



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

### ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



## EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES

TESIS

PRESENTADA POR:

**Bach. KATIA PILLCO MAMANI**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

*A Dios por acompañarme todos los días.*

*A mis padres Bartolomé Pillco y Nelly Mamani por el ejemplo, el amor y el apoyo constante a lo largo de mi formación personal y profesional*

*A mis hermanitos Rodney y Marilyn, por contagiarme de sus alegrías y travesuras.*

**Katia.**



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, alma mater de la ciencia y tecnología y por conducir la excelencia académica.

A todos mis docentes de la Escuela Profesional de Biología en especial del área de ecología, quienes durante mi formación de Bióloga supieron inculcarme valores, éticas y morales.

De forma muy especial a la Mg. Martha Elizabeth Aparicio Saavedra, por su asesoría y apoyo, durante la elaboración de este proyecto.

A mis jurados de tesis Dr. Edmundo Moreno Terrazas y el Dr. Belisario Mantilla Mendoza, quienes con su conocimiento y sugerencias enriquecieron este trabajo de investigación.

A la persona quien me ha visto luchar, vencer, caer y que comparte conmigo la alegría de poder cumplir este ansioso objetivo.

**Katia.**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 13**

**ABSTRACT..... 14**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. OBJETIVO GENERAL ..... 17**

**1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS ..... 17**

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES ..... 18**

**2.2. MARCO TEÓRICO ..... 22**

2.2.1. Compost ..... 22

2.2.2. Materias primas del compostaje..... 23

2.2.3. Compostaje..... 24

2.2.4. Tipos de sistema de compostaje..... 25

2.2.5. Apilamiento con volteos o pilas con volteo ..... 26

2.2.6. Proceso de compostaje ..... 27



2.2.7. Factores que condicionan el proceso y la generación del compost.....	29
2.2.8. Microorganismos eficaces.....	33
2.2.9. Tipos de Microorganismos.....	33
2.2.10. Tecnología de microorganismos eficaces.....	34
2.2.11. Inoculación de microorganismos en el proceso de compostaje.....	34
2.2.12. Tipos y usos de microorganismos eficaces .....	36
2.2.13. Calidad del compost .....	37
2.2.14. Índices de calidad de compost.....	38
2.2.15. Componente orgánico del tallo de la cañihua ( <i>Chenopodium pallidicaule</i> )	41
2.2.16. Componente orgánico del estiércol de ovino (abono).....	41
<b>2.3. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>42</b>

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. LUGAR DE ESTUDIO .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>44</b>
<b>3.3. TIEMPO DE DESCOMPOSICIÓN Y GRANULOMETRÍA DEL COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.....</b>	<b>45</b>
<b>3.4. TEMPERATURA Y PH DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.....</b>	<b>46</b>
<b>3.5. CALIDAD DEL COMPOST DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.....</b>	<b>50</b>



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. TIEMPO DE DESCOMPOSICIÓN Y LA GRANULOMETRÍA DEL COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2. TEMPERATURA Y PH DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.....</b>	<b>57</b>
4.2.1. Temperatura °C en proceso de compostaje.....	57
4.2.2. Potencial de Hidrogeniones (pH) en proceso de compostaje.....	61
<b>4.3. CALIDAD DEL COMPOST DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.....</b>	<b>68</b>
4.3.1. Porcentaje de materia orgánica en compost.....	68
4.3.2. Porcentaje de nitrógeno N en compost.....	71
4.3.3. Porcentaje de fosforo P en compost.....	74
4.3.4. Porcentaje de potasio K en compost.....	76
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>81</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>95</b>

ÁREA: Ciencias Biomédicas

LÍNEA: Calidad Ambiental

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 09 de enero del 2020.



