de fibra en la corona de la piña.

La capacidad de absorción de agua (300%) fue similar a los residuos de cartón corrugado (Adhikari, 2005) utilizado para realizar el compostaje de residuos de alimentos en reactores, así también presentó características similares a cascarillas de arroz (Chang y Cheng, 2010) utilizadas para realizar compostaje de residuos de alimentos en reactores.

Tabla 5: Parámetros de Caracterización de los materiales de soporte investigados

Humedad (%)*	Capacidad de Absorción de Agua (%)*	pH*	CE (dS/m) *	D. Aparente (Kg/m³) *	FAS (%)*	Relación C/N*
86,43	300	4,54	1,096	272,22	67,78	45,15

*= Valores Promedio

El nivel de pH promedio (4,54) fue ácido y similar (4,4) a los residuos de piña utilizados para el vermicompostaje con lombrices originarias en Ghana (Mainoo *et al.*, 2009), aunque el valor promedio fue ácido, es aceptable puesto que se encuentran entre el rango mayor a 3 y menor a 10,5 favorable para la proliferación de bacterias, hongos y otros microorganismos (Cronjé, 2003).

La conductividad eléctrica promedio (1,096 dS/m) fue menor a 4 dS/m, limite recomendado por FAO (2015), para que los suelos mezclados con residuos de coronas de piña compostados no tengan problemas de salinidad.

La densidad aparente promedio ($272,22 \text{ kg/m}^3$) fue mayor a los residuos picados de heno, virutas de madera y residuos de trigo picado utilizados para el compostaje de residuos de alimentos en reactores (Adhikari, 2005), debido probablemente a la cantidad de agua presente en las coronas de piña.

Los valores promedio (67,78%) de espacios libres de aire (FAS) fueron mayores a los de residuos de cáscaras de maní (54,6%), similares a los valores aserrín (61,4 %) y menores a los valores de bagazo (78%) y papel (88,2 %) utilizados en reactores (Iqbal *et al.*, 2010).

La relación C/N promedio (45,15) fue mayor al rango 25 a 30 recomendado para un compostaje óptimo, un valor menor o igual a 50 podría ser tolerado aunque una relación C/N mayor a 40 es insuficiente para un crecimiento óptimo de los microorganismos (Tucker, 2005). Estos residuos en su función de material de soporte no tienen las características óptimas como las virutas, residuos de trigo o cortezas de árbol cuyas relaciones C/N que superan 100/1 (Adhikari, 2005).

Los residuos de corona de piña evidenciaron características que pueden servir como insumo para realizar compostaje como complemento a otros residuos propiciando condiciones para que se realice un compostaje adecuado.

4.2. Parámetros físico-químicos del proceso de compostaje

4.2.1 Variación de la Temperatura en el tiempo

En la Figura 2, 3 y el anexo 2, se observó que el proceso de compostaje de los tratamientos TA, TB y TC mostró una tendencia normal de la temperatura durante el proceso en comparación con la utilización de aserrín para la elaboración de compost (Castro *et al.*, 2006), el uso de bagacillo, aserrín e ichu y microorganismos efectivos (Carrasco, 2009) así como cascarillas de arroz, salvado de arroz y aserrín (Chang y Chen, 2010). Esta tendencia en todos los tratamientos evidenció las diferentes fases del proceso de compostaje inicialmente la etapa mesofílica, termofílica, de curado o enfriamiento y de maduración determinadas por las diferentes sucesiones de microorganismos.

El comportamiento de la temperatura en los tratamientos TB y TC fue más similar al inicio con respecto al tratamiento TA (tratamiento control), mientras que al final de la experimentación el tratamiento TC en promedio logró menores temperaturas con respecto a

TB y TA, lo cual podría indicar una mayor estabilización con respecto al tratamiento control TA.

Así mismo, las pilas del tratamiento “TA” en general no lograron alcanzar la fase termofílica sostenidamente, manteniéndose por debajo de 40 °C a excepción de la pila TA4 que fue la pila con mayor temperatura del tratamiento TA.

En las pilas de tratamiento “TB” y “TC” se observó que las pilas se mantuvieron por encima de los 40°C por 37 días. Sin embargo es necesario mencionar que en promedio las temperaturas de las pilas de tratamiento TB y TC fueron menores a 60°C y entre un rango de 40 °C y 55° C, no logrando 55°C o más por 3 días consecutivos para eliminar adecuadamente los microorganismos patógenos (Bari, 1999).

Las pilas TB y TC con 10% y 30% de residuos de coronas de piña lograron mejores temperaturas, pudiendo indicar la influencia de éste material de soporte en la promoción de las condiciones (fuente de nutrientes, regulador de humedad y aireación) para un mejor compostaje.

Así mismo, todas las pilas tuvieron 200 Kg de residuos vegetales de mercado, mientras que otras investigaciones con el uso de mayor cantidad de residuos y de otros insumos como el guano de islas obtuvieron mayores temperaturas (Miyashiro, 2014). Así mismo, como mencionan Díaz y Savage (2007), probablemente debido a que ninguna pila de los tratamientos alcanzó un volumen de igual o mayor a 1 m³, el calor producido por la actividad microbiana se disipó con mayor rapidez hacia los alrededores por tanto no se alcanzó temperaturas mayores a 56 °C por más de 2 días. Por otro lado, Malwana et al. (2013) señalan que para que se obtengan mayores temperaturas por un tiempo más sostenido, la relación Área superficial/Volumen de las pilas debe ser menor a 1 y en nuestro caso esta relación fue mayor a 1 lo cual también podría explicar estos resultados.

Así también, los volteos mostraron mayor influencia en el comportamiento de la temperatura en el proceso de compostaje, ya que incrementaron la temperatura al día siguiente, mientras que el riego no marcó una diferencia considerable, estos resultados sugieren que los volteos promovieron la aireación necesaria, regulación de temperatura y eliminación de humedad excesiva, sin embargo los volteos no son suficientes puesto que necesitan de una porosidad óptima para facilitar el movimiento del oxígeno y la actividad microbiana (Bandekar, 2015)

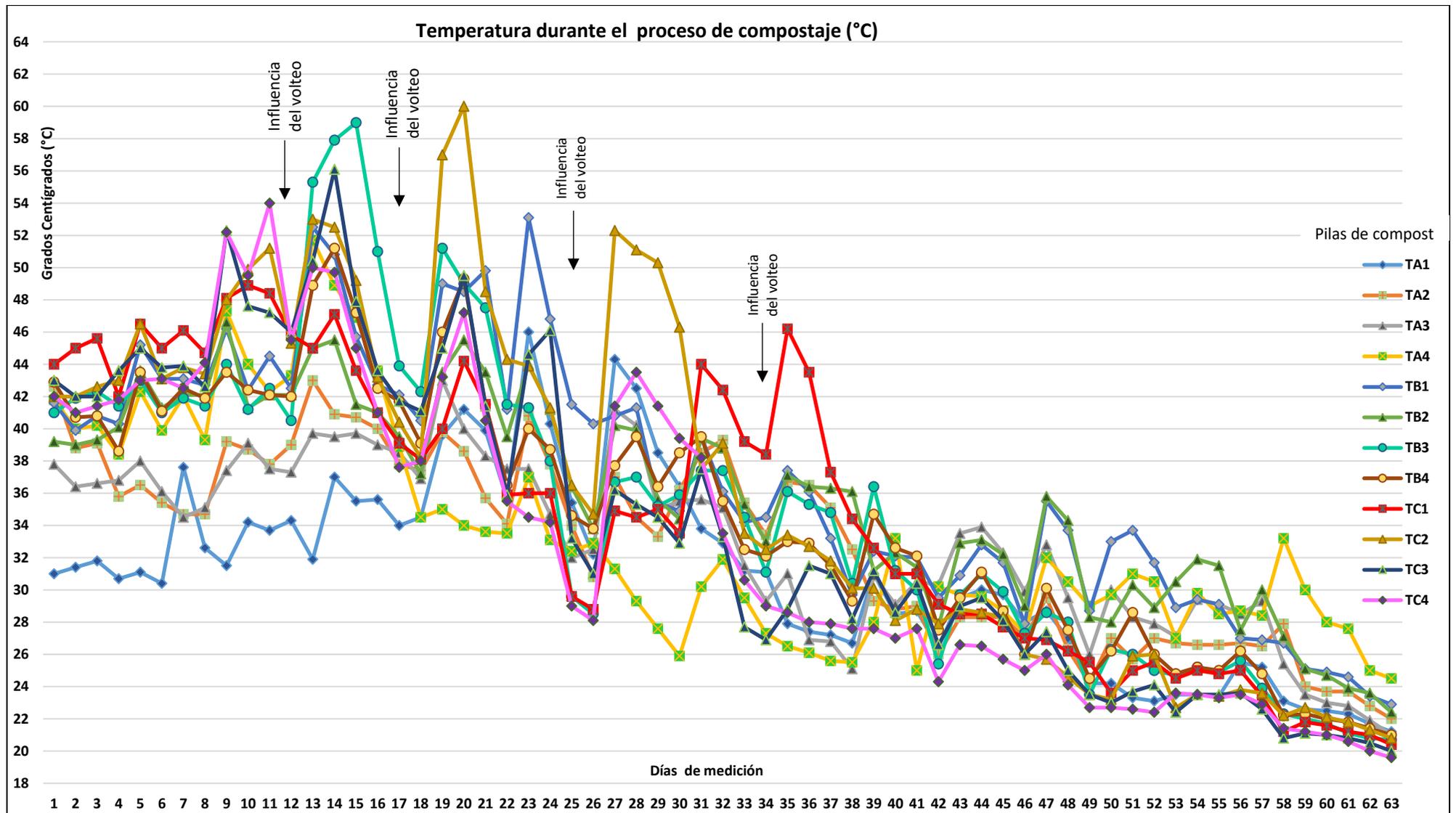


Figura 2: Variación de la temperatura en el tiempo de muestreo

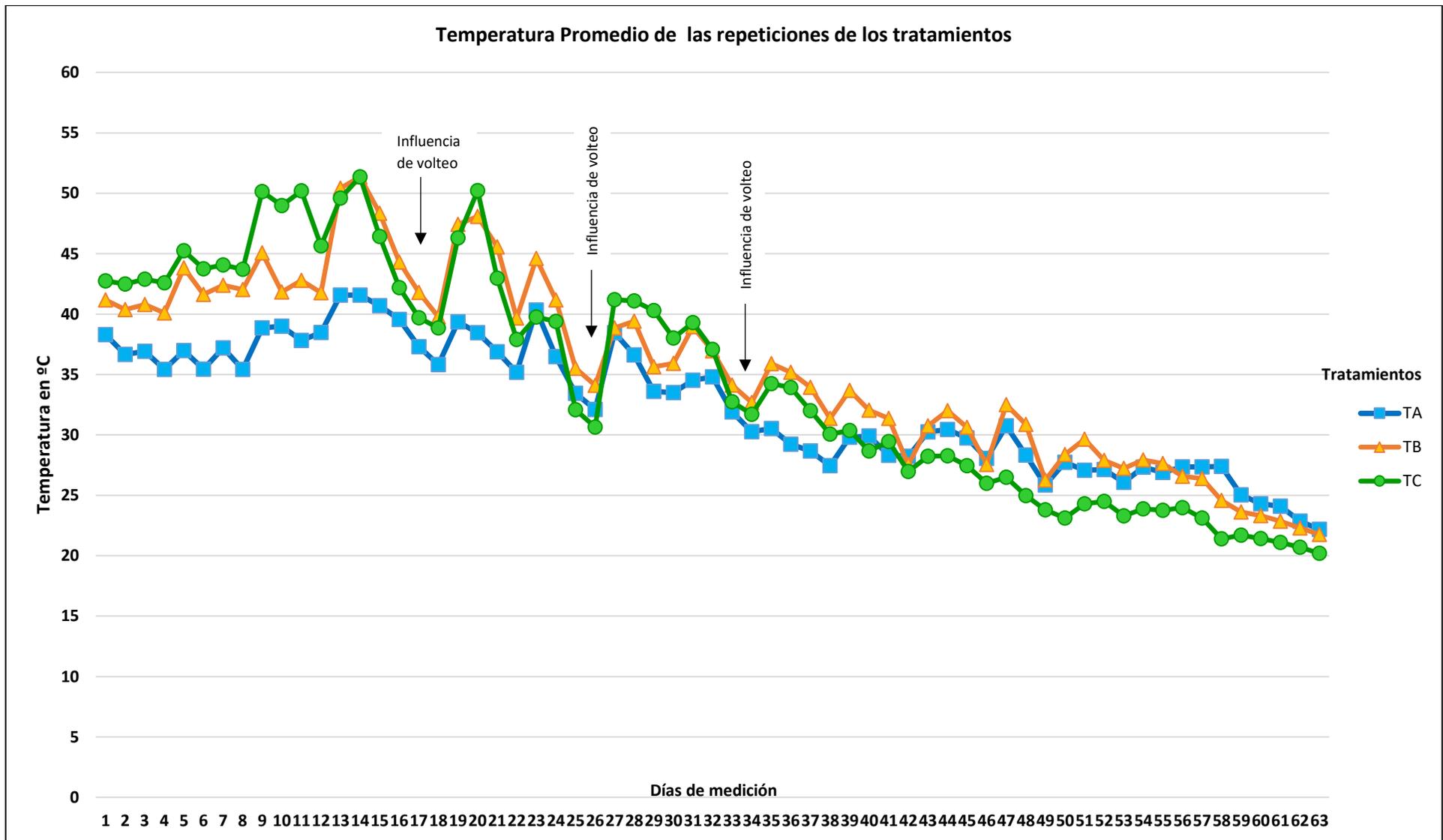


Figura 3: Variación promedio de la temperatura de los tratamientos

4.2.2 Variación de la humedad en el tiempo

Se debe mantener el proceso compostaje por encima del 40% de humedad y cercano al 60% (Diaz y Savage, 2007), es recomendable una humedad entre un rango de 55% a 65%, aunque éste no es universal puesto que puede darse el compostaje a mayores porcentajes de humedad porque el rango óptimo depende de la estructura física y la capacidad de absorción de agua de los insumos de tal forma que aseguren suficiente oxígeno para mantener una adecuada actividad aeróbica (Cronjé, 2003).

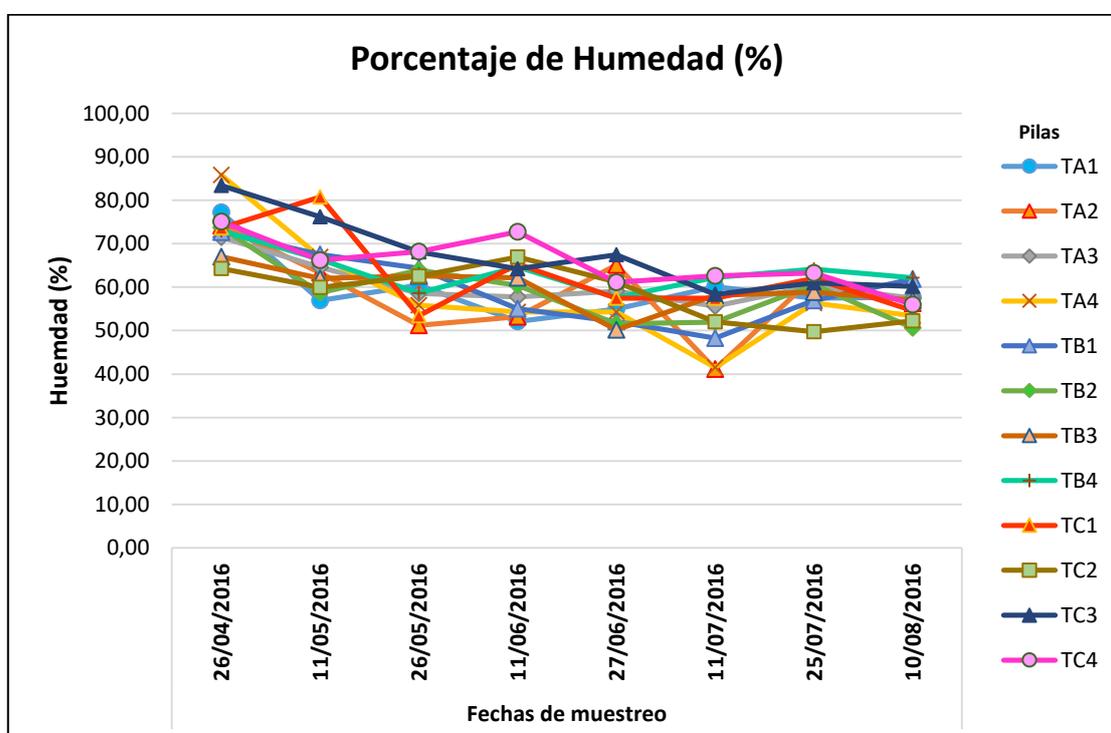


Figura 4: Variación de la humedad en el tiempo de muestreo

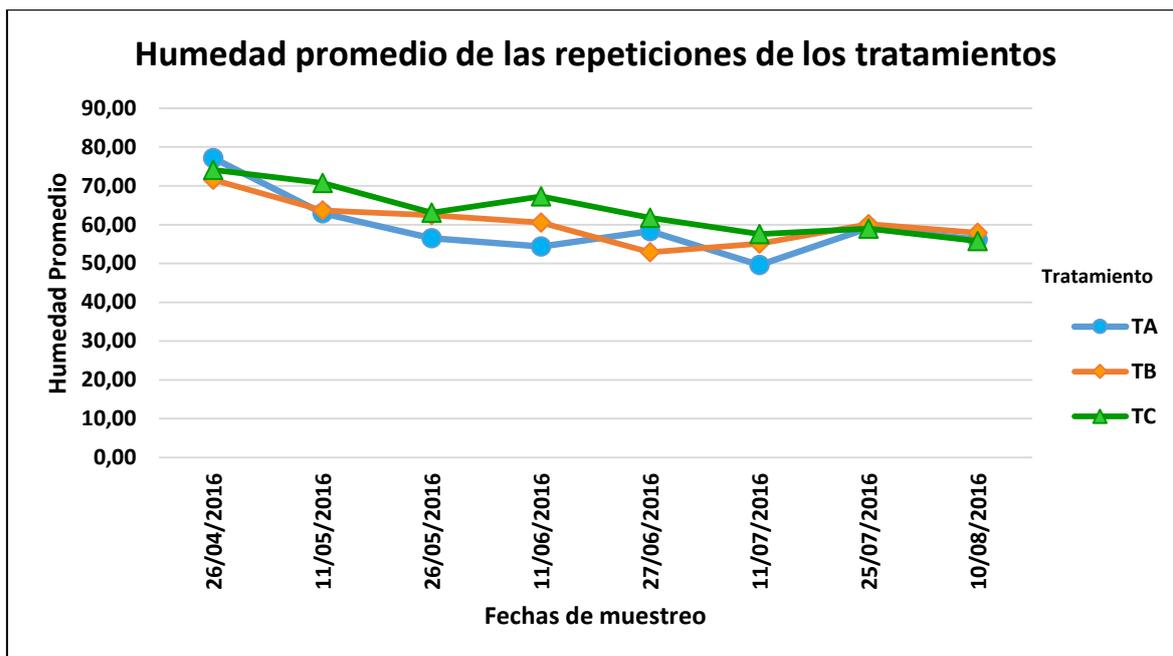


Figura 5: Variación de la humedad promedio de los tratamientos

En la figura 4, 5 y la anexo 3 se observa que al inicio del proceso de compostaje, el contenido de humedad se mantuvo por encima del 60% en todos los tratamientos, probablemente debido a la humedad de los residuos de desechos de alimentos utilizados como la papa, camote y zanahoria mayores a 77%, por lo cual no se regaron las pilas los primeros 10 días y se efectuaron volteos semanales para reducir la humedad de las pilas de compostaje. Estos valores fueron mayores a los tratamientos que utilizaron como insumos para simular las propiedades de desechos de alimentos reales (Chang y Chen, 2010) y menores a las pruebas que utilizaron materiales de soporte con menos contenido de humedad y mayor capacidad de absorción de agua (Adhikari, 2005).

A medida que avanzó el proceso de compostaje la humedad se redujo al 62% en promedio debido probablemente a las condiciones de la temperatura ambiental, sin embargo es necesario remarcar que durante la experimentación debido a la temperatura ambiental y de la pila, los residuos del tratamiento TA (Control) cambiaron sus características físicas. Si bien al inicio la papa y el camote fueron suaves y flexibles al tacto con el transcurrir del tiempo se tornaron de una consistencia dura y con aspecto similar a un corcho. Así mismo este cambio en las características de estos residuos dificultó humedecer las pilas del tratamiento TA con respecto a las pilas del tratamiento TB y TC, como se observa en los resultados del 11/07/2016 especialmente en las pilas TA4 (41,54 %) y TA2 (41,16 %),

aunque se regó más tiempo estas pilas, no lograron alcanzar una humedad cercana al 60%, en cambio con el tratamiento TC se necesitó menos tiempo de riego incluso con respecto a TB.

En promedio los valores de humedad fueron mayores en el tratamiento TC con respecto al tratamiento TB y TA ambos con valores similares, estos resultados sugieren que el uso de los residuos de coronas de piña facilita el compostaje de los desechos de alimentos, ya que el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa de los residuos de corona de piña es 4,5 %, 29,6 % y 23,2 % respectivamente (Upadhyay *et al.*, 2010), lo cual concuerda con la capacidad de absorción de agua de los residuos de corona de piña (300%), similar a residuos de cartón corrugado (329%) utilizados en pruebas para compostar desechos de alimentos (Adhikari, 2005), por tanto esta capacidad de absorción de agua de los residuos de corona de piña podría deberse a la naturaleza hidrofílica de la celulosa y hemicelulosa para absorber agua (Asim *et al.*, 2015).

4.2.3 Variación del potencial de iones hidrogeno (pH) en el tiempo

El proceso de compostaje normal puede darse entre un rango de pH entre 3 y 11 (Diaz y Savage, 2007), un rango típico podría ser 5 a 12 pero muchos microorganismos no sobreviven las condiciones límites, si el proceso se activa el pH puede estabilizarse a un rango entre 7 a 8 al final (Cronjé, 2003).

En la figura 6, 7 y anexo 4 se observa que los niveles de pH siguieron la tendencia normal incrementándose a pesar que los valores iniciales registrados fueron ácidos tanto para el tratamiento TA (3.73), TB (3.83) y TC (3.83). Estos niveles de pH iniciales fueron más ácidos con respecto a los efectuados en pruebas con residuos de alimentos y materiales de soporte (Adhikari, 2005), tales como residuos de trigo picado, heno picado y virutas de madera ya que éstos materiales tenían niveles de pH menos ácidos (6.96, 6,61 y 5,62 respectivamente) a diferencia de los residuos de corona de piña (4,54).

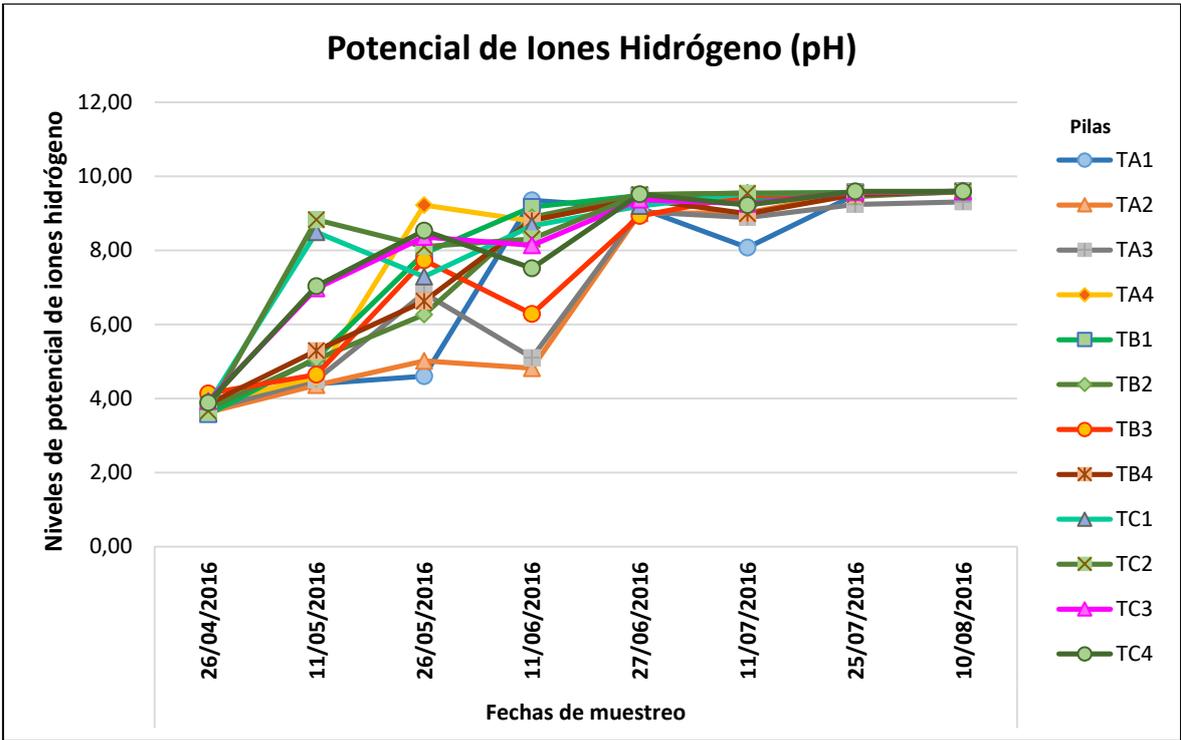


Figura 6: Variación del pH en el tiempo de muestreo

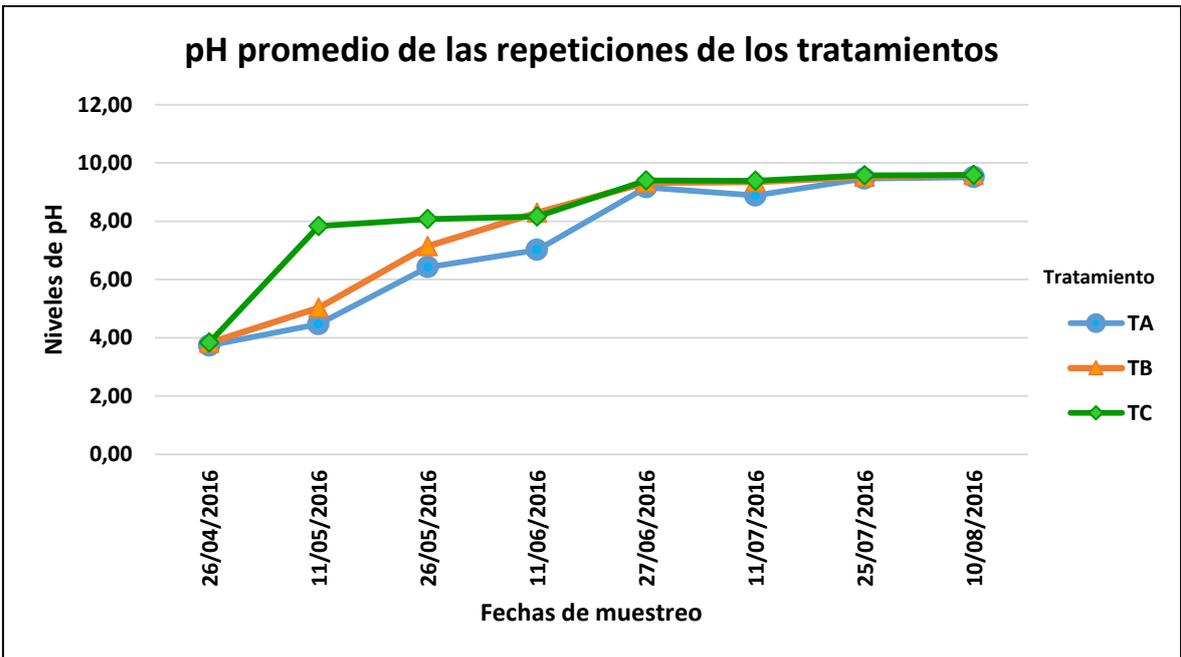


Figura 7: Variación del pH promedio de los tratamientos

Así mismo los resultados finales fueron similares a los realizados por (Chang y Chen, 2010), en uno de los tratamientos a escala de laboratorio donde utilizaron desechos de alimentos (16,24 kg), cascarillas de arroz (1,5 kg), aserrín (1,5 kg) y salvado de arroz (6 kg) comprendiendo un 64,34% de desechos de alimentos y 35,66 % materiales de soporte. Estos resultados podrían explicarse por los niveles de pH iniciales de las cascarillas de arroz, aserrín y salvado de arroz que suelen tener niveles de pH entre un rango de 6,2 a 8,2 (Frimpong *et al.*, 2011; Ukpaka e Ibisio, 2013), mayores los niveles de pH iniciales en todos los tratamientos de la presente investigación (3,8 en promedio).

Es necesario resaltar que los pH iniciales fueron significativamente ácidos, considerados desfavorables para un proceso de compostaje adecuado, debido probablemente a las condiciones de los residuos vegetales de papa, camote y zanahoria, los cuales se encontraban en estado de descomposición evidenciándose que antes del inicio de la construcción de la pilas se percibió el olor a fermentado, este olor se fue disipando por el picado del material, así también, no se regó las pilas al construirlas por 10 días luego de haber armado las pilas con la finalidad de favorecer condiciones aeróbicas. Conforme la descomposición fue mayor se regó los días lunes y viernes. En todo momento se regó solo lo necesario para tratar de mantener las condiciones de humedad cercanas al rango de 50% a 60%. A medida el proceso avanzó, se observó que las pilas TC incrementaron el pH con más facilidad que las pilas del tratamiento TA. Así también, las pilas TA demoraron más tiempo en incrementar el pH hacia valores neutrales que las pilas TB y TC, posiblemente debido a los residuos de corona de piña picada, que pudieron propiciar las condiciones para que los microorganismos puedan proliferarse y contribuir a incrementar los niveles de pH.

4.2.4 Variación de la Conductividad eléctrica en el tiempo

En la figura 8, 9 y en la anexo 5, se observó una clara tendencia en todos los tratamientos hacia el incremento de la conductividad eléctrica pudiendo explicar influencia del agua de riego, que se midió y se determinó una conductividad de 4,81 dS/m probablemente debido en parte a la concentración de cloruros, ya que los resultados evidencian concentraciones en los compost mayores a 90 ppm y menores a 7118 ppm para los tratamientos TB y TC. Los resultados de conductividad eléctrica en esta investigación fueron menores a los obtenidos en pilas que utilizaron aserrín (Castro *et al.*, 2006) así como en pilas que utilizaron bagacillo, aserrín e ichu con residuos inoculados con microorganismos EM (Carrasco, 2009), debido

probablemente a las características estos residuos y otros insumos utilizados en cada caso para el compostaje.

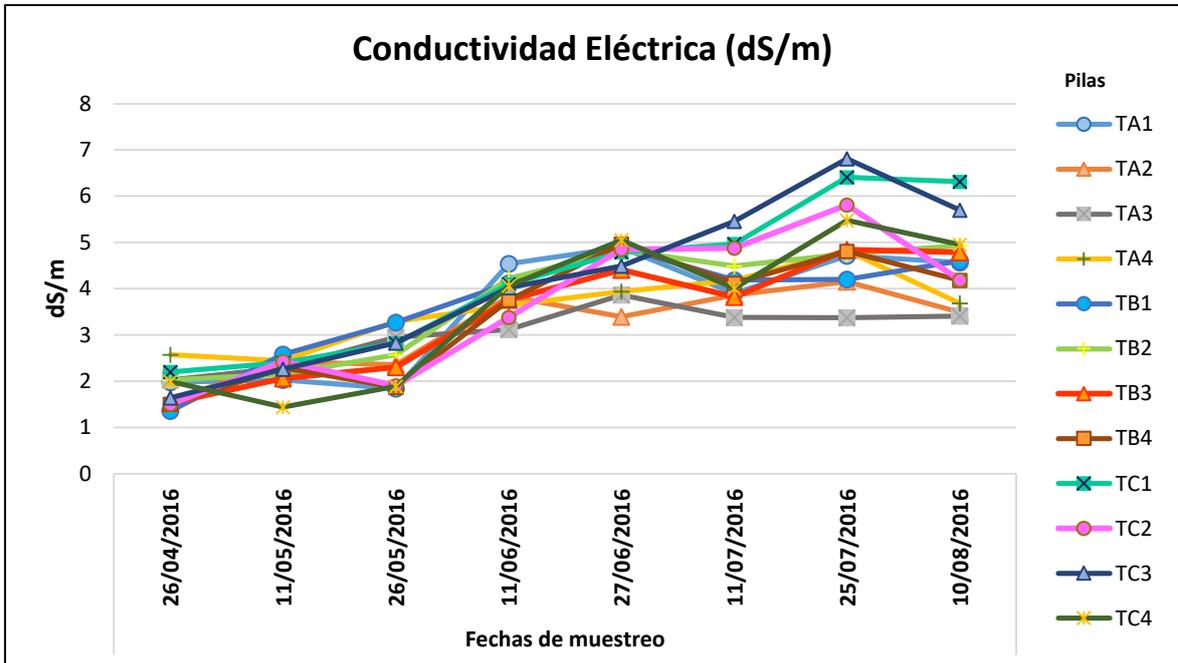


Figura 8: Variación de la Conductividad eléctrica en el tiempo de muestreo

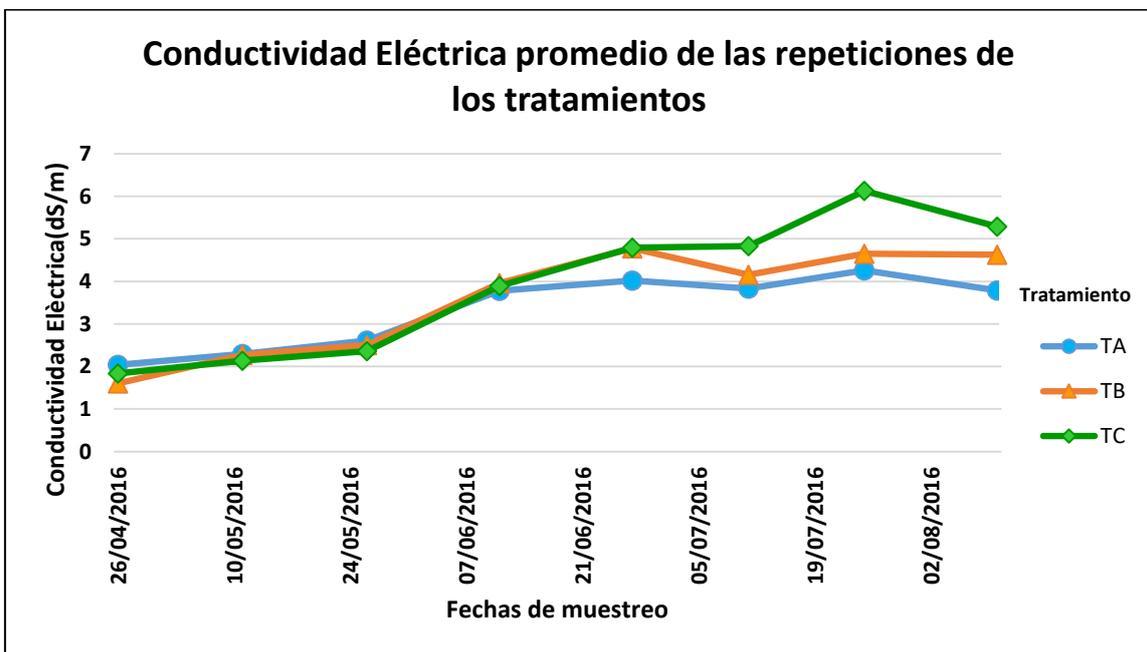


Figura 9: Variación de la Conductividad eléctrica promedio de los tratamientos

Debido a los continuos riegos, 2 veces por semana, se generó una mayor concentración de solutos que contenía el agua que se utilizó, por tanto una mayor conductividad eléctrica, ya que es precisamente en las pilas TC con mayor porcentaje de residuos de coronas de piña (30%) donde se observaron mayores valores de conductividad y concentración de cloruros. Las fibras de los residuos de piña probablemente retuvieron y concentraron los solutos por la disminución de humedad de los residuos que inicialmente tenían más de un 74,27% en promedio de humedad y luego de 105 días se obtuvo un 56,62% en promedio de humedad, esto se evidenció por la reducción de volumen de las pilas, éstas fibras tienen una naturaleza hidrofílica por su contenido de celulosa y en menor medida de hemicelulosa, característica que podría explicar la retención de solutos del agua de riego en las pilas de los tratamientos TB y TC (Asim *et al.*, 2015).

Los valores obtenidos al final del proceso de compostaje pertenecen a una salinidad moderada tanto para los tratamientos TB y TC (FAO, 2015), por lo que si se utilizaría este compost tendría que utilizarse para ciertos cultivos que puedan resistir esta salinidad moderada como el sorgo, la cebada, centeno, alcachofa, remolacha; podría también mezclarse el compost con suelo con baja salinidad o aplicar medidas de reducción de salinidad como lavado de los suelos mezclados con este compost (FAO, 2015). Es necesario hacer mayores investigaciones sobre otras causas de los valores finales de la conductividad eléctrica porque podría evidenciarse la presencia de otros iones como metales pesados u otros elementos.