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Descripción simplificada de un sistema de compostaje. ....	23
<b>Figura 2.</b> Temperatura durante el proceso de compostaje - (FUNDASES, 2014). ....	29
<b>Figura 3.</b> Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje (Moreno, 2008). .	32
<b>Figura 4.</b> A. muestra de los primeros días y B. muestra de los últimos días del proceso de compostaje en las instalaciones del laboratorio de Ecología de la FCCBB. ....	45
<b>Figura 5.</b> Tamizado de las muestras de compost a un diámetro menor de 1.5 mm, en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias. ....	46
<b>Figura 6.</b> Medicion de la temperatura y pH (A) tratamiento 2 y (B) tratamiento 1 en las instalaciones del laboratorio de Ecologia de la FCCBB. ....	48
<b>Figura 7.</b> Obtención de muestras de compost de cada tratamiento a analizar. ....	50
<b>Figura 8.</b> Comparación de promedios de días de compost según tratamiento. ....	54
<b>Figura 9.</b> Comparación de promedios con respecto a la granulometría de compost según tratamiento. ....	55
<b>Figura 10.</b> Comportamiento de la temperatura en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 100% y 200ml de microorganismos eficaces (T1). ....	57
<b>Figura 11.</b> Comportamiento de la temperatura en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 50%, estiércol de ovino al 50% y 200ml de microorganismos eficaces (T2). ....	58
<b>Figura 12.</b> Comportamiento de la temperatura en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 40%, estiércol de ovino al 30%, tallos de cañihua al 30% y 200ml de microorganismos eficaces (T3). ....	59
<b>Figura 13.</b> Promedio de temperatura según las mezclas (tratamientos) en compost desde diciembre hasta marzo del 2019. ....	59



<b>Figura 14.</b> Comparación de curvas de temperatura entre compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 100% (T1), con el compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 50% y estiércol al 50% (T2) y un compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 40%, estiércol al 30% y tallos de cañihua al 30% (T3) desde diciembre hasta marzo del 2019.....	60
<b>Figura 15.</b> Comportamiento del pH en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 100% y 200ml de EM en el tratamiento 1 (T1). .....	62
<b>Figura 16.</b> Comportamiento del pH en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 50%, residuos de origen animal (estiércol de ovino) al 50% y 200ml de EM en el tratamiento 2 (T2). .....	63
<b>Figura 17.</b> Comportamiento del pH en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 40%, residuos de origen animal (estiércol de ovino) al 30%, residuos de origen agrícola (restos de cañihua) y 200ml de EM (T3).....	64
<b>Figura 18.</b> Promedio de pH según las mezclas (tratamientos) en compost desde diciembre 2018 hasta marzo del 2019. ....	64
<b>Figura 19.</b> Curva de pH entre los tratamientos 1,2 y 3 en compost desde diciembre del 2018 hasta marzo del 2019. ....	65
<b>Figura 20.</b> Prueba de rango múltiple de Tukey para pH según tratamientos, promedio con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí ( $P<0.05$ ). ....	66
<b>Figura 21.</b> Promedio de materia orgánica según tratamientos en compost. ....	69
<b>Figura 22.</b> Prueba de rango múltiple de Tukey para materia orgánica según tratamientos, promedio con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí ( $P<0.05$ ). ....	69
<b>Figura 23.</b> Promedio de nitrógeno N % según las mezclas (tratamientos) en compost. ....	72



<b>Figura 24.</b> Prueba de rango múltiple de Tukey para temperatura según tratamientos, promedio con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ). .....	73
<b>Figura 25.</b> Promedio de Fosforo P % según las mezclas (tratamientos) en compost. ..	75
<b>Figura 26.</b> Prueba de rango múltiple de Tukey para fosforo según tratamientos, promedio con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ). .....	75
<b>Figura 27.</b> Promedio de Potasio K% según las mezclas (tratamientos) en compost. ...	77
<b>Figura 28.</b> Prueba de rango múltiple de Tukey para potasio según tratamientos, promedio con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ). .....	78
<b>Figura 29.</b> EM, COMPOST LA1PE123-209.....	88
<b>Figura 30.</b> Activación del EM, melaza y agua libre de cloro. ....	88
<b>Figura 31.</b> Tratamiento 2 .....	89
<b>Figura 32.</b> Tratamiento 3 .....	89
<b>Figura 33.</b> Obtencion de compost (A) T1 a los 53 dias (B) T2 a los 49 dias y (C) T3 a los 65 dias.....	89
<b>Figura 34.</b> Compost maduro .....	90
<b>Figura 35.</b> Obtención de muestras de compost para el análisis. ....	90
<b>Figura 36.</b> Tamizado de las muestras .....	90
<b>Figura 37.</b> Muestras a ser analizadas .....	91
<b>Figura 38.</b> Pesado de muestras para el tamizado .....	91
<b>Figura 39.</b> Medición de parámetros (F) pH y (G) conductividad eléctrica .....	91