4.2.5 Variación de la Densidad Aparente en el tiempo

Los valores de densidad aparente que aseguran un proceso de compostaje activo se encuentran entre un rango de 475 – 712 kg/m³, así mismo la densidad aparente inicial es afectada por la actividad microbiana y cambios en el contenido de agua debido a los procesos de transporte (NSFA, 2014).

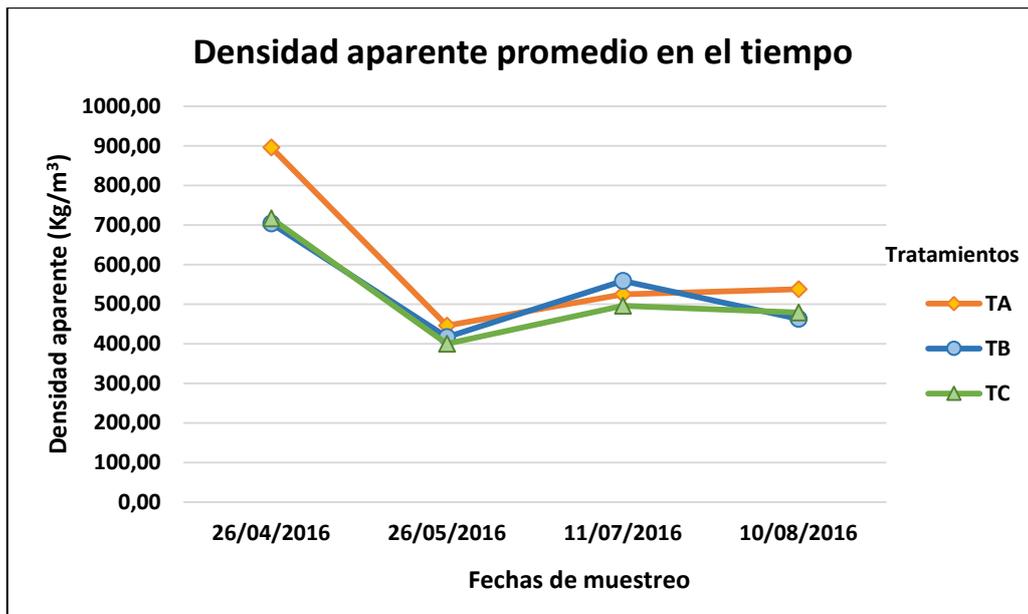


Figura 10: Variación de la densidad aparente en el tiempo de muestreo

En la figura 10 y Anexo 6, se observa que todas las pilas TA presentaron valores iniciales por encima de los valores recomendados para un compostaje activo, no favoreciendo las condiciones apropiadas para la biodegradación, mientras que los valores iniciales promedio de los tratamientos TB y TC si se encontraron dentro del rango recomendado, exceptuando a de las pilas TB1, TB2 y TC4 que se encontraron por encima del rango recomendado aunque cercanos (NSFA, 2014).

En general se muestra una tendencia a la reducción en todos los casos en la densidad aparente, con mayor fuerza en el primer mes del proceso de compostaje, luego se hizo menos evidente. Los resultados evidencian la presencia de una mayor actividad microbiana en el transcurso del primer mes que coincide con la fase termofílica y transición a la fase de curado o enfriamiento. Así también los valores fueron más homogéneos durante el tiempo de evaluación de compostaje, especialmente en los tratamientos TB y TC debido probablemente a la uniformidad en el tamaño de los residuos de corona de piña con respecto a los residuos de papa, camote y zanahoria de TA (tratamiento control).

4.2.6 Variación de los espacios libres de aire (FAS) en el tiempo

La continuidad de los poros influencia cuan fácilmente fluye el agua o el aire, pero los espacios libres de aire influyen en los procesos transporte de calor y masa por tanto en la cinética microbiana (Agnew y Leonard, 2003). Para lograr un proceso de compostaje óptimo como mínimo se debería tener un valor de FAS de 30% (Haug, 1993; Agnew, 2002).

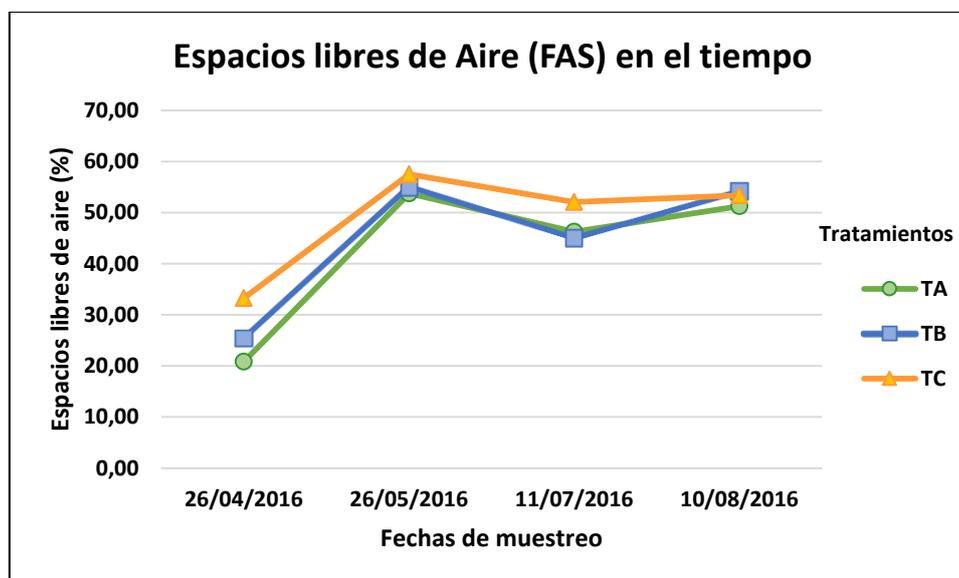


Figura 11: Variación de los espacios libres de aire (%) en el tiempo de muestreo

En la figura 11 y anexo 7, el tratamiento TC cumplió con el valor mínimo (30% o más) del FAS para tener una adecuada aireación en las pilas que facilite los procesos de transporte de aire y calor, mientras que el tratamiento TB y TA no alcanzaron ese valor. En todos los casos los espacios libres de aire (FAS) presentaron una tendencia al incremento aunque el tratamiento TC se diferenció ligeramente del tratamiento TB y TA (tratamiento control), ambos con un comportamiento similar.

El efecto fue observable en las pilas visualmente ya que las pilas TC después del primer mes se veían más uniformes, a diferencia del tratamiento TA que no tenía una uniformidad en su estructura y su apariencia era de materiales menos cohesionados. Estos resultados obtenidos fueron menores a experimentos en reactores con 16,24 kg de desecho de alimentos con diferentes proporciones de materiales de soporte (Chang y Chen, 2010), en los que lograron mayores valores de FAS con 9 kg de cascarillas de arroz (91%), 9 kg de aserrín (72%) y 9 kg de salvado de arroz (53%), estos mayores valores se debieron al menor contenido de

humedad (menor al 14%), relaciones C/N mayores a 60, así como espacios libres de aire (FAS) de éstos materiales de soporte mayores al 60%.

De acuerdo al análisis de varianza que se muestra en la prueba 1 del anexo 15, el efecto de la aplicación de residuos de coronas de piña picada, muestra diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al tratamiento control en cuanto a los espacios libres de aire (FAS) a un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$).

La prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey (Figura 12), mostró que si existen diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento TC (33,24%) el de mejores resultados, seguido de TB (25,41%) y TA (20,83%).

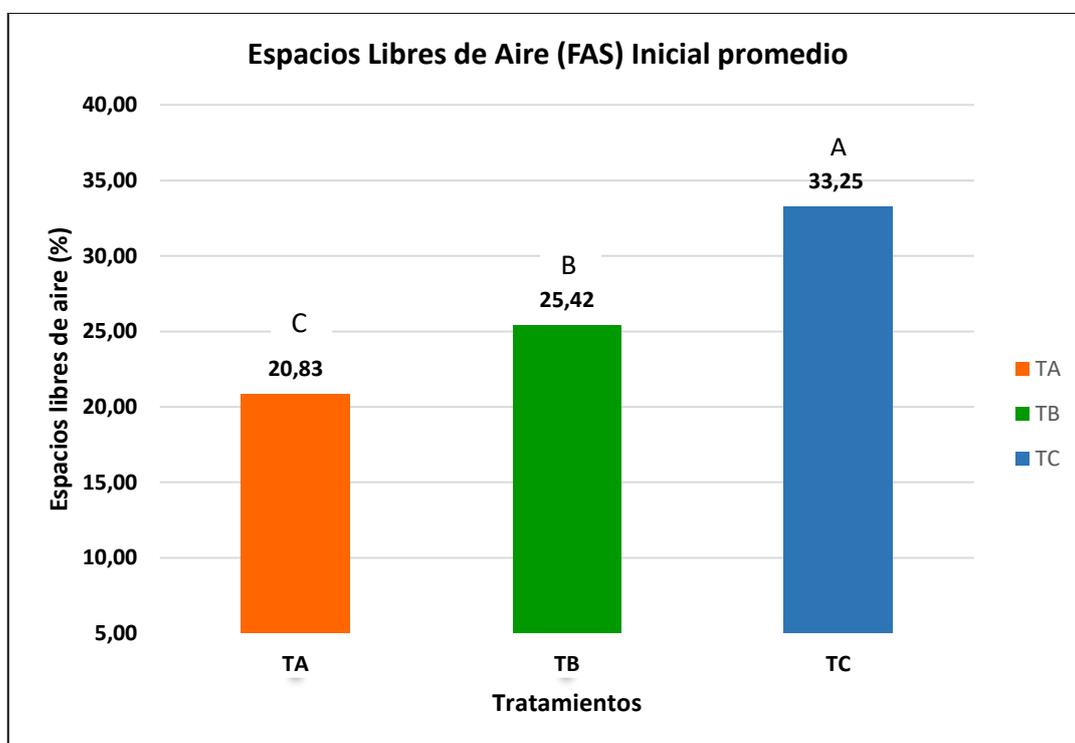


Figura 12: Variación de los espacios libres de aire (%) inicial promedio y prueba de comparación de Tukey (A)

4.2.7 Nitrógeno Amoniacal

En la figura 13 y la anexo 8, los valores iniciales de nitrógeno amoniacal se redujeron progresivamente durante el proceso. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal en los tratamientos TA y TC siguieron la tendencia a la reducción de nitrógeno amoniacal de forma similar en la fase de curado y maduración, mientras que el tratamiento TB presento valores

que inicialmente se incrementaron pero luego siguieron la tendencia a la disminución. El tratamiento TC mostró una mayor tendencia a la mineralización mientras que TB fue el tratamiento con menor aproximación a la mineralización. Debido a la menor concentración de nitrógeno en TB, la tendencia hacia la maduración no fue tan marcada como lo fue con TA y TC. Así también, estos resultados indican que el uso de coronas de piña pudo influir en la reducción de la relación C/N así como en la mayor tendencia hacia la mineralización en el caso de TC con 33,24% en promedio de espacios libres de aire inicial.

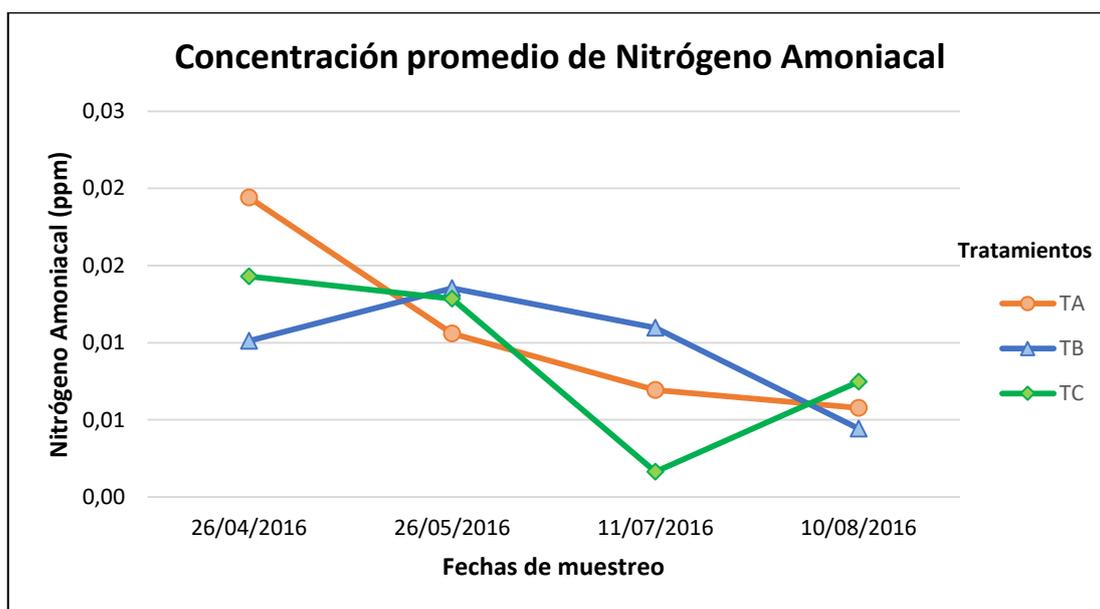


Figura 13: Concentración promedio de nitrógeno amoniacal en el tiempo de muestreo

4.2.8 Nitratos

Como se puede observar en la figura 14 y el anexo 9, los tratamientos presentaron un comportamiento normal de mayor generación de nitratos hasta el primer mes, seguidamente se registraron valores muy reducidos (menores a 1,5 ppm) en todos los casos a 75 días después de iniciar el proceso compostaje y finalmente se incrementaron ligeramente, siendo el tratamiento TC (109,82 ppm en promedio) el de mejores resultados, seguido de TB (89,6 ppm en promedio) y TA (22,55 ppm en promedio).

La reducción de los valores de nitratos pudo deberse a la pérdida de nitrógeno por emisiones de NH_3 como consecuencia del incremento de pH y la temperatura (interna y ambiental) así como volteos semanales continuos y la relación C/N inicial mayor a 30 en todos los

tratamientos que ocasionó la poca disponibilidad de fuentes de nitrógeno para los microorganismos nitrificadores, generándose las condiciones para la ocurrencia de volatilización del nitrógeno (Hao y Benke, 2010), evidenciándose la reducción de nitrógeno como nitrato en el tercer muestreo (11/07/2016).

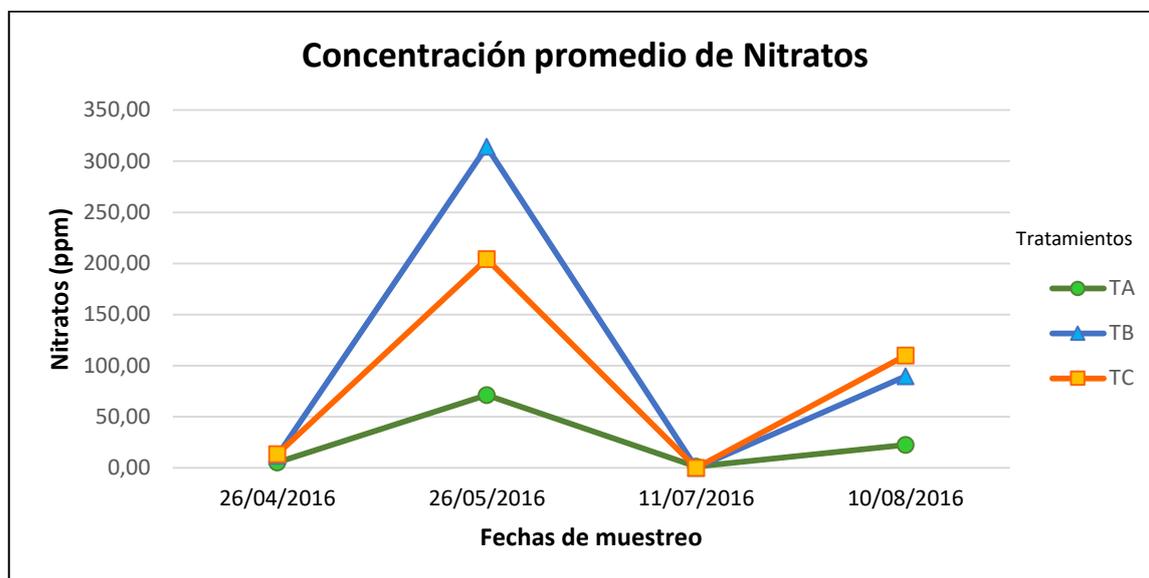


Figura 14: Concentración promedio de nitratos en el tiempo de muestreo

4.2.9 Cloruros

En la figura 15 y la anexo 10 se observa, los valores iniciales promedio de cloruros de los tratamientos TA (217,92 ppm), TB (310,88 ppm) y TC (217,73 ppm) fueron menores a 320 ppm, luego a medida que se fue realizando el regado 2 veces a la semana los valores se fueron incrementado, siendo al final del proceso de compostaje el tratamiento TC (3508,74 ppm en promedio) el que presentó mayores valores de cloruros, seguido de TB (3148,70 ppm en promedio), mientras que los menores valores se presentaron en el tratamiento control TA (846 ppm en promedio), generándose un incremento poco significativo.

Estos resultados pudieron deberse a los residuos de piña, presentes en los tratamientos TB y TC, que retuvieron los cloruros por la capacidad de absorción de agua de la fibra de este residuo que está conformada por lignina (4,5%) y especialmente por celulosa (29,6%) y hemicelulosa (23,2%) (Upadhyay *et al.*, 2010), compuestos que otorgan una naturaleza hidrofílica (Asim *et al.*, 2015).

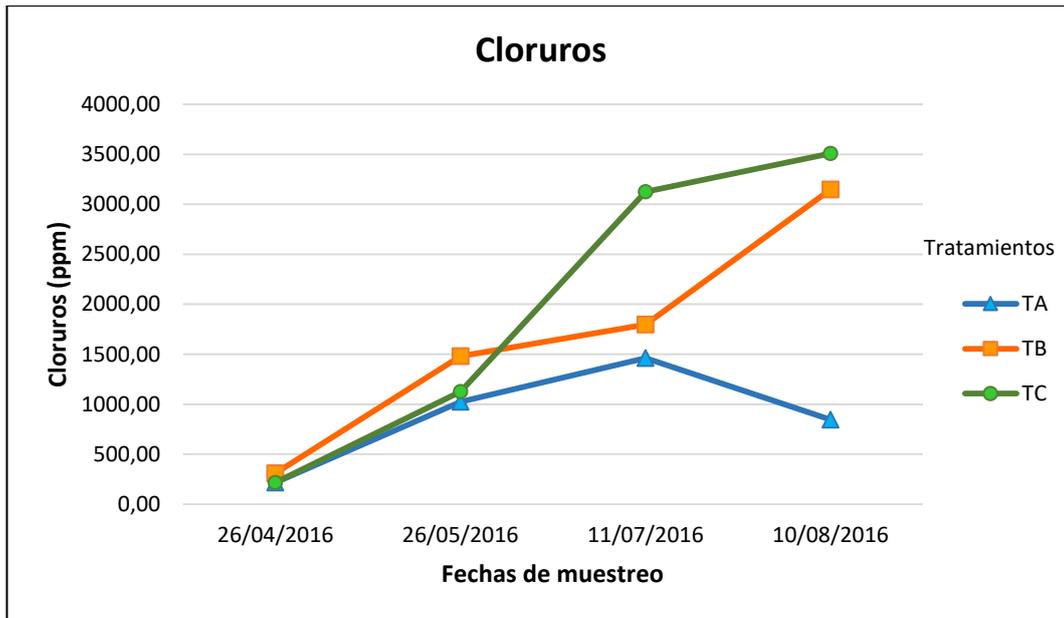


Figura 15: Concentración promedio de cloruros en el tiempo de muestreo

4.3. Parámetros de evaluación de eficiencia del proceso de compostaje

4.3.1 Variación de la Relación C/N en el tiempo

En la figura 16 y anexo 11, los resultados presentaron en general una tendencia hacia la reducción en todos los tratamientos. El tratamiento que obtuvo una mejor relación C/N al final del proceso fue TC (14,15), seguido de TA (14,38) y TB (15,86).

Estos resultados finales fueron similares a las pruebas de compostaje de residuos de alimentos con materiales de soporte tales como la paja de trigo picado (13,82), heno picado (15,38) y virutas de madera (51,00) después de 90, 65 y 56 días respectivamente investigados a nivel de laboratorio (Adhikari, 2005), también las relaciones C/N iniciales utilizadas en los tratamientos que se mezcló los desechos de alimentos con paja de trigo picado (20,76), heno picado (21,17) y virutas de madera (21,24) estuvieron dentro del rango recomendado de 20 a 30.

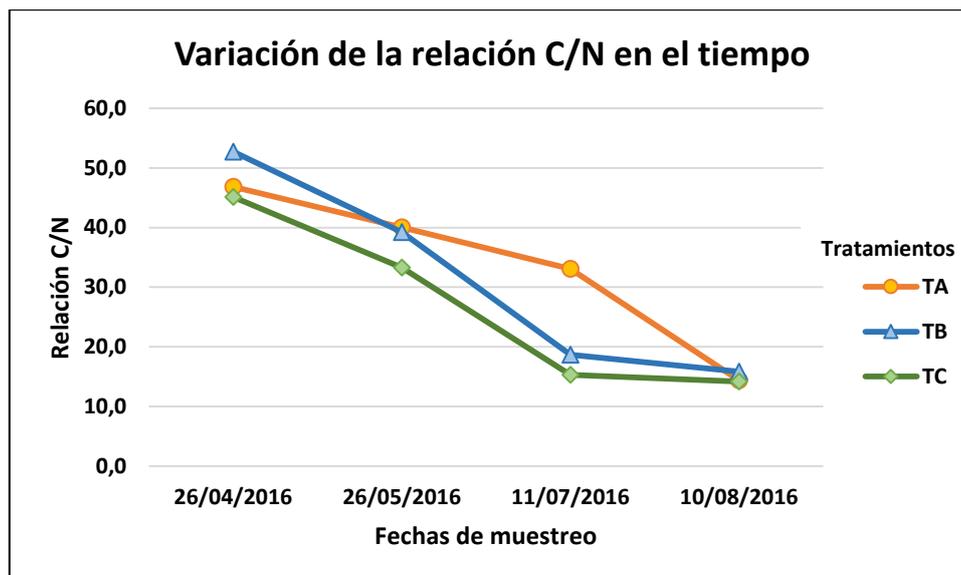


Figura 16: Variación de la relación C/N en el tiempo de muestreo

En comparación con resultados obtenidos por Chang y Chen (2010), las pruebas realizadas a nivel de laboratorio con la mezcla de desechos de alimentos (16,24 kg) y cascarillas de arroz (9 kg) lograron una mejor relación C/N final (5,8), debido probablemente al mayor valor de espacios libres de aire (FAS) inicial (91%), una mayor capacidad de absorción de agua (330–340%) así como una relación C/N inicial en sus tratamientos más cercanos al rango recomendado entre 20 a 30, menores a los utilizados en la presente investigación (rango entre 46 a 53).

De acuerdo al análisis de varianza mostrado en la prueba 3 del anexo 16, el efecto de la aplicación de residuos de coronas de piña picada, muestra que no existen diferencias significativas entre los tratamientos TA, TB y TC en cuanto a las relación C/N final a un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$). Así también, de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey (Figura 13), no se registraron diferencias significativas entre tratamientos.

Por otro lado, la relación C/N inicial tampoco logró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos por lo que la proporción utilizada de residuos de piña en los tratamientos TC y TB no influyó en la relación C/N inicial con respecto al tratamiento control (TA), ya que en la presente investigación se buscó lograr con los residuos de coronas de piña los espacios libres de aire (FAS) cercanos a 30%, necesarios para una aireación mínima para un proceso normal (Haug, 1993), no registrándose resultados diferentes respecto a TA (tratamiento control), debido probablemente a que en TA también se realizó

volteos semanales al igual que con los demás tratamientos por lo que posiblemente se alcanzó promover la suficiente aireación para lograr un compostaje con una relación C/N final de 14,38 a los 105 días.

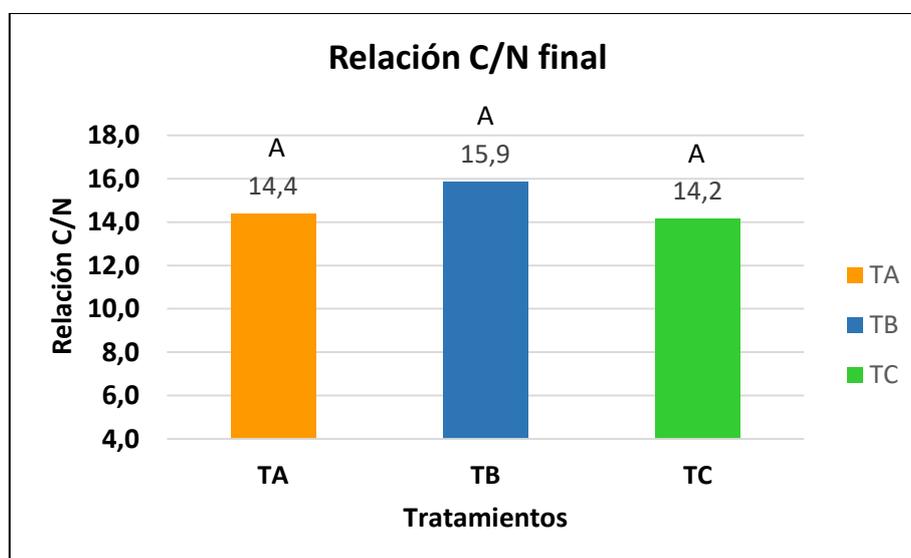


Figura 17: Relación C/N final y prueba de comparación de Tukey (A)

4.3.2 Pérdida de Materia Orgánica

En la figura 18 y Anexo 12, se observa que el tratamiento TB presentó mayor pérdida de materia orgánica en promedio (85,54%), mientras que el tratamiento TC (71,76%) presentó menos pérdida de materia orgánica con respecto a TA (81,92% en promedio) y TB (85,54%), sin embargo de acuerdo al análisis de varianza mostrado en la prueba 4 del anexo 16, indica que a un nivel de 95% de confianza ($\alpha=0,05$) no existen diferencias significativas entre los tratamientos TA, TB y TC, así también de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey (Figura 14), no se registraron diferencias significativas entre tratamientos.

Estos resultados se debieron probablemente a que la presente investigación buscó la mínima aireación requerida para el normal desarrollo del compostaje (30%) que no presentó diferencias significativas con respecto al tratamiento control (TA) al final de la experimentación para esta variable. Estos resultados podrían indicar que fueron los volteos semanales en la presente investigación la principal causa de pérdidas de materia orgánica asociadas a una relación C/N inicial mayor a 25 (Tripetchkul *et al.*, 2012) en TB (relación C/N inicial de 52,71) que en TC (relación C/N inicial de 45,12) y TA (relación C/N inicial

de 46,83), así como por el lavado por el riego y condiciones climáticas desfavorables en menor medida.

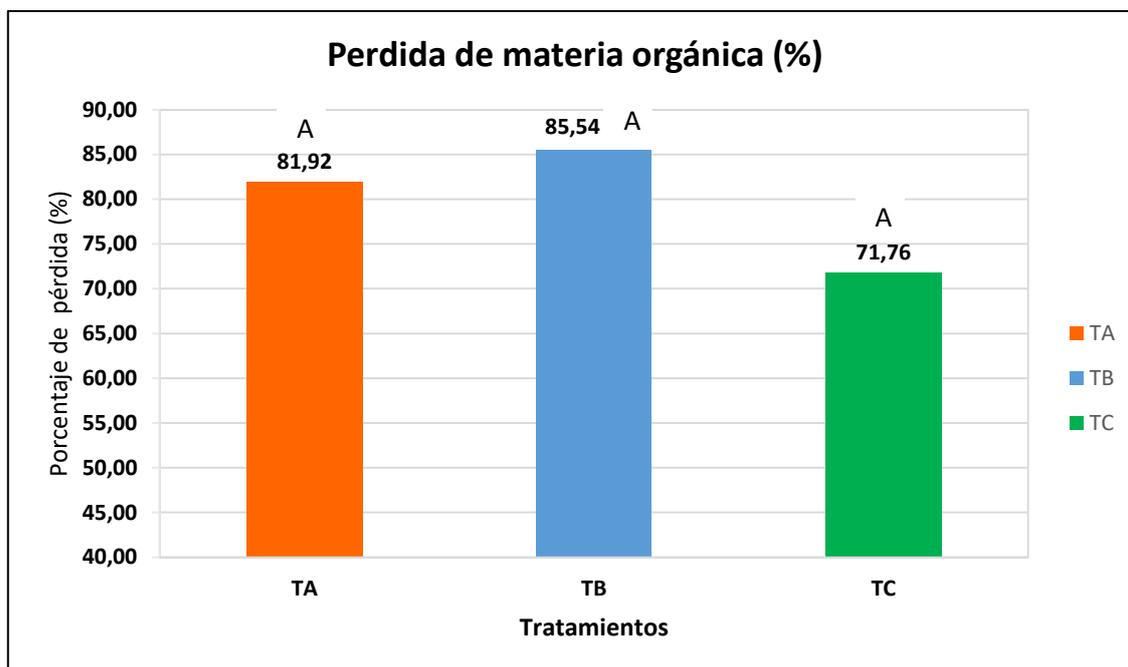


Figura 18: Pérdida promedio de materia orgánica durante el proceso de compostaje y prueba de comparación de Tukey (A)

Las pérdidas de materia orgánica en la presente investigación fueron mayores a las que se obtuvieron en pilas de estiércol de cerdo mezcladas con tallos de maíz de un volumen de 11,25 m³ con volteos semanales y sin volteos, cuyas pérdidas fueron 63% y 50% respectivamente (Tiquia *et al.*, 2002).

Así también las pérdidas de materia orgánica en la presente investigación fueron mayores al compostaje de residuos líquidos de estiércol de cerdo y virutas de pino como material de soporte (14%), debido probablemente a su alto porcentaje de materia seca (92,4%) así como un porcentaje mayor de carbono (54,4%) de la lignina que fue una fuente de carbono menos biodegradable (Barrington *et al.*, 2002).

Estos hallazgos sugieren que la menor pérdida de materia orgánica en el tratamiento TC podría deberse al uso de la coronas de piña (30% en peso) como material de soporte con respecto al tratamiento control (TA), aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa, sin embargo es necesario señalar estos resultados podrían deberse a la menor la disponibilidad de carbono biodegradable en las pilas de compost mezcladas con coronas de piña porque éstas contienen lignina, celulosa y hemicelulosa en un 4,5%, 29,6% y 23,2%

respectivamente (Upadhyay *et al.*, 2010), pudiendo evitar mayor pérdida de materia orgánica por volatilización principalmente con respecto al tratamiento Control (TA).

4.3.3 Pérdida de Nitrógeno Total

En la figura 15 y la anexo 13, se observa que el tratamiento TB registró mayor pérdida de nitrógeno (54,86 % en promedio), mientras que el tratamiento TC (19,66% en promedio) generó menos pérdidas respecto a TA (50, 54% en promedio) y TB (54,86% en promedio) sin embargo el análisis de varianza mostrado en la prueba 5 del anexo 15 nos indica que a un nivel de 95% de confianza ($\alpha=0,05$), los resultados obtenidos no fueron significativamente diferentes entre los tratamientos TA, TB y TC en cuanto a la pérdida de nitrógeno total. Así también, de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey (figura 15), no se registraron diferencias significativas entre tratamientos.

Las posibles causas de la mayor pérdida de nitrógeno de TB pudieron deberse a los continuos volteos semanales (Carneiro *et al.*, 2013), una relación C/N inicial de TB (52,71 en promedio) mayor a 25 (Trietchkul *et al.*, 2012) y también mayor a TA (relación C/N inicial de 46,83 en promedio) y TC (relación C/N inicial de 45,12 en promedio), espacios libres de aire inicial (FAS) menores a 30%, así como el incremento de pH después del primer mes hasta 9,58 así como los factores climáticos desfavorables (lloviznas seguidas de incremento en temperatura ambiental) desde la etapa de curado o enfriamiento, que provocaron una mayor liberación de nitrógeno por volatilización en la etapa de transición del curado hacia la maduración (Hao y Benke, 2010).

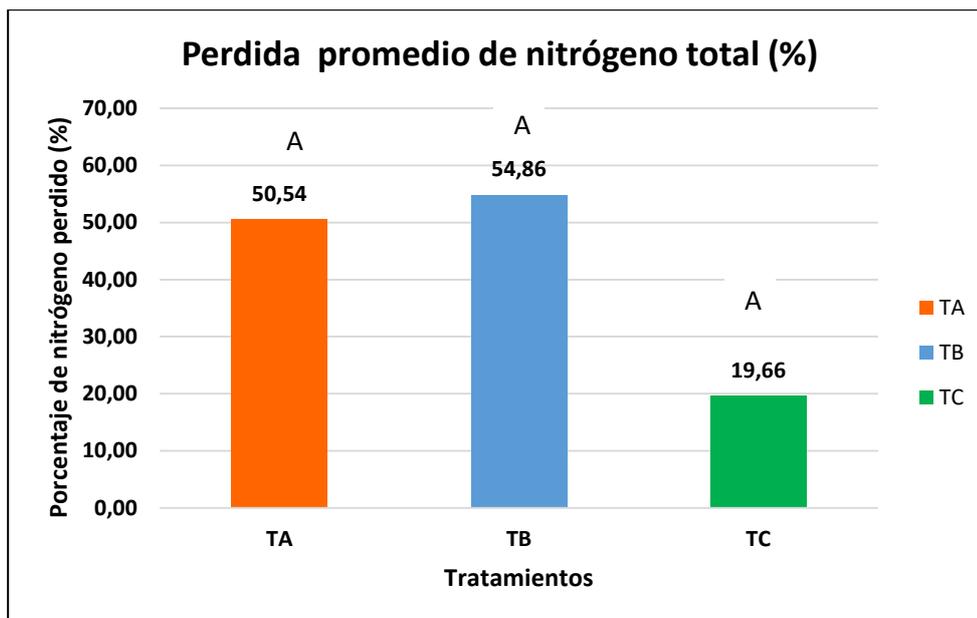


Figura 19: Pérdida de nitrógeno total en el proceso de compostaje y prueba de comparación de Tukey (A)

Estas pérdidas fueron mayores a las obtenidas en pilas de estiércol de vacuno y paja de trigo de 10m^3 a 12m^3 con un volteo (30,4%) y con 3 volteos (36,8%), donde se evidenció la influencia de los volteos en las pérdidas de nitrógeno por emisiones principalmente y en menor medida por lixiviados (Parkinson *et al.*, 2004).

De forma similar las pérdidas fueron mayores a los resultados obtenidos por Tirado (2008), en pilas de compostaje de estiércol de vaca y aserrín de $81,32\text{m}^3$ con volteo cada 3 días durante 16 semanas (42%), pilas de estiércol de vaca y aserrín de $81,32\text{m}^3$ con volteo cada 10 días (31%) y pilas de estiércol de vaca y aserrín de $84,8\text{m}^3$ con volteo cada 10 días (41%), durante 120 días en las cuales se evidenció de igual forma la influencia de los volteos.

De acuerdo a los resultados, la pérdida de nitrógeno probablemente se debió a la naturaleza de los residuos que se sometieron al proceso de compostaje y a las prácticas de manejo puesto que las características de los residuos tales como un pH por encima de 7 aumenta las probabilidades que se generen pérdidas de nitrógeno por volatilización, puesto que al generarse condiciones de temperatura mayor a 45°C en la pila es más probable la volatilización del nitrógeno como $\text{NH}_4^+\text{-N}$, así también, los continuos volteos generan más pérdidas de nitrógeno al volatilizar el $\text{NH}_4^+\text{-N}$ a NH_3 , por exponer las zonas más cercanas al centro de la pila hacia las zonas más superficiales de la pila generando así las condiciones de volatilización del nitrógeno (Hao y Benke, 2010).

4.3.4 Variación de la generación de CO₂ en el tiempo

En la figura 16 y anexo 14, al inicio del proceso de compostaje, la generación de CO₂ fue mayor a 14 mg de CO₂/g de carbono orgánico por día, valor que clasifica a la mezcla inicial como altamente inestable (CCQC, 2001), clasificación más apreciable en el tratamiento control TA (39,81 mg de CO₂/g de Carbono orgánico por día en promedio) y menor en el tratamiento TC (37,71 mg de CO₂/g de Carbono orgánico por día) seguido del tratamiento TB (28,16 mg de CO₂/g de Carbono orgánico), éstos resultados indicarían las condiciones en las cuales se encontraban los residuos de los que se construyeron las pilas, puesto que se encontraban en estado de descomposición.