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Comparación entre los sistemas de compostaje (Del Carmen, 2002).....	26
<b>Tabla 2.</b> Principales diferencias entre la producción de compost con inóculo y sin inóculo (compost tradicional). .....	36
<b>Tabla 3.</b> Parámetros de calidad exigidos para compost final.....	39
<b>Tabla 4.</b> Composición química de diferentes abonos orgánicos.....	42
<b>Tabla 5.</b> Tipos de tratamiento y dosis de EM que se utilizarón en el estudio.....	47
<b>Tabla 6.</b> Valores de referencia de pH.....	48
<b>Tabla 7.</b> Valores de referencia para Nitrógeno %.....	51
<b>Tabla 8.</b> Valores de referencia para Fosforo (P). .....	51
<b>Tabla 9.</b> Valores de referencia para Potasio.....	51
<b>Tabla 10.</b> Tiempo de descomposición del compost (días) y granulometría (%<1.5 mm), según tratamientos y dosis de EM desde diciembre 2018 a marzo del 2019.....	54
<b>Tabla 11.</b> Se muestran los valores de contenido de materia orgánica porcentual (%) para las repeticiones y los tres tratamientos a una dosis de 200ml de EM. ....	68
<b>Tabla 12.</b> Se muestran los valores de contenido de nitrógeno porcentual (%) para las repeticiones y los tres tratamientos a una dosis de 200ml de EM.....	71
<b>Tabla 13.</b> Se muestran los valores de contenido de fósforo P porcentual (%) para las repeticiones y los tres tratamientos a una dosis de 200ml de EM.....	74
<b>Tabla 14.</b> Se muestran los valores de contenido de potasio K porcentual (%) para las repeticiones y los tres tratamientos a una dosis de 200ml de EM.....	76
<b>Tabla 15.</b> Comparación del compost de los tratamiento 1, 2 y 3 con el resumen de los parámetros que determinan la calidad del compost. ....	79
<b>Tabla 16.</b> Promedio de temperatura y pH para el Tratamiento 1 (T1).....	92
<b>Tabla 17.</b> Promedio de temperatura y pH para el Tratamiento 2 (T2).....	92



<b>Tabla 18.</b> Promedio de temperatura y pH para el Tratamiento 3 (T3).....	93
<b>Tabla 19.</b> Variaciones de la calidad del compost.....	94



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

EM	: Microorganismos Eficaces
MO	: Materia Orgánica
RSM	: Residuos Sólidos Municipales
RSO	: Residuos Sólidos Orgánicos
JGI	: Joint Genome Institute, 2015
IFOAM	: Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica



## RESUMEN

El compostaje es una alternativa de solución para la mitigación y reaprovechamiento de residuos orgánicos. Esta investigación da a conocer sobre las mejores fuentes de abono y la obtención de compost de calidad para mejorar la nutrición en las plantas. Los **objetivos** fueron: Determinar el tiempo de descomposición y la granulometría del compostaje de residuos orgánicos; determinar la temperatura y pH del proceso de compostaje de residuos orgánicos; y evaluar la calidad del compost de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces. La **metodología** el estudio se realizó en el laboratorio de Ecología de la facultad de Ciencias Biológicas durante los meses de diciembre 2018 y marzo 2019. Se acondicionó el tiempo de descomposición mediante el método organoléptico y la granulometría por cribas que permitieron separar en partículas <1.5 mm. Para la T° se utilizó el termómetro modelo tipo espiga Hanna; y para la determinación del pH mediante el método potenciométrico. La determinación de la calidad del compost se realizó en el laboratorio de suelos de la facultad de Ciencias Agrarias. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con tres tratamientos, tratamiento 1 (T1) se empleó residuos orgánicos domésticos al 100% y 200ml de EM; tratamiento (T2) se utilizó residuos orgánicos domésticos al 50%, estiércol de ovino al 50% y 200ml de EM; y el tratamiento 3 (T3) se combinó residuos orgánicos domésticos al 40%, estiércol de ovino al 30%, tallos de cañihua al 30% y 200ml de EM, cada uno con tres repeticiones, además el modelo de análisis de varianza ANOVA y la prueba múltiple de Tukey para el contraste de medias al 0.05 de significancia, cuyos datos se procesaron en el software InfoStat. Los **resultados** muestran que el tiempo de descomposición del (T1) fue de 61 días, (T2) fue de 52 días y el (T3) se obtuvo en 75 días. Respecto a la granulometría indica de 85.7 a 90.6% de gránulos con diámetros <1.5 mm para todos los compost. La temperatura en promedio (T1) fue de 25.58°C y pH a 7.05, (T2) fue de 27.63°C y pH 7.7 y el (T3) de 25.78°C y pH 7.6, diferentes entre sí solo en pH (P<0.05). De acuerdo a la calidad del compost para la Norma Chilena 2880 (2005), Organización Mundial de la Salud, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Norma Técnica Colombiana 5167 y Bioagro 2011, los tratamientos (1), (2) y (3) se encuentran dentro de los parámetros generales excepto en Fósforo y Potasio con valores mínimos a una (P<0.05). **Conclusión** los sustratos empleados en la preparación de diferentes compost influyen en el tiempo de descomposición, granulometría, temperatura, pH y los EM contribuyeron en la calidad del compost.