Después de un mes de compostaje (fase más intensa), se observó una considerable reducción en la actividad microbiana y al final del proceso después de 105 días, el tratamiento TC alcanzó una generación promedio de 3,44 mg de CO₂/g de carbono orgánico por día, mientras que TB logró 6,3 mg de CO₂/g de carbono orgánico por día y TA 7,74 mg de CO₂/g de carbono orgánico por día. Estos resultados clasificarían al tratamiento TC como compost estable (CCQC, 2001).

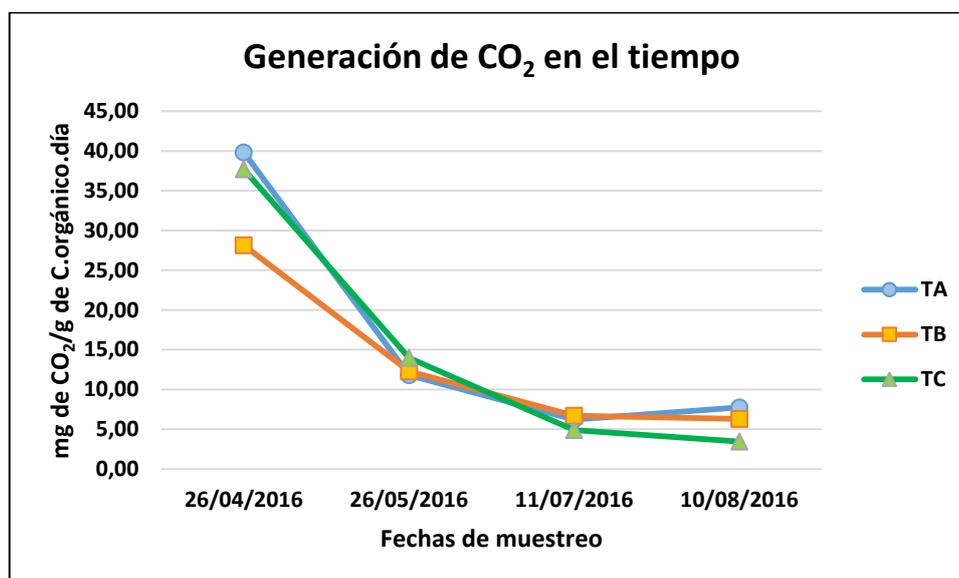


Figura 20: Variación promedio de la generación de CO₂ en el tiempo de muestreo

De acuerdo al análisis de varianza que se muestra en la prueba 6 del anexo 16, el efecto de la aplicación de residuos de coronas de piña picada, muestra diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al tratamiento control en cuanto a la generación de CO₂ / g de carbono orgánico por día a una nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$).

La prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey (Figura 17), mostró que si existen diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento TC (3,435) el que obtuvo mejores resultados con respecto a TA (7,743) y TB (6,308), los cuales no presentaron diferencias significativas entre ambos.

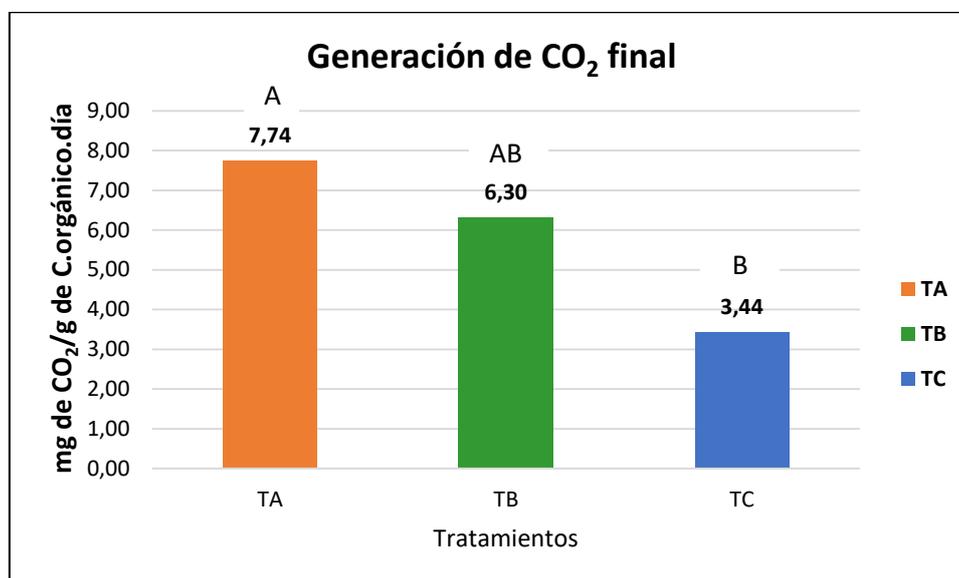


Figura 21: Generación de CO₂ final promedio y prueba de comparación de Tukey (AB)

Estos valores indicarían la influencia de utilizar los residuos de piña para lograr una mejor estabilidad, así también, los resultados del tratamiento TC fueron mejores a los obtenidos en el compostaje de residuos de alimentos mezclados con residuos de madera después de 34 semanas, alcanzando 5.3 mg de CO₂/g de Carbono orgánico por día (Gomez *et al.*, 2008), debido probablemente a la relación C/N inicial más cercana al rango de 25 a 30 recomendado (Tripetchkul *et al.*, 2012) y al sistema de compostaje utilizado de contenedores. Por el contrario, los resultados de TC fueron más deficientes a los obtenidos a en pilas de compostaje con aserrín y paja de trigo, menores a 1 mg de CO₂/g de Carbono orgánico por día después de 90 días aunque con el aserrín obtuvieron mayores pérdidas de nitrógeno con respecto a la paja de trigo (Wang *et al.*, 2004).

Las emisiones de CO₂ finales indican que el tratamiento TC alcanzó en menos tiempo una mayor estabilización con respecto al tratamiento control, esto indicaría que se propiciaron las condiciones necesarias mínimas para mejorar la actividad microbiana que biodegradó más rápido el carbono y nitrógeno menos recalcitrante para los microorganismos como los almidones y carbohidratos de los residuos de papa, camote y zanahoria.

Así mismo, la lignina (4,5%), celulosa (29,6%) y hemicelulosa (23,2%) presentes en los residuos de corona de piña (Upadhyay *et al.*, 2010) promovieron el soporte, favoreciendo la actividad microbiana con los espacios libres de aire (FAS) de 33,25% en promedio mayor a 30% mínimo requerido que asegura un medio poroso para el abastecimiento de oxígeno necesario, así también, el contenido de humedad estuvo cercano a 60% y no menor a 40%, aunque en este caso fue menor a 75% debido a las condiciones de los residuos de camote, papa y zanahoria, que contienen un porcentaje mayor al 70 %.

Una posible explicación la respaldarían los resultados obtenidos por Rivin (2007) en el compostaje de pilas con residuos sólidos de estiércol de cerdo y residuos de árboles de Paulownia (aserrín y hojas) picados menores a 5 cm en una proporción de 1:1 durante 16 semanas, que evidenció la influencia de la relación C/N y la fuente de carbono recalcitrante de la lignina, que favoreció la actividad microbiana así como la mineralización de nitrógeno, lo cual indicaría que los materiales de soporte regulan la dinámica de descomposición de la materia orgánica porque propician una relación C/N adecuada, promueven el medio poroso necesario para el flujo de oxígeno y reducen la humedad excedente para un mejor proceso de compostaje.

4.3.5 Índice de Germinación

En la figura 18 y anexo 15, se observan los diferentes índices de germinación de los tratamientos TA, TB y TC, de los cuales el tratamiento TC presentó mayor porcentaje de índices de germinación (66,69%) con respecto a los tratamientos TB (55,99%) y TA (50,98%).

De acuerdo al análisis de varianza que se muestra en la prueba 7 del anexo 15, el efecto de la aplicación de residuos de corona de piña picada, muestra diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al tratamiento control en cuanto al Índice de germinación a un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$).

La prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey (Figura 18), mostró que si existen diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento TC (66,68%) el de mejor resultado alcanzado en comparación con TA (43,42%), y a su vez éste no presenta diferencias significativas con respecto a TB (55,99%).

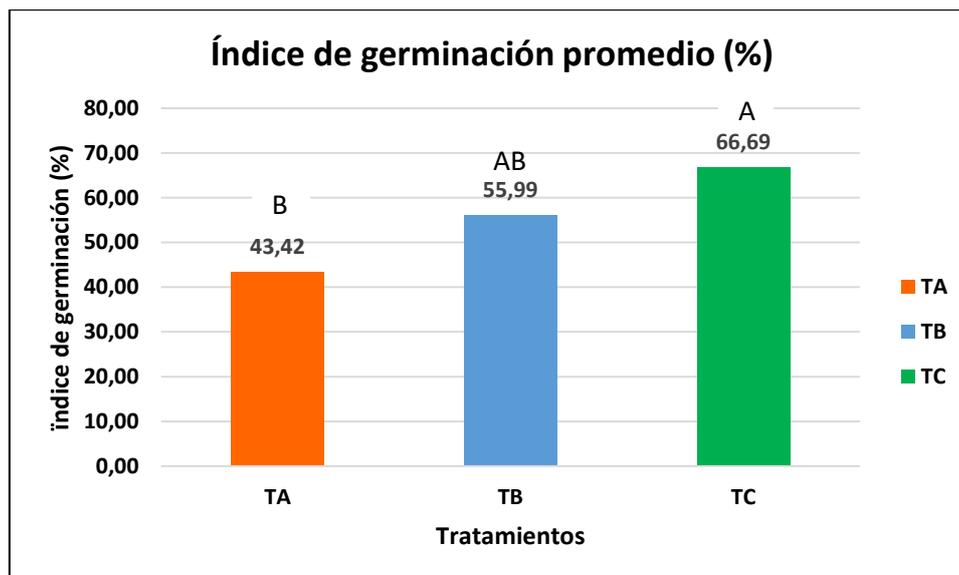


Figura 22: Índice de germinación promedio (%) de Compost final y prueba de comparación de Tukey (AB)

Estos resultados evidencian que el tratamiento TC tiene una moderada inhibición del crecimiento de semillas de rabanito de la variedad *Gigante de sorgo*, ya que las sustancias posiblemente fitotóxicas como los ácidos orgánicos, grasas o amoníaco entre otras sustancias residuales del proceso de compostaje se encontraron en cantidades mínimas y no afectaron el crecimiento de las semillas.

En el caso del tratamiento TB (55,99%) y TA (43,42%), se obtuvo una inhibición fuerte del crecimiento de las semillas de rabanito de la variedad *Gigante de sorgo*, debido probablemente al proceso de compostaje que redujo su eficiencia de biodegradación por la inadecuada aireación (FAS menor al 30%) ocasionando un proceso de compostaje más lento.

De acuerdo a Índice de maduración de CCQC (2001), tanto el tratamiento TC como el tratamiento TB están clasificados como “Compost inmaduro” puesto que los Índices de germinación tanto de TC como de TB fueron menores al 80%. Así mismo, de acuerdo de Zucconi *et al.* (1985) citados por Chang y Chen (2010) los resultados del tratamiento TC y TB indican una moderada fitotoxicidad mientras que los valores de TA indican una alta fitotoxicidad.

Se obtuvieron mejores resultados (mayores a 85% en todos los casos) en el compostaje de estiércol de cerdo y paja de arroz luego de 63 días en 3 contenedores de 4,8 m³ cuyos tratamientos consistieron en aireación forzada cada 4 horas, aireación pasiva y volteos cada vez que la temperatura alcanzó 60°C (Zhu *et al.*, 2004). Estos resultados lograron

probablemente a la relación C/N inicial (25 en todos los casos) y al menor número de volteos realizados en comparación a la presente investigación que procuró eliminar la humedad y las condiciones anaeróbicas.

De forma similar, el compostaje de hojas de piña con estiércol de pollo, en el que se utilizó 4 reactores de poliestireno que contenían 3,5 kg de hojas de piña, 350 g de alimento para pollo, 2,8 L de estiércol de pollo y 175 g de melaza obtuvieron luego de 57 días índices de germinación mayores a 80% con semillas de maíz lo cual indica que el compost estuvo libre de fitotoxinas y maduro (Ahmed *et al.*, 2013). Estos mejores resultados pudieron deberse al pretratamiento que se realizó en las hojas de piña al secarlas al aire antes de llevar a cabo el compostaje así como a la utilización de melaza y el estiércol de pollo que aportaron una relación C/N adecuada así como mayores nutrientes.

Así también estos resultados fueron menores a los obtenidos por Sall *et al.* (2016), en el compostaje de residuos de fruta y vegetales durante 28 semanas, donde usaron dos tratamientos en sistemas contenedores de concreto, 9 m³ de compost de 6 semanas y residuos de granja con 9m³ de residuos de fruta y vegetales así como 7 m³ de cortezas de árbol y 7 m³ de soya picada como materiales de soporte, obteniendo mayores índices de germinación en la mezcla con cortezas de árbol (105 %) y con paja de soya picada (122%) que fue el de mejor resultado. Estos resultados se debieron probablemente al mayor tiempo de compostaje, la relación C/N inicial (30 a 40) y la aireación forzada.

V. CONCLUSIONES

- El uso de residuos de corona de piña picada puede ser utilizado como un insumo para incrementar los espacios libres de aire (FAS) y reducir la humedad de los residuos a compostar por su capacidad de absorción de agua y por mejorar las condiciones que propician una mejor degradación biológica de residuos vegetales de mercado, generando un estabilización aceptable y menos fitotoxicidad con respecto a un compostaje sin su uso.
- El uso de coronas de piña al 30 % (tratamiento TC) en peso promueve un mejor tiempo de estabilización (3,44 mg de CO₂/g de C.Orgánico.día en promedio) con respecto al tratamiento control TA (7,74 mg de CO₂/g de C.Orgánico.día en promedio), sin embargo con respecto a la relación C/N no existen diferencias estadísticamente significativas de los tratamientos TC y TB con respecto al tratamiento control (TA).
- El uso de residuos de corona de piña al 30 % en peso (TC) durante un proceso de compostaje de 105 días genera un compost estable pero insuficientemente maduro, de moderada fitotoxicidad pero con mejor índice de germinación (66,69%) con respecto al tratamiento control TA (43,22%).
- El uso de residuos de corona de piña al 30% (TC) o 10% (TB) en peso durante el proceso de compostaje de residuos vegetales de mercado no presentó diferencias estadísticamente significativas de pérdida de nitrógeno con respecto tratamiento control (TA).
- El uso de residuos de corona de piña al 30% (TC) o 10% (TB) en peso durante el proceso de compostaje de residuos vegetales de mercado no presentó diferencias estadísticamente significativas de pérdida de materia orgánica con respecto tratamiento control (TA).

VI. RECOMENDACIONES

- Es necesario tener cuidado al momento de realizar el compostaje de residuos vegetales mercado, por lo general estos tienen alto porcentaje de humedad mayor al 70%, por lo que se debe regar solo lo necesario las pilas o en todo caso utilizar materiales de soporte que puedan corregir deficiencias que presentan estos residuos para un mejor proceso de compostaje.
- Los tubérculos presentan una tendencia de deshidratarse con mucha facilidad al estar expuestos al sol y con la degradación biológica su estructura hace más difícil humedecer los sustratos que se están compostando, por lo que el uso de materiales de soporte es recomendable para mejorar el proceso de compostaje de estos residuos.
- Es necesario realizar mayores investigaciones ya que es posible usar una mayor proporción de residuos de coronas de piña, o mezclarlos con otros residuos y evaluar la frecuencia de volteos en su conjunto para obtener mejores resultados.
- Es necesario desarrollar mayor investigación en relación a los nutrientes como el fósforo y el potasio que podría obtenerse del compostaje de residuos de piña.
- Es necesario desarrollar mayor investigación en relación a las sustancias húmicas que podría obtenerse del compostaje de residuos de piña.
- Es necesario desarrollar mayor investigación en relación al efecto que tendría el compost con residuos de piña en el suelo como enmienda y en cultivos de piña u otros disponibles.
- Los residuos de piña podrían ser no sólo utilizados en compostaje sino también utilizando biodigestores u otras tecnologías para aprovechar estos residuos como insumos para otras industrias.
- Es posible que una mayor cantidad de residuos de corona de piña (35% en peso a más) deshidratada o secada previamente para que pueda generar mayores espacios libres de aire así como una mayor absorción de agua para propiciar mejores resultados con respecto a este parámetro, así también, se podría utilizar mezclar los desechos de alimentos con otros materiales de soporte como el aserrín pero en menor cantidad, así también se podría utilizar inóculos de microorganismos efectivos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Adhikari, B.** 2005. Urban food waste composting. Tesis de Magister Scientiae. McGill University, CA. McGill University. 115p
- **Agnew, M.** 2002. “The Free Space and Bulk Density of Compost and Compost Materials”. Tesis de Magister Scientiae. University of Alberta. Edmonton, CA. University of Alberta. 140p
- **Agnew, M y Leonard, J.** 2003. The Physical Properties of Compost: Literature Review. Proquest Agriculture Journals 11(3): 238-264
- **Ahmed, O; Ch’ng, H; Kassim. S; Majid, N.** 2013. Co-composting of pineapple leaves and chicken manure slurry. International Journal of Recycling of Organic Waste 2013, 2:23.
- **Arenas, R; Romero, E; Túpac, H.** 2002. “Caracterización de residuos sólidos urbanos (áreas verdes y mercados) para la elaboración de compost en el distrito de Los Olivos”. Trabajo de investigación del Ciclo Optativo de Profesionalización en Gestión de la Calidad y Auditoría Ambiental. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. La Molina-Lima- Perú. 129p
- **Asim, M; Abdam, K; Jawaid, M; Nasir, M; Dashtizadeh, Z; Isahk, M; Hoque, M.** 2015. A review on pineapple leaves fibre and its composites. International Journal of Polymer Science. Volume 2015, 1-16.
- **Bandekar, B.** 2015. Evaluation of source separated organics after inoculation with effective microorganisms and the effect on compost quality. Master of Science Thesis. Nova Scotia, CA. Dalhousie University. Nova Scotia - Canada. 128p