**Palabras claves:** Compost, calidad, pH, microorganismos eficaces y residuos orgánicos.



## ABSTRACT

Composting is an alternative solution for the mitigation and reuse of organic waste. This research reveals the best sources of compost and obtaining quality compost to improve nutrition in plants. The objectives were: To determine the decomposition time and the granulometry of the composting of organic residues; determine the temperature and pH of the organic waste composting process; and evaluate the quality of organic waste compost, applying effective microorganisms. The study methodology was carried out in the Ecology laboratory of the Faculty of Biological Sciences during the months of December 2018 and March 2019. The decomposition time was conditioned using the organoleptic method and the sieve granulometry that allowed separating particles  $<1.5$  mm. For the  $T^{\circ}$ , the Hanna spike model thermometer was used; and for the determination of the pH by means of the potentiometric method. The quality of the compost was determined in the soil laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences. A Completely Random Design was used with three treatments, treatment 1 (T1) used 100% domestic organic waste and 200 ml of ME; Treatment (T2) 50% domestic organic waste, 50% sheep manure and 200 ml of EM were used; and treatment 3 (T3) combined 40% domestic organic waste, 30% sheep manure, 30% cañihua stems and 200 ml of ME, each with three replications, in addition to the ANOVA variance analysis model and the Tukey's multiple test for the contrast of means at 0.05 significance, whose data was processed in the InfoStat software. The results show that the decomposition time of (T1) was 61 days, (T2) was 52 days and (T3) was obtained in 75 days. Regarding granulometry, it indicates 85.7 to 90.6% of granules with diameters  $<1.5$  mm for all compost. The average temperature (T1) was  $25.58^{\circ}$  C and pH 7.05, (T2) was  $27.63^{\circ}$  C and pH 7.7, and (T3)  $25.78^{\circ}$  C and pH 7.6, different from each other only in pH ( $P < 0.05$ ). According to the quality of the compost for Chilean Standard 2880 (2005), World Health Organization, United States Environmental Protection Agency (EPA), Colombian Technical Standard 5167 and Bioagro 2011, the treatments (1), (2) and (3) are within the general parameters except for Phosphorus and Potassium with minimum values at one ( $P < 0.05$ ). Conclusion the substrates used in the preparation of different composts influence the decomposition time, particle size, temperature, pH and the MS contributed to the quality of the compost.

**Keywords:** Compost, quality, pH, effective microorganisms and organic was



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El trabajo experimental se realizó con la finalidad de evaluar el proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces. Debido a la escasa información sobre las mejores fuentes de abono orgánico y a la calidad necesaria de obtención de compost para mejorar la nutrición de las plantas.