- **Bari, Q.** 1999. Effect of different modes of aeration on composting of solid waste in a closed system. Doctoral Thesis. Pokfulam, HK. University of Hong Kong. Pokfulam – Hong Kong. 202p
- **Barrington, S; Choinière, D; Trigui, M; Knight, W.** 2002. Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresource Technology* 83 (2002) 189–194
- **Batham, N., Gupta, R. y Tiwari, A.** 2013. Implementation of Bulking Agents in Composting: A Review. *Journal Bioremediation & Biodegradation*, 4 (7): 205.
- **Bremner, J. M.** 1965. Nitrogen availability indexes. *Methods of soil analysis, Part 2. Agronomy. Am. Soc. of Agron Madison, Wisconsin* 9:1324-1345.
- **Carneiro, L; Costa, M; Costa, L; Martins, M; Rozatti, M.** 2013. Nutrient loss in composting of agroindustrial residues. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 33(4), 796-807.
- **Carrasco, N.** 2009. Evaluación de tres diferentes tipos de sustratos (bagacillo, aserrín e ichu picado) en la producción de EM – compost. Tesis de Ing. Ambiental. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria- La Molina. La Molina-Lima- Perú. 77p.
- **Castro, S; Hermoza, A; Silva, P.** 2006. Utilización de los residuos de la industria forestal: aserrín, para la elaboración de compost. Trabajo de investigación del Ciclo Optativo de Profesionalización en Gestión de la Calidad y Auditoría Ambiental. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. Universidad Nacional Agraria - La Molina. La Molina-Lima- Perú. 99 p.
- **Cataldo, A; Haroom M; Schrader, L; Young, V.** 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissues by nitration of salicylic acid. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 6(1):71-80.
- **CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CL).** 2016. Evaluaciones del desempeño ambiental PERÚ 2016: Aspectos destacados y

recomendaciones. (En línea). Santiago, CL. Consultado el 1 de Agosto del 2016. Disponible en <https://www.oecd.org/environment/country-reviews/16-00313%20Evaluacion%20desempeno-Peru-WEB.pdf>

- **CCQC (California Compost Quality Council, US). 2001.** Compost Maturity Index. (En línea). California, US. Consultado el 12 de Diciembre del 2015. Disponible en: <http://www.calrecycle.ca.gov/organics/products/quality/comp maturity.pdf>
- **CCME (Canadian Council of Ministers of Environment, CA). 2005.** Guidelines for Compost Quality. (En línea). Winnipeg, CA. Consultado el 12 de Diciembre del 2015. Disponible en http://www.ccme.ca/files/Resources/waste/compost_quality/compostgdlns_1340_e.pdf
- **CGR (Contraloría General de la República, PE). 2013.** Contraloría advierte que faltan rellenos sanitarios para la disposición final de más de 5.8 millones de toneladas de residuos sólidos generadas cada año. Nota de prensa N° 128 - 2013-CG/COM. (en línea). Lima, PE. Consultado el 2 de Junio del 2015. Disponible en http://www.contraloria.gob.pe/wps/wcm/connect/0f45a046-da3b-440b-a4c1-1ad694db368a/NP_128-2013_CG+03-12-2013.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=0f45a046-da3b-440b-a4c1-1ad694db368a
- **Córdoba, E. 2007.** “Evaluación de parámetros físicos y biológicos para el compostaje de los lodos residuales de la industria del papel”. Tesis de Ing. Ambiental. Universidad Nacional Agraria - La Molina. Lima – Perú.
- **Cornell University. 2015.** Cornell Composting Science and Engineering. (en línea). Ithaca, US. Consultado el 2 de Junio del 2015. Disponible en <http://compost.css.cornell.edu/science.html>.
- **Cronjé, A. 2003.** Ammonia emissions and pathogen inactivation during controlled composting of pig manure. Tesis Doctoral. Birmingham, UK. University of Birmingham. 480p.

- **Chang, J; Tsai, J; Wu, K.** 2006. Thermophilic composting de food waste. *Bioresource Technology* 97, 116 - 122.
- **Chang, J; Chen, Y.** 2010. Effects of bulking agents on food waste composting. *Bioresource Technology* 101 (2010) 5917–5924.
- **CIP (Centro Internacional de la Papa, PE).** 2011. Cambios del sector papa en el Perú en la última década: Los aportes del proyecto Innovación y Competitividad de la Papa (INCOPA). (En línea). Lima, Perú. Consultado el 2 de Agosto del 2016. Disponible en <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/005852.pdf>
- **CWMI (Cornell Waste Management Institute, USA).** 2015. Compost Properties. (En línea). New York, USA. Consultado el 7 de Enero del 2016. Disponible en: <http://cwmi.css.cornell.edu/chapter5.pdf>
- **Del Pozo, A.** 2007. “Evaluación del proceso de compostaje de estiércol de vacuno empleando buenas prácticas de manejo”. Tesis de Ing. Zootecnista. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria - La Molina. La Molina-Lima- Perú. 102 p
- **Diaz L. y Savage G.** 2007. *Compost Science and Technology*. (Diaz L., De Bertoldi M.y Bidlingmaier W. 140 eds.). First Edition. Elsevier ltd, Amsterdam, 380 pp.
- **Diario Gestión. 2015.** Supermercados botan a la basura alimentos por S/. 300 millones cada año en el Perú. *Diario Gestión*. (En línea). Lima, PE, ago.18: 2. Consultado el 2 de Agosto del 2016. Disponible en <http://gestion.pe/economia/supermercados-botan-basura-alimentos-s-300-millones-cada-ano-peru-2140199>
- **Dui-an, L; Bai-xing, Y; Lix-xia, W; Zhi-qiang, D; Yu-bin, Z.** 2013. Changes in phosphorus fractions and nitrogen forms during composting of pig manure with rice Straw. *Journal of Integrative Agriculture* 12 (10), 1855-1864.
- **FAO (Food and Agriculture Organization, IT).** 2011. Global Food Losses and Food Waste. Study conducted for the International Congress SAVE FOOD. (En

línea). Düsseldorf, GE. Consultado el 2 de Junio del 2015. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf>

- **FAO (Food and Agriculture Organization, IT).** 2015. Saline soils and their management.(En línea). FAO. Consultado el 10 de Agosto del 2016. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/x5871e/x5871e04.htm>
- **FAO (Food and Agriculture Organization, IT).** 2016. Hallazgos clave. SAVE FOOD: Iniciativa mundial sobre la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos. (En línea). FAO. Consultado el 4 de Agosto del 2016. Disponible en <http://www.fao.org/save-food/recursos/keyfindings/es/>
- **FAO (Food and Agriculture Organization, IT).** 2014. Food Wastage footprint, full-cost accounting: Final Report. (En línea). FAO. Consultado el 4 de Agosto del 2016. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>
- **Faucette, B; Das, K; Risse, M.** 2000. Evaluation of Aereated Container Composting of University Preconsumer and Postconsumer Food Waste. (En línea). Georgia, US. Consultado el 1 de Agosto del 2016. Disponible en <http://infohouse.p2ric.org/ref/11/10634.pdf>
- **Frimpong, J; Obodai, M; Dzomeku; Apertorgbor, M.** 2011. Influence of rice husk on biological efficiency and nutrient content of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex. Fr.) Kummer. *International Food Research Journal* 18: 249-254 (2011)
- **Gomez, M; Grimes, S; Moore, D.** 2008. In Vessel Composting of food waste – A catering waste management solution. *CWRM* 9 (1) 19-23
- **Guo, R; Li, G; Jiang, T; Schuchardt, F; Chen, T; Zhao, Y; Shen, Y.** 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology* 112 (2012) 171–178
- **Haug, R.** 1993. *Practical Handbook of Compost Engineering*. First Edition. Lewis Publishers, Boca Raton,FL. 752 pp.

- **HLPE (High Level Panel of Experts, IT).** 2014. Food losses and waste in the Context of Sustainable food Systems. HLPE Report 8. (En línea). Rome, IT. Consultado el 1 de Mayo del 2016. Disponible en: http://www.un.org/en/zero hunger/pdfs/HLPE_FLW_Report-8_EN.pdf
- **Hao, X; Benke, M.** 2010. Nitrogen transformation and Losses during composting mitigation strategies. *Dynamic Soil, Dynamic Plant* 2(1), 10-18.
- **Iqbal, M; Shafiq, T; Ahmed, T.** 2010. Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost. *Bioresource Technology* 101 (2010): 1913–1919.
- **Liu, C; Liu, Y; Fan, C; Kuang, S.** 2013. The effects of composted pineapple residue return on soil properties and the growth and yield of pineapple. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 3 (2), 433-444
- **López, M; WingChing, R; Rojas, A.** 2014. Meta-análisis de los subproductos de piña (*Ananas comosus*) para la alimentación Animal. *Agronomía Mesoamericana* 25(2):383-392.
- **Martínez, J.** 2012. Sustainability assessment of municipal compost use in horticulture using a life cycle approach. Tesis Doctoral. Bellaterra, ES. Universitat Autònoma de Barcelona. 375p.
- **Mainoo, N; Barrington, S; Whalen, J; Sampedro L.** 2009. Pilot-scale vermicomposting of pineapple wastes with earthworms native to Accra, Ghana. *Bioresource Technology* 100(2009): 5872-5875.
- **Malwana, C; Weerasingle, T; Pilapitiya, S.** 2013. Determination of Optimal Pile Dimensions during Thermophilic Windrow Composting of Municipal Solid Waste (Msw) in Sri Lanka. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics* 3(6): 552-556.
- **MINAM (Ministerio del Ambiente, PE).** 2009. Informe Anual de Residuos Sólidos Municipales en el Perú, Gestión 2008 Lima – Perú. (En línea). Lima,

MINAM. Consultado 6 de Julio del 2016. Disponible en:
<http://redrrss.minam.gob.pe/material/20110601095917.pdf>

- **MINAM (Ministerio del Ambiente, PE).** 2012. Informe Anual de Residuos sólidos Municipales y No Municipales en el Perú Gestión 2012. (En línea). Lima, MINAM. Disponible en: <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20140423145035.pdf>
- **MINAM (Ministerio del Ambiente, PE).** 2016. Plan Nacional de Gestión Integral de residuos sólidos 2016 - 2024. (en línea). Lima, PE. Consultado el 10 de Agosto del 2016. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/IMPRIMIR-PLANRES-2016-2024-25-07-16.pdf>
- **MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE).** 2016. Sistema de abastecimiento y precios. Cantidad almacenada de piña mensual para comercialización. (en línea). Lima, Perú. Consultado el 2 de Agosto del 2016. Disponible en <http://sistemas.minag.gob.pe/sisap/portal2/mayorista/#>
- **Miyashiro, I.** 2014. Calidad de 6 formulaciones de compost enriquecidos con guano de islas. Tesis de Ing. Ambiental. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria - La Molina. La Molina-Lima- Perú. 149 p
- **Monge, G.** 1994. Evaluación de la Contaminación Ambiental por la Disposición Final de RRSS: El relleno Sanitario y la Producción de Compost. Tesis de Ing. Químico. Lima, PE. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Cercado-Lima- Perú. 165 p
- **Morra, L., Pagano, L., Iovenio, P., Baldantoni, D. y Alfani, A.** 2010. Soil and vegetable crop response to addition of different levels of municipal waste compost under Mediterranean greenhouse conditions. *Agronomy for Sustainable development*, 30 (3) 701 – 709.
- **NSFA (Nova Scotia Federation of Agriculture, CA).** 2014. On-Farm Manure Management Through Composting. (En línea). Nova Scotia, Canada. Consultado

el 13 de Agosto del 2016. Disponible en: http://www.nsfa-fane.ca/efp/wp-content/uploads/2014/07/manure_management_through_composting.pdf

- **Ohio State University.** 2015. Ohio Compost Operator Education Course. (En línea). Ohio, US. Consultado el 15 de Mayo del 2015. Disponible en: https://ocamm.osu.edu/sites/ocamm/files/imce/Compost/Compost-Calculations/Lab_workbook.pdf
- **ÖNORM M 6201.** 2006. pH Messung Begriffe. ÖNORMEN Austrian Standards.
- **ÖNORM S2023.** 1993. Untersuchungsmethoden und Güteüberwachung von Komposten. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- **ÖNORM S2220.** 1993. "Gütekriterien für Komposte aus biogenen Abfällen Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- **Orbezo, Y. 2016.** La Comida No se Bota. Revista CARETAS. (en línea). Lima, PE, jun.9:1. Consultado el 1 de Agosto del 2016. Disponible en <http://caretas.pe/Main.asp?T=3082&S=&id=12&idE=1263&idSTo=0&idA=75743#.V7-ahSh97IW>
- **Parkinson, R; Gibbs, P; Burchett, S; Misselbrook, T.** 2004. Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresource Technology* 91 (2004) 171–178.
- **Rich, N; Kumar, S; Bharti, A.** 2013. Changes in Characteristic of Municipal Solid Waste by Bulking Agent In-vessel Composting: Critical Review. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(4) 235-249.
- **Rivin, J.** 2007. Co-Composting and Characterization of Swine Waste Solids and Its Use as a Soil Amendment in a Field Study: The Effects of Duration of Composting. Thesis Doctoral. Raleigh, USA. North Carolina State University. Raleigh – North Carolina – USA. 256p

- **Rockson, G.** 2014. Composting Abattoir waste and River Reed: Effect of Feedstock and Aeration Mechanism on Process Efficiency. Tesis Doctotal. Kwame Nkrumah University of Science and Technology. Kumasi, GH. 290p.
- **Sall, P; Antoun, H; Chalifour, F; Beauchamp, C.** 2016. On Farm composting of fruit and vegetable waste from grocery stores: A case under cold climatic conditions of Eastern Canada. Third Symposium on Urban Mining and Circular Economy, 23 - 25 May 2016. Old Monastery of St. Augustine, Bergamo, Italy. CISA Publisher, 14p
- **TMECC 04.10.** 2004. Test method for Electrical Conductivity. Test Methods for the Examination of Composting and Compost of the US Composting Council. US Composting Council.
- **Tucker, P.** 2005. Co-composting paper mill sludges with fruit and vegetable wastes. (en línea). Scotland, UK. Consultado 02 de Agosto del 2016. Disponible en www.uws.ac.uk/workarea/downloadasset.aspx?id=2147493392
- **Tiquia, S; Richard, T; Honeyman, M.** 2002. Carbon, nutrient and mass loss during composting. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62: 15 - 24.
- **Tirado, S.** 2008. Effects of turning frequency, pile size and season on physical, chemical and biological properties during composting of dairy manure/sawdust (dm+s). Thesis of Magister Scientiae. Columbus – USA. Ohio State University - Columbus. Columbus - Ohio - USA. 155 p
- **Tripetchkul, S; Pundee, K; Koonsrisuk, S; Akeprathumchai, S.** 2012. Co-composting of coir pith and cow manure: initial C/N ratio vs physico-chemical changes. *International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 2012, 1:15
- **Ukpaka, C; Ibisio, E.** 2013. Adsorbent in bioremediation of crude oil polluted environment: influence of physicochemical characteristics of various saw dusts. *International Research Journal of Biotechnology* 4 (7) 124-141.

- **Upadhyay, A; Lama, J; Tawata, S.** 2010. Utilization of Pineapple waste: A review. *Journal of Food Science Technology*, 6:10 – 18.
- **Ventura, E. y Sarmiento, O.** 2007. “Parámetros de calidad en compost de cuatro niveles de estiércol de ovino”. Tesis de Ing. Zootecnista. Universidad Nacional Agraria - La Molina. Lima - Perú. 144 p
- **WASTE Consultants.** 1993. *Organic Waste: Options for small scale resource recovery.* (Lardinois, I. y Klundert, A Van de eds.). First Edition. TOOL Amsterdam y WASTE Consultants. Gouda, NL, 101p.
- **Wang, P; Changa, C; Watson, M; Dick, W; Chen, Y; Hoitink, H.** 2004. Maturity indices for composted dairy and pig manures. *Soil Biology & Biochemistry*, 36 (2004) 767–776.
- **Zhu, N; Deng, C; Xiong, Y; Qian, H.** 2004. Performance characteristics of three aeration systems in the swine manure composting. *Bioresource Technology* 95 (2004) 319–326.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Tabla de generación promedio mensual de residuos de piña (corona) entre los años 2011 - 2016

Fecha	Piña Cayena Lisa (toneladas)	Piña Criolla De Selva (toneladas)	Piña Golden (toneladas)	Piña Hawaiana (toneladas)	Sumatoria Total (toneladas)	Residuos de Coronas de Piña (toneladas)
ago-16	64	417	176	430	1085,52	114,85
jul-16	216	1696	582	1661	4155,3	439,63
jun-16	149	1705	595	1690	4139,58	437,97
may-16	125	1701	602	1729	4156,5	439,76
abr-16	254	1555	447	1566	3822,96	404,47
mar-16	232	1571	432	1599	3833,87	405,62
feb-16	180	1414	365	1463	3421,38	361,98
ene-16	129	1575	386	1611	3699,9	391,45
dic-15	216	1639	405	1597	3857,66	408,14
nov-15	189	1674	333	1635	3831,36	405,36
oct-15	172	1518	494	1600	3783,37	400,28
sep-15	174	1596	325	1587	3682,86	389,65
ago-15	171	1576	352	1592	3691,44	390,55
jul-15	174	1633	393	1607	3807,24	402,81
jun-15	204	1602	432	1516	3754,98	397,28
may-15	203	1713	385	1674	3974,66	420,52
abr-15	250	1616	359	1557	3780,78	400,01
mar-15	354	1550	435	1563	3902,64	412,90
feb-15	185	1410	405	1349	3348,84	354,31
ene-15	189	1496	483	1481	3649,44	386,11
dic-14	189	1541	411	1553	3693,72	390,80
nov-14	143	1509	436	1593	3681,52	389,50
oct-14	184	1556	390	1549	3679,2	389,26
sep-14	314	1467	318	1463	3562,56	376,92
ago-14	257	1591	362	1545	3754,68	397,25
jul-14	322	1544	247	1519	3631,5	384,21
jun-14	225	1479	315	1453	3472,5	367,39
may-14	176	1396	338	1590	3499,86	370,29
abr-14	174	1425	338	1394	3330,36	352,35
mar-14	272	1488	341	1445	3546,48	375,22
feb-14	361	1329	341	1313	3344,4	353,84
ene-14	348	1460	409	1495	3712,14	392,74
dic-13	318	1467	370	1384	3539,34	374,46
nov-13	266	1396	289	1411	3361,7	355,67

FUENTE: Adaptado de MINAGRI (2016)