El compostaje es el proceso de descomponer la materia orgánica, por la acción en de diversas poblaciones de microorganismos para ser transformados en materiales útiles como el compost; y en la actualidad es empleado como un sistema de gestión de residuos orgánicos. En efecto es una alternativa de solución para la mitigación de la contaminación y hasta una opción económica a través del reciclaje orgánico que a la vez está siendo repotenciado por la biotecnología y estudiado por muchos. Del mismo modo, en las actividades agrícolas y hortícolas el uso del compost produce en las plantas mejoras importantes en su aspecto, sanidad y rendimiento, además aumenta la capacidad de tendencia y disminución de la escorrentía en el suelo.

Las estadísticas informan que existen en la actualidad grandes volúmenes de residuos orgánicos que son manipulados a nivel técnico por municipalidades a nivel del Perú, pero siendo aún este proceso desconocido por un porcentaje mayor. La generación de residuos sólidos dentro de ello lo orgánico han traído efectos negativos en el mundo, impactando el sistema natural debido a la contaminación ambiental, ocasionando la pérdida de los recursos como: agua, suelo, aire y afectando la flora y fauna; del mismo modo es un peligro para la salud humana y pública. Además siendo



un problema álgido el manejo y la inadecuada disposición final de los residuos sólidos, principalmente los “biorresiduos”, siendo un serio problema ambiental hacia el gobierno local y nacional; a causa que la mayoría carecen de sistemas y esquemas eficientes para el manejo y procesamiento; llegando a contaminar por su disposición final en botaderos municipales sin segregación ni tratamiento alguno.

En tal sentido el diagnóstico situacional de gestión integral de residuos sólidos a nivel mundial con respecto al tratamiento y eliminación donde el 40% de los residuos se depositan en los vertederos, alrededor del 19% se someten a materiales de recuperación a través del compostaje y reciclaje donde el 53.16% son residuos orgánicos (Banco Mundial, 2019); en el Perú solo 118 municipios disponen los residuos recolectados en rellenos sanitarios, sin embargo en el país se genera aproximadamente 19 mil toneladas/día de los cuales el 52% van a los rellenos sanitarios, los cuales ascienden a 35 rellenos sanitarios, por otro lado el 48% de los residuos restantes son depositados en los botaderos, actualmente tenemos 1,585 botaderos (MINAM, 2019). En efecto las empresas tanto privadas y públicas que por normativa tienen que tratar y disponer sus residuos de forma adecuada.

Por otro lado la región de Puno es una fuente generadora de residuos orgánicos agrícolas y de origen animal causando como una problemática ambiental por las emisiones de gases de efecto invernadero y lixiviados que contaminan al suelo y mantos acuíferos. Lejos de ser una problemática, los residuos orgánicos y sus mezclas, pueden tener una aplicación en la elaboración de compost; esta tecnología permite la valorización de los residuos orgánicos mediante la degradación y



estabilización de su contenido en materia orgánica; además siendo una fuente importante de nutrientes que se pueden reciclar en tierras de cultivo.

Así mismo considerando que el suelo es la base fundamental de la producción agrícola, se debe dar un buen manejo para mejorar su fertilidad; se propone el uso de microorganismos eficaces (EM) en la mejora de la calidad del compost, por tal razón se comprobó mediante el uso de residuos orgánicos como: domésticos, residuos de origen agrícola “tallos de cañihua” y de origen animal “estiércol”, en diferentes porcentajes y mezclas para lograr obtener el mejor resultado, es decir un compost de calidad, y por consiguientemente recomendar cual es la mejor mezcla para obtener buenos resultados en la producción de compost. Por tal razón esta investigación tuvo los siguientes objetivos:

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces

### **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar el tiempo de descomposición y la granulometría del compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces.
- Determinar la temperatura y pH del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces.
- Evaluar la calidad del compost de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

Los microorganismos eficaces, es una mezcla de varios microorganismos benéficos, que producen temperaturas favorables y optimizan el proceso de compostaje (Cajahuanca, 2016), y es una alternativa en el proceso de compostaje ya que reduce la contaminación microambiente (control de malos olores, moscas), así mismo mejora la calidad del compost (Soriano, 2016). Por otra parte Rodríguez (1982), indica el control de los parámetros temperatura y pH juegan un papel muy importante en el proceso y la calidad final del compost.