...Continuación

Fecha	Piña Cayena Lisa (toneladas)	Piña Criolla De Selva (toneladas)	Piña Golden (toneladas)	Piña Hawaiana (toneladas)	Sumatoria Total (toneladas)	Residuos de Coronas de Piña (toneladas)
oct-13	301	1343	304	1373	3321,84	351,45
sep-13	306	1499	243	1533	3581,82	378,96
ago-13	340	1504	291	1503	3638,76	384,98
jul-13	367	1556	295	1585	3803,82	402,44
jun-13	328	1495	374	1582	3778,98	399,82
may-13	396	1613	402	1625	4036,68	427,08
abr-13	349	1510	399	1591	3849,72	407,30
mar-13	410	1670	420	1689	4188,6	443,15
feb-13	413	1512	339	1449	3713,76	392,92
ene-13	407	1632	329	1527	3895,68	412,16
dic-12	342	1622	384	1655	4003,2	423,54
nov-12	258	1622	324	1601	3804,72	402,54
oct-12	304	1589	311	1693	3897,3	412,33
sep-12	238	1461	415	1523	3637,56	384,85
ago-12	365	1401	339	1578	3681,78	389,53
jul-12	356	1554	381	1794	4086,24	432,32
jun-12	308	1517	305	1684	3814,08	403,53
may-12	293	1518	367	1853	4030,5	426,43
abr-12	240	1422	227	1815	3703,32	391,81
mar-12	315	1635	297	1905	4153,14	439,40
feb-12	248	1539	255	1843	3885,24	411,06
ene-12	275	1424	249	1764	3712,08	392,74
dic-11	272	1529	258	2108	4167,24	440,89
nov-11	257	1484	256	1936	3931,92	416,00
oct-11	278	1290	269	1977	3814,32	403,56
sep-11	241	1181	244	1625	3291,64	348,26
ago-11	246	1299	219	1876	3641,16	385,23
jul-11	268	1319	286	1829	3701,54	391,62
jun-11	212	1278	183	1733	3405,26	360,28
may-11	190	1239	164	1534	3127,16	330,85
abr-11	153	1220	180	1624	3177,16	336,14
mar-11	186	1375	205	1829	3595,32	380,38
feb-11	175	1449	176	1852	3652,46	386,43
ene-11	199	1525	182	1987	3892,96	411,88
				Promedio	3688,34	390,23

FUENTE: Adaptado de MINAGRI (2016)

Anexo 2: Tabla de mediciones de temperatura evaluadas durante el compostaje

Tratamientos	1	2	3	4	5	6
	26/04/2016	27/04/2016	28/04/2016	29/04/2016	02/05/2016	03/05/2016
TA1	31	31,4	31,8	30,7	31,1	30,4
TA2	42,6	38,8	39,1	35,8	36,5	35,4
TA3	37,8	36,4	36,6	36,8	38	36,1
TA4	41,8	40	40,2	38,4	42,3	39,9
TB1	41,6	39,9	40,8	40,3	45,2	43,1
TB2	39,2	39	39,3	40,1	43,6	41,3
TB3	41	41,9	42,3	41,4	43	41
TB4	42,9	40,7	40,8	38,6	43,5	41,1
TC1	44	45	45,6	42	46,5	45
TC2	42	42	42,6	43	46,5	43,1
TC3	43	42	42	43,6	45	43,8
TC4	42	41	41,4	41,8	43	43,1

Tratamientos	7	8	9	10	11	12
	05/05/2016	06/05/2016	07/05/2016	09/05/2016	11/05/2016	13/05/2016
TA1	37,6	32,6	31,5	34,2	33,7	34,3
TA2	34,7	34,7	39,2	38,7	37,8	39
TA3	34,5	35,1	37,4	39,1	37,5	37,3
TA4	42	39,3	47,3	44	42,3	43,3
TB1	43,1	42,7	46,2	42,4	44,5	42,5
TB2	42,1	42,1	46,6	41,3	42,1	42,1
TB3	41,9	41,4	44	41,2	42,5	40,5
TB4	42,5	41,9	43,5	42,4	42,1	42
TC1	46,1	44,7	48,1	48,9	48,4	45,8
TC2	43,8	43,4	48	49,9	51,2	45,3
TC3	43,9	42,6	52,3	47,6	47,2	46
TC4	42,5	44,1	52,2	49,5	54	45,5

Tratamientos	13	14	15	16	17	18
	14/05/2016	16/05/2016	18/05/2016	20/05/2016	22/05/2016	23/05/2016
TA1	31,9	37	35,5	35,6	34	34,5
TA2	43	40,9	40,7	40	37,8	37,4
TA3	39,7	39,5	39,7	39	38,5	36,9
TA4	51,7	48,9	46,9	43,6	38,9	34,5
TB1	52,5	50,8	45,7	42,7	42,1	40,5
TB2	45	45,5	41,5	41	39,5	37,2
TB3	55,3	57,9	59	51	43,9	42,3
TB4	48,9	51,2	47,2	42,5	41,7	39,1
TC1	45	47,1	43,6	41	39,1	38,1
TC2	53	52,5	49,2	43,2	40,4	38,2
TC3	50,4	56,1	47,9	43,6	41,7	41,1
TC4	50	49,7	45	41	37,6	38

Tratamientos	19	20	21	22	23	24
	25/05/2016	27/05/2016	29/05/2016	31/05/2016	02/06/2016	03/06/2016
TA1	39,6	41,2	39,9	35,6	46	40,3
TA2	39,8	38,6	35,7	34,1	40,8	37,8
TA3	43	40	38,3	37,5	37,5	34,7
TA4	35	34	33,6	33,5	37	33,1
TB1	49	48,5	49,8	41,2	53,1	46,8
TB2	43,5	45,5	43,5	39,5	44	41,2
TB3	51,2	49	47,5	41,5	41,3	38
TB4	46	49,3	41,5	36,5	40	38,7
TC1	40	44,2	41,5	35,9	36	36
TC2	57	60	48,5	44,3	43,9	41,3
TC3	45	49,5	41,4	35,9	44,6	46,1
TC4	43,2	47,2	40,5	35,5	34,5	34,2

Tratamientos	25	26	27	28	29	30
	06/06/2016	07/06/2016	09/06/2016	10/06/2016	12/06/2016	14/06/2016
TA1	35,4	32,2	44,3	42,5	38,5	36,4
TA2	34	30,8	37	34,5	33,3	36,2
TA3	32	32,5	41,2	40,2	35	35,5
TA4	32,4	32,9	31,3	29,3	27,6	25,9
TB1	41,5	40,3	40,8	41,3	35,4	34,9
TB2	36,4	33,8	40,2	39,9	35,6	34,4
TB3	29,6	28,5	36,7	37	35,2	35,9
TB4	34,6	33,8	37,7	39,5	36,4	38,5
TC1	29,6	28,8	34,9	34,5	35	33,5
TC2	36,5	34,7	52,3	51,1	50,3	46,3
TC3	33,2	31	36,2	35,3	34,5	32,9
TC4	29	28,1	41,4	43,5	41,4	39,4

Tratamientos	31	32	33	34	35	36
	16/06/2016	18/06/2016	20/06/2016	21/06/2016	22/06/2016	24/06/2016
TA1	33,8	32,9	31,2	31,1	27,9	27,4
TA2	38,5	39,3	35,4	33,4	36,7	36,5
TA3	35,6	35,1	31,5	29,3	31	26,9
TA4	30,2	31,9	29,5	27,3	26,5	26,1
TB1	39,5	36,1	34,2	34,5	37,4	36,1
TB2	39,4	38,8	35,3	33	37,1	36,4
TB3	37,4	37,4	34,5	31,1	36,1	35,3
TB4	39,5	35,5	32,5	32,1	33	32,9
TC1	44	42,4	39,2	38,4	46,2	43,5
TC2	37,5	39,1	33,5	32,5	33,4	32,7
TC3	37,5	33,3	27,7	26,9	28,8	31,5
TC4	38,2	33,5	30,6	29	28,6	28

Tratamientos	37	38	39	40	41	42
	26/06/2016	28/06/2016	30/06/2016	02/07/2016	04/07/2016	05/07/2016
TA1	27,2	26,7	31	28,5	28,7	26,4
TA2	35,1	32,5	29,3	28,8	29	26
TA3	26,8	25,1	30,9	29,1	30,5	30,3
TA4	25,6	25,5	28	33,2	25	30,2
TB1	33,2	29,7	32,4	32,1	32	29,5
TB2	36,3	36,1	31,2	32,3	31,4	27,7
TB3	34,8	30,4	36,4	31,2	30	25,4
TB4	31,5	29,3	34,7	32,6	32,1	27,5
TC1	37,3	34,4	32,6	31	31	29,1
TC2	31,8	30,1	30,1	28,1	28,8	27,9
TC3	31	28,2	31,2	28,6	30,4	26,6
TC4	27,9	27,6	27,6	27	27,6	24,3

Tratamientos	43	44	45	46	47	48
	06/07/2016	08/07/2016	10/07/2016	12/07/2016	14/07/2016	16/07/2016
TA1	29,5	30	29,7	28	28,7	27
TA2	28,3	28,3	28,3	27	29,5	26,3
TA3	33,5	33,9	32,3	29,9	32,8	29,5
TA4	29,7	29,6	28,7	27,3	32	30,5
TB1	30,9	32,8	31,7	27,9	35,5	33,7
TB2	32,9	33,1	32,2	29	35,8	34,3
TB3	29,7	31	29,9	27,3	28,6	28
TB4	29,5	31,1	28,7	26	30,1	27,5
TC1	28,5	28,5	27,7	27	26,9	26,2
TC2	28,8	28,6	28,3	26	25,7	24,6
TC3	29	29,5	28,1	26	27,4	25
TC4	26,6	26,5	25,7	25	26	24,1

Tratamientos	49	50	51	52	53	54
	18/07/2016	20/07/2016	22/07/2016	24/07/2016	26/07/2016	28/07/2016
TA1	24,2	24,2	23,3	23,1	23,5	23,5
TA2	24,2	27	25,7	27	26,7	26,6
TA3	26	30	28,3	27,9	27,1	29,4
TA4	29	29,7	31	30,5	27	29,8
TB1	28,7	33	33,7	31,7	28,9	29,4
TB2	28,3	28	30,3	28,9	30,5	31,9
TB3	23,5	26,3	26	25	24,7	25,2
TB4	24,5	26,2	28,6	26	24,8	25,2
TC1	25,5	23,6	25	25,5	24,5	25
TC2	23,5	23,2	25,9	26	22,7	23,5
TC3	23,5	23	23,7	24,1	22,4	23,5
TC4	22,7	22,7	22,6	22,4	23,6	23,5

Tratamientos	55	56	57	58	59	60
	30/07/2016	01/08/2016	03/08/2016	05/08/2016	07/08/2016	09/08/2016
TA1	23,4	25,5	25,2	23,1	22,6	22,5
TA2	26,6	26,7	26,5	27,9	24	23,7
TA3	29,1	28,5	29,3	25,4	23,5	23
TA4	28,5	28,7	28,4	33,2	30	28
TB1	29,1	27	26,9	26,7	25,1	24,9
TB2	31,5	27,5	30	27,1	25,1	24,7
TB3	24,9	25,6	23,9	22,3	22	21,7
TB4	25	26,2	24,8	22,2	22,3	22
TC1	24,8	25	23,4	21,2	21,8	21,6
TC2	23,4	23,8	23,6	22,2	22,7	22,1
TC3	23,5	23,6	22,6	20,8	21,1	21
TC4	23,3	23,5	22,9	21,4	21,2	21

Tratamientos	61	62	63
	11/08/2016	13/08/2016	15/08/2016
TA1	22,3	21,7	21,2
TA2	23,7	22,8	22
TA3	22,8	21,9	21
TA4	27,6	25	24,5
TB1	24,6	23,4	22,9
TB2	23,9	23,6	22,4
TB3	21,1	20,8	20,7
TB4	21,8	21,4	21
TC1	21,2	21	20,4
TC2	21,8	21,3	20,8
TC3	20,8	20,5	20
TC4	20,6	20	19,6

Anexo 3: Tabla de mediciones del contenido de humedad

Tratam.	26/04/2016	11/05/2016	26/05/2016	11/06/2016	27/06/2016	11/07/2016	25/07/2016	10/08/2016
TA1	77,21	56,95	60,47	52,10	54,95	60,06	57,45	57,66
TA2	74,10	63,35	51,24	53,20	65,10	41,16	62,38	56,30
TA3	71,50	64,61	58,54	57,74	59,07	55,58	60,29	57,46
TA4	85,84	66,90	55,82	54,30	54,30	41,54	56,36	53,38
TB1	72,69	67,53	64,39	55,02	52,11	48,24	56,92	61,88
TB2	73,66	58,70	63,93	60,42	51,60	51,91	60,51	50,64
TB3	66,99	62,01	62,61	62,18	50,16	58,11	58,88	56,98
TB4	72,94	66,38	58,65	64,67	57,63	62,26	64,12	62,14
TC1	73,62	80,76	53,45	65,33	57,46	57,46	62,02	54,59
TC2	64,27	59,96	62,53	66,92	61,20	52,02	49,76	52,23
TC3	83,36	76,21	68,07	64,19	67,46	58,34	60,99	60,20
TC4	75,09	66,18	68,17	72,70	61,10	62,62	63,27	56,00

Anexo 4: Tabla de mediciones de potencial de iones hidrógeno (pH)

Tratam.	26/04/2016	11/05/2016	26/05/2016	11/06/2016	27/06/2016	11/07/2016	25/07/2016	10/08/2016
TA1	3,74	4,40	4,60	9,35	9,15	8,08	9,5	9,58
TA2	3,63	4,36	5,02	4,82	9	9,02	9,57	9,57
TA3	3,69	4,51	6,84	5,10	9,04	8,89	9,24	9,31
TA4	3,86	4,58	9,22	8,79	9,45	9,54	9,53	9,58
TB1	3,58	5,09	7,92	9,17	9,48	9,38	9,57	9,58
TB2	3,73	5,06	6,27	8,90	9,5	9,55	9,46	9,59
TB3	4,14	4,65	7,73	6,28	8,93	9,48	9,56	9,59
TB4	3,85	5,29	6,63	8,81	9,39	8,99	9,51	9,58
TC1	3,85	8,49	7,29	8,66	9,2	9,53	9,57	9,59
TC2	3,66	8,83	8,10	8,31	9,51	9,54	9,56	9,58
TC3	3,93	6,97	8,36	8,14	9,37	9,26	9,58	9,59
TC4	3,89	7,03	8,53	7,52	9,52	9,22	9,59	9,59

Anexo 5: Tabla de mediciones de conductividad eléctrica (dS/m)

Tratam.	26/04/2016	11/05/2016	26/05/2016	11/06/2016	27/06/2016	11/07/2016	25/07/2016	10/08/2016
TA1	1,98	2,03	1,84	4,54	4,89	3,9	4,71	4,57
TA2	1,58	2,42	2,36	3,83	3,39	3,86	4,15	3,49
TA3	2,03	2,29	2,95	3,12	3,86	3,38	3,37	3,41
TA4	2,57	2,44	3,29	3,64	3,94	4,18	4,82	3,68
TB1	1,36	2,58	3,27	4,12	4,89	4,19	4,2	4,6
TB2	2,03	2,15	2,57	4,22	4,83	4,49	4,75	4,93
TB3	1,53	2,06	2,3	3,76	4,41	3,82	4,84	4,79
TB4	1,5	2,29	1,87	3,75	4,97	4,12	4,81	4,18
TC1	2,2	2,4	2,82	4,1	4,79	4,97	6,41	6,31
TC2	1,5	2,43	1,9	3,38	4,85	4,88	5,81	4,19
TC3	1,64	2,26	2,83	4,02	4,49	5,46	6,81	5,7
TC4	1,99	1,44	1,89	4,06	5,05	4,01	5,48	4,95

Anexo 6: Tabla de mediciones de la Densidad Aparente en el tiempo (Kg/m³)

Tratamientos	26/04/2016	26/05/2016	11/07/2016	10/08/2016
TA1	900,00	500,00	516,67	533,33
TA2	850,00	433,33	550,00	566,67
TA3	916,67	450,00	550,00	566,67
TA4	916,67	400,00	483,33	483,33
TB1	750,00	450,00	566,67	433,33
TB2	733,33	450,00	533,33	466,67
TB3	666,67	416,67	483,33	483,33
TB4	666,67	350,00	650,00	466,67
TC1	700,00	450,00	633,33	433,33
TC2	700,00	316,67	500,00	466,67
TC3	700,00	383,33	416,67	516,67
TC4	766,67	450,00	433,33	500,00

Anexo 7: Tabla de mediciones de los espacios libres de aire (%)

Tratamientos	26/04/2016	26/05/2016	11/07/2016	10/08/2016
TA1	21,67	53,33	48,33	51,67
TA2	20,00	53,33	46,67	45,00
TA3	20,00	51,67	41,67	51,67
TA4	21,67	56,67	48,33	56,67
TB1	23,33	53,33	46,67	60,00
TB2	25,00	55,00	48,33	51,67
TB3	26,67	50,00	48,33	51,67
TB4	26,67	61,67	36,67	53,33
TC1	33,33	50,00	40,00	60,00
TC2	33,00	65,00	53,33	55,00
TC3	33,33	56,67	60,00	48,33
TC4	33,33	58,33	55,00	50,00

Anexo 8: Tabla de resultados de análisis de nitrógeno amoniacal

Tratamientos	26/04/2016	26/05/2016	11/07/2016	10/08/2016
TA1	0,0516	0,0184	0,0184	0,0057
TA2	0,0113	0,0057	0,0041	0,0068
TA3	0,0064	0,0068	0,0041	0,0068
TA4	0,0083	0,0114	0,0013	0,0038
TB1	0,0225	0,0110	0,0016	0,0047
TB2	0,0103	0,0140	0,0264	0,0031
TB3	0,0035	0,0075	0,0105	0,0045
TB4	0,0042	0,0217	0,0054	0,0054
TC1	0,0157	0,0048	0,0060	0,0060
TC2	0,0272	0,0150	0,0001	0,0045
TC3	0,0076	0,0158	0,0002	0,0070
TC4	0,0067	0,0158	0,0002	0,0123
TA1	0,0516	0,0184	0,0184	0,0057

Anexo 9: Tabla de resultados de análisis de nitratos

Tratamientos	26/04/2016	26/05/2016	11/07/2016	10/08/2016
TA1	< 0,059	< 0,059	3,1506	30,2632
TA2	4,315	102,4183	< 0,059	16,4286
TA3	16,9143	4,0831	1,4366	25,6516
TA4	< 0,059	178,0107	< 0,059	17,8697
TB1	17,089	39,7202	< 0,059	69,7494
TB2	19,7576	47,7019	< 0,059	66,5789
TB3	3,6316	1046,8988	< 0,059	45,2506
TB4	6,6586	122,4484	< 0,059	176,8233
TC1	15,4716	245,1146	< 0,059	97,6000
TC2	4,6684	136,7715	< 0,059	85,3133
TC3	23,3798	117,0592	< 0,059	60,8145
TC4	10,6719	318,5159	< 0,059	195,5576

Anexo 10: Tabla de resultados de análisis de cloruros

Tratamientos	26/04/2016	26/05/2016	11/07/2016	10/08/2016
TA1	132,8814	446,3282	1998,4393	108,6634
TA2	143,285	948,0512	2068,6497	2601,9121
TA3	345,0951	826,6113	1767,9671	369,6174
TA4	250,4014	1871,0273	10,5598	305,1969
TB1	368,8955	937,3078	1959,0783	195,0334
TB2	154,9145	1326,4663	2905,7624	5862,0197
TB3	450,0016	1999,7939	18,6997	92,4173
TB4	269,7223	1661,4153	2306,942	6445,3458
TC1	246,9377	1381,2616	3889,1786	2936,6529
TC2	96,1542	1241,5934	2452,0377	3979,4413
TC3	338,481	835,5014	2960,2033	0,227
TC4	189,3591	1048,2847	3203,6425	7118,8311

Anexo 11: Tabla de resultados de análisis de la relación C/N

Tratamientos	26/04/2016	26/05/2016	11/07/2016	10/08/2016
TA1	32,3	26,7	21,4	18,5
TA2	50,3	45,7	41,4	13,7
TA3	58,7	50,8	23,8	12,8
TA4	46,1	37,0	45,6	12,5
TB1	50,3	40,2	17,2	14,4
TB2	54,7	46,7	19,8	19,1
TB3	50,5	38,5	21,3	17,1
TB4	55,4	31,5	16,4	12,8
TC1	57,5	41,0	15,1	12,3
TC2	46,5	31,3	13,5	14,8
TC3	45,5	36,2	18,4	15,6
TC4	31,0	24,6	14,2	13,9

Anexo 12: Tabla de resultados de pérdida de materia orgánica del proceso de compostaje (%)

Tratamientos	Inicio	Final
TA1	0	59,16
TA2	0	94,67
TA3	0	88,18
TA4	0	85,66
TB1	0	86,32
TB2	0	73,68
TB3	0	85,56
TB4	0	96,59
TC1	0	88,28
TC2	0	70,59
TC3	0	79,55
TC4	0	48,62

Anexo 13: Tabla de resultados de pérdida de nitrógeno total del proceso de compostaje (%)

Tratamientos	Inicio	Final
TA1	0	28,64
TA2	0	80,45
TA3	0	45,83
TA4	0	47,23
TB1	0	52,26
TB2	0	24,50
TB3	0	57,39
TB4	0	85,31
TC1	0	45,27
TC2	0	7,87
TC3	0	40,27
TC4	0	-14,76

Anexo 14: Tabla de resultados de Generación de CO₂ durante el proceso de compostaje (mgCO₂/g de Corg. día)

Tratamientos	26/04/2016	26/05/2016	11/07/2016	10/08/2016
TA1	43,24	14,14	8,40	8,17
TA2	29,03	14,02	5,37	5,43
TA3	25,85	13,23	6,77	7,74
TA4	61,11	5,88	4,31	9,63
TB1	28,60	11,39	6,33	9,02
TB2	36,62	15,01	5,58	5,17
TB3	21,24	10,11	6,03	4,56
TB4	26,18	12,66	8,81	6,48
TC1	29,88	9,43	5,05	3,37
TC2	26,66	10,85	4,35	3,76
TC3	53,48	14,60	5,46	3,62
TC4	40,79	20,98	4,76	2,99

Anexo 15: Tabla de resultados de Índice de germinación del compost final

Tratamientos	I. de germinación (%)
TA1	47,46
TA2	33,61
TA3	43,35
TA4	49,27
TB1	34,58
TB2	56,85
TB3	60,69
TB4	71,85
TC1	61,77
TC2	67,75
TC3	57,69
TC4	79,54

Anexo 16: Pruebas estadísticas realizadas de parámetros de evaluación de eficiencia del proceso de compostaje

Modelo DBCA

Obs	TRAT	BLOQ	FAS	Relación C/N Inicial	Relación C/N Final	Perdida de MO	Perdida de N	Resp. Microbiana	Índ.de germinación
1	TA	1	21.67	32.32	18.50	59.16	28.64	8.17	47.46
2	TA	2	20.00	50.25	13.71	94.67	80.45	5.43	33.61
3	TA	3	20.00	58.70	12.80	88.18	45.83	7.74	43.35
4	TA	4	21.67	46.05	12.52	85.66	47.23	9.63	49.27
5	TB	1	23.33	50.30	14.42	86.32	52.26	9.02	34.58
6	TB	2	25.00	54.70	19.07	73.68	24.50	5.17	56.85
7	TB	3	26.67	50.50	17.11	85.56	57.39	4.56	60.69
8	TB	4	26.67	55.36	12.83	96.59	85.31	6.48	71.85
9	TC	1	33.33	57.52	12.32	88.28	45.27	3.37	61.77
10	TC	2	33.00	46.49	14.84	70.59	7.87	3.76	67.75
11	TC	3	33.33	45.51	15.58	79.55	40.27	3.62	57.69
12	TC	4	33.33	30.98	13.87	48.62	-14.76	2.99	79.54

DBCA: EVALUACION DE COMPOSTAJE

The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
TRAT	3	TA TB TC
BLOQ	4	1 2 3 4

Number of Observations Read 12

Number of Observations Used 12

Pr>F alpha signif

0.xxxx > 0.05 NS NO HAY SIGNIFICACIÓN

0.xxxx < 0.05 * SIGNIFICACIÓN

0.xxxx < 0.01 ** ALTA SIGNIFICACIÓN

Prueba 1

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: FAS

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	318.0304167	63.6060833	49.69	<.0001
Error	6	7.6807833	1.2801306		
Corrected Total	11	325.7112000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	FAS Mean
0.976418	4.269542	1.131429	26.50000

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	315.1711500	157.5855750	123.10	<.0001**
BLOQ	3	2.8592667	0.9530889	0.74	0.5636 NS

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for FAS

NOTE: This test controls the Type I experiment wise error rate, but it generally has a higher Type

II error rate than REGWQ.

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 6
 Error Mean Square 1.280131
 Critical Value of Studentized Range 4.33902
 Minimum Significant Difference 2.4546
 Means with the same letter are not significantly different.

Tukey

Grouping	Mean	N	TRAT
A	33.2475	4	TC
B	25.4175	4	TB
C	20.8350	4	TA

Prueba 2

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: RelacionCNinicial

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	232.8490667	46.5698133	0.44	0.8072
Error	6	635.1604000	105.8600667		
Corrected Total	11	868.0094667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	RelacionCNinicial Mean
0.268256	21.33580	10.28883	48.22333

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	126.8644667	63.4322333	0.60	0.5791 NS
BLOQ	3	105.9846000	35.3282000	0.33	0.8019 NS

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for RelacionCNinicial

NOTE: This test controls the Type I experiment wise error rate, but it generally has a higher Type

II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error Mean Square	105.8601
Critical Value of Studentized Range	4.33902
Minimum Significant Difference	22.322

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey

	Mean	N	TRAT
A	52.715	4	TB
A			
A	46.830	4	TA
A			
A	45.125	4	TC

Prueba 3

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: RelacionCNfinal

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	19.87882500	3.97576500	0.61	0.7010
Error	6	39.41720000	6.56953333		
Corrected Total	11	59.29602500			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	RelacionCNfinal Mean
0.335247	17.32124	2.563110	14.79750

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	6.84740000	3.42370000	0.52	0.6185 NS
BLOQ	3	13.03142500	4.34380833	0.66	0.6054 NS

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for RelacionCNfinal

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type

II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error Mean Square	6.569533
Critical Value of Studentized Range	4.33902
Minimum Significant Difference	5.5607
Means with the same letter are not significantly different.	

Tukey

	Mean	N	TRAT
A	15.858	4	TB
A			
A	14.383	4	TA
A			
A	14.153	4	TC

Prueba 4

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: PerdidaMO

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	507.324050	101.464810	0.34	0.8690
Error	6	1768.356717	294.726119		
Corrected Total	11	2275.680767			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	PerdidaMO Mean
0.222933	21.52991	17.16759	79.73833

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	408.1316167	204.0658083	0.69	0.5363 NS
BLOQ	3	99.1924333	33.0641444	0.11	0.9498 NS

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PerdidaMO

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type

II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error Mean Square	294.7261
Critical Value of Studentized Range	4.33902
Minimum Significant Difference	37.245

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey

	Mean	N	TRAT
A	85.54	4	TB
A			
A	81.92	4	TA
A			
A	71.76	4	TC

Prueba 5

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: PerdidaNitrogeno

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	3129.516150	625.903230	0.68	0.6533
Error	6	5492.598217	915.433036		
Corrected Total	11	8622.114367			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	PerdidaNitrogeno Mean
0.362964	72.57696	30.25612	41.68833

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	2948.278517	1474.139258	1.61	0.2755 NS
BLOQ	3	181.237633	60.412544	0.07	0.9760 NS

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PerdidaNitrogeno

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type

II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error Mean Square	915.433
Critical Value of Studentized Range	4.33902
Minimum Significant Difference	65.641

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey

	Mean	N	TRAT
A	54.87	4	TB
A			
A	50.54	4	TA
A			
A	19.66	4	TC

Prueba 6

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Respiracion microbiana

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	46.57961667	9.31592333	4.27	0.0529
Error	6	13.07735000	2.17955833		
Corrected Total	11	59.65696667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Respiracion microbiana Mean
0.780791	25.33027	1.476333	5.828333

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	38.48671667	19.24335833	8.83	0.0163 *
BLOQ	3	8.09290000	2.69763333	1.24	0.3755 NS

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for Respiracion microbiana

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type

II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error Mean Square	2.179558
Critical Value of Studentized Range	4.33902
Minimum Significant Difference	3.2029

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey

Grouping	Mean	N	TRAT
A	7.743	4	TA
A			
B A	6.308	4	TB
B			
B	3.435	4	TC

Prueba 7

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Igerminacion

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	1675.726425	335.145285	3.59	0.0756
Error	6	560.132600	93.355433		
Corrected Total	11	2235.859025			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Igerminacion Mean
0.749478	17.45078	9.662062	55.36750

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	2	1084.864200	542.432100	5.81	0.0395 *
BLOQ	3	590.862225	196.954075	2.11	0.2004 NS

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for Igerminacion

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type

II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error Mean Square	93.35543
Critical Value of Studentized Range	4.33902
Minimum Significant Difference	20.962

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey

Grouping	Mean	N	TRAT
A	66.688	4	TC
A			
B A	55.993	4	TB
B			
B	43.423	4	TA

Anexo 17: Ensayos realizados durante la experimentación



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



INFORME DE ENSAYOS CIQTOBIA N° 01-12-2016-DQ

SOLICITANTE : Ing. Amb. Miguel Quevedo Beltrán
PRODUCTO DECLARADO : Compost
NÚMERO DE MUESTRAS : 48 muestras
CANTIDAD RECIBIDA : Aprox. 1kg
MARCA : s/m
FORMA DE PRESENTACIÓN : En bolsa de plástico.
MUESTREO POR : Muestra proporcionada por el solicitante.
FECHA DE RECEPCIÓN : Abril – Diciembre 2016
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO : 05 de diciembre del 2016
ENSAYOS SOLICITADOS : Varios.

Carbono Orgánico Total

C orgánico	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo	4to Muestreo
TA1	48.3	54.8	42.9	38.9
TA2	56.3	53.3	52.2	37.1
TA3	54.8	54.6	46.7	38.9
TA4	53.8	53.6	49.0	37.4
TB1	54.0	54.4	41.8	37.7
TB2	51.1	54.5	53.7	38.3
TB3	54.2	54.0	44.7	39.1
TB4	56.9	52.9	42.9	36.5
TC1	53.7	49.8	38.0	34.5
TC2	49.9	51.2	33.4	37.4
TC3	53.1	54.1	41.2	40.0
TC4	46.3	51.7	37.1	38.9

Nitrógeno Total

N Total	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo	4to Muestreo
TA1	1.49	2.05	2.01	2.10
TA2	1.12	1.17	1.26	2.71
TA3	0.93	1.07	1.96	3.03
TA4	1.17	1.45	1.07	2.99
TB1	1.07	1.35	2.43	2.61
TB2	0.93	1.17	2.71	2.01
TB3	1.07	1.40	2.10	2.29
TB4	1.03	1.68	2.61	2.85
TC1	0.93	1.21	2.52	2.80
TC2	1.07	1.63	2.47	2.52
TC3	1.17	1.49	2.24	2.57
TC4	1.49	2.10	2.61	2.80

Departamento Académico de Química : Tlf 6147800 Anexos (305-307)
Av. La Molina s/n La Molina Facultad de Ciencias (1er. Piso)
Email : dqumica@lamolina.edu.pe



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



Nitrógeno Amoniacal

N-NH4	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo	4to Muestreo
TA1	0.0516	0.0184	0.0184	0.0057
TA2	0.0113	0.0057	0.0041	0.0068
TA3	0.0064	0.0068	0.0041	0.0068
TA4	0.0083	0.0114	0.0013	0.0038
TB1	0.0225	0.0110	0.0016	0.0047
TB2	0.0103	0.0140	0.0264	0.0031
TB3	0.0035	0.0075	0.0105	0.0045
TB4	0.0042	0.0217	0.0054	0.0054
TC1	0.0157	0.0048	0.0060	0.0060
TC2	0.0272	0.0150	0.0001	0.0045
TC3	0.0076	0.0158	0.0002	0.0070
TC4	0.0067	0.0158	0.0002	0.0123

Nitrógeno como Nitratos

N-NO3	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo	4to Muestreo
TA1	<0.059	<0.059	3.1506	0.0186
TA2	4.315	102.4183	<0.059	5.0224
TA3	16.9143	4.0831	1.4366	<0.059
TA4	<0.059	178.0107	<0.059	<0.059
TB1	17.0890	39.7202	<0.059	0.1187
TB2	19.7576	47.7019	<0.059	<0.059
TB3	3.6316	1046.8988	<0.059	<0.059
TB4	6.6586	122.4484	<0.059	<0.059
TC1	15.4716	245.1146	<0.059	<0.059
TC2	4.6684	136.7715	<0.059	<0.059
TC3	23.3798	117.0592	<0.059	2.5262
TC4	10.6719	318.5159	<0.059	<0.059

MÉTODO UTILIZADO EN EL ENSAYO:

Carbono Orgánico Total BGBI.II 292-2001
Nitrógeno Total BGBI.II 292-2001
Nitrógeno Amoniacal BGBI.II 292-2001
Nitratos EPA 300.1

Atentamente:


Ph.D. Ing. Amb. Lizardo Vistación Figuerod
COORDINADOR DEL CIOTOBIA




J.F. Juan José León Cam
JEFE (E) DEL DEPARTAMENTO
ACADÉMICO DE QUÍMICA



Departamento Académico de Química : TIF. 6147800 Anexos (305-307)
Av. La Molina s/n La Molina Facultad de Ciencias (1er. Piso)
Email : dqumica@lamolina.edu.pe



INFORME DE ENSAYOS
CIQTOBIA N° 02-12-2016-DQ

SOLICITANTE : Ing. Amb. Miguel Quevedo Beltrán
PRODUCTO DECLARADO : Compost
NÚMERO DE MUESTRAS : 48 muestras
CANTIDAD RECIBIDA : Aprox. 1kg
MARCA : s/m
FORMA DE PRESENTACIÓN : En bolsa de plástico.
MUESTREO POR : Muestra proporcionada por el solicitante.
FECHA DE RECEPCIÓN : Abril - Diciembre 2016
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO : 05 de diciembre del 2016
ENSAYOS SOLICITADOS : Varios.

Cloruros

Cloruros	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo	4to Muestreo
TA1	132.8814	446.3282	1998.4393	108.6634
TA2	143.285	948.0512	2068.6497	2601.9121
TA3	345.0951	826.6113	1767.9671	369.6174
TA4	250.4014	1871.0273	10.5598	305.1969
TB1	368.8955	937.3078	1959.0783	195.0334
TB2	154.9145	1326.4663	2905.7624	5862.0197
TB3	450.0016	1999.7939	18.6997	92.4173
TB4	269.7223	1661.4153	2306.942	6445.3458
TC1	246.9377	1381.2616	3889.1786	2936.6529
TC2	96.1542	1241.5934	2452.0377	3979.4413
TC3	338.481	835.5014	2960.2033	< 0.227
TC4	189.3591	1048.2847	3203.6425	7118.8311

MÉTODO UTILIZADO EN EL ENSAYO:
Cloruros EPA 300.1

Atentamente:

Ph.D. Ing. Amb. Lizardo Vissitacion Figueroa
COORDINADOR DEL CIQTOBIA



JEFATU Q.F. Juan José León Cam
JEFE (E) DEL DEPARTAMENTO
ACADÉMICO DE QUÍMICA





INFORME DE ENSAYOS
CIQTOBIA N° 03-12-2016-DQ

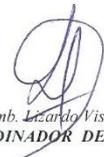
SOLICITANTE : Ing. Amb. Miguel Quevedo Beltrán
PRODUCTO DECLARADO : Residuos Agropecuarios
NÚMERO DE MUESTRAS : 4 muestras
CANTIDAD RECIBIDA : Aprox. 1kg
MARCA : s/m
FORMA DE PRESENTACIÓN : En bolsa de plástico.
MUESTREO POR : Muestra proporcionada por el solicitante.
FECHA DE RECEPCIÓN : Abril - Diciembre 2016
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO : 05 de diciembre del 2016
ENSAYOS SOLICITADOS : Varios.

Resultados

CODIGO	%Carbono Orgánico	% Nitrógeno total
papa	54.3	1.49
camote	53.8	1.31
PIÑA	54.8	1.21
zanahoria	56.8	1.12

MÉTODO UTILIZADO EN EL ENSAYO:
Carbono Orgánico Total BGBI.II 292-2001
Nitrógeno Total BGBI.II 292-2001

Atentamente:


Ph.D. Ing. Amb. Lizardo Visiación Figueroa
COORDINADOR DEL CIQTOBIA


JEFATONIA
Q.E. Juan José Esón Cam
JEFE (E) DEL DEPARTAMENTO
ACADÉMICO DE QUÍMICA



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



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : MIGUEL QUEVEDO BELTRAN
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA/ CEMTRAR
MUESTRA DE : COMPOST
REFERENCIA : H.R. 56291
FECHA : 21/10/16

Nº LAB	CLAVES	N Nitrico %
895		0.030

Metodología empleada:

- Nitrogeno Nitrico: Destilación con aleación de Devarda.



Sady García Bendezu
Jefe de Laboratorio

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

Anexo 18: Fotografías

Foto 1: Obtención de residuos vegetales de mercado



Foto 2: Picado de residuos de piña



Foto 3: Muestra de residuos en estado de descomposición utilizados



Foto 4: Determinación de nitrógeno Kejdhal



Foto 5: Determinación de la respiración microbiana



Foto 6: Pilas al inicio del proceso de compostaje



Foto 7: Pilas al final del proceso de compostaje



Foto 8: Tratamientos de la Prueba de Germinación