Naranjo (2013), realizó la aplicación de microorganismos en compost a partir de desechos orgánicos donde el tiempo de descomposición final duro 80 días con un contenido de nitrógeno de (1; 13%), fósforo (219; 99ppm), potasio (0; 72%) y materia orgánica (24,63%), consideró como un compost de calidad, en relación al testigo que no recibió la dosis de microorganismos el tiempo de obtención fue de 120 días con un contenido de fósforo (4; 00 ppm) y materia orgánica (20; 40%), lo que justifica la aplicación de microorganismos en el proceso de compostaje. Así mismo Londoño y Useche (2003), en su investigación sobre biocompostaje de estiércol vacuno con tratamiento de lombricultura tradicional y aplicando microorganismos eficaces, se obtuvo bioabono que cumple con todos los requisitos de la norma ICONTEC “Productos para la industria agrícola”.



La temperatura y pH son parámetros muy importantes durante el proceso del compostaje para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malezas (Cajahuanca, 2016). Así mismo considera APROLAB (2007), un nivel óptimo entre 45 a 50 °C durante la fase mesófila. Por otro lado Rodríguez (1982), indica 35°C a 55°C; mientras para pH Bejarano y Delgadillo (2007), mencionan que el valor varía con el tiempo, de 5.0 – 9.0 dependiendo de la etapa de compostaje. También Cajahuanca (2016), demostró durante su investigación un rango de pH 3.0 – 11.0 durante todo el proceso de compostaje, generalmente los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras las bacterias tienen una menor capacidad de tolerancia pH 6-7, 7.5 así mismo el pH decrece al principio y posteriormente va incrementando.

Rojas y Zeledon (2005), evaluarón el efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en el proceso de compostaje y como respuesta obtuvieron temperaturas entre 45°C y 50°C correspondiente a la fase termófila y al proceso de compostaje de residuos orgánicos de origen vegetal (pulpa de café). Así mismo Cajahuanca (2016), evaluó la producción de compost a partir del 100% de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes, bajo un periodo de 32 días, llegando a una temperatura alta de 69.5°C (fase termófila), entre los días de 20 y 24, considerando la escala de pH llegó a un rango de 6.0 – 7.0 desde el inicio del proceso hasta el producto final.

Restrepo y Rodríguez (2002), afirman que la temperatura de las pilas puede llegar a obtenerse hasta más de 70°C. Además Thivierge y Seito (2005), mencionan la madurez del compost se alcanza cuando las temperaturas se estabilizan y se acercan a la temperatura del ambiente lo que se logra en un período de 3 a 4 meses.



En el Perú desde los años de 1940 se practica el compostaje (Quipuzco *et al.*, 2010); lo cual en la actualidad es una técnica para tratar los residuos orgánicos, permitiendo su reutilización como abono (Cajahuanca, 2016).

Soriano (2016), determina el tiempo y calidad del compost a partir de estiércol de vaca, maleza y residuos orgánicos con aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces el tiempo de descomposición fue de 43 días, mientras la calidad se encontró dentro de los parámetros de la Nch 2880 (2005) para compostaje. Además Rivera (2011), indica la aplicación de microorganismos eficaces es una alternativa óptima de tratamiento de estiércol y malezas, que contribuye al control de patógenos, amortiguación de olores, al desarrollo de una práctica mejorado y a un ambiente saludable en comparación con el método convencional que durante el proceso se genera olores desagradables.

Para determinar la calidad del compost Cajahuanca (2016), evaluó las características químicas del compost aplicando microorganismos eficientes partir de residuos orgánicos tales pruebas como materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio; los resultados mostraron dentro del rango de clase “A” de la Nch 2880 (2005) lo cual significa que es un producto de alta calidad.

Chauca (2014), evaluó el proceso de producción y aplicación de microorganismos eficaces sobre la calidad de compost de residuos orgánicos de mercados obtuvo un pH alto de 8.60 durante la fase termófila, Además Unocc (2015), evaluó con residuos de camal con los siguientes resultados la temperatura fue inferiores a 50 °C, con un promedio



de 26,99°C valores que representan a la fase de enfriamiento así mismo el pH se encontró en niveles alcalinos (8.71) aproximándose a la neutralidad al aumentar el nivel de dosificación de microorganismos eficaces, la granulometría presento un olor agradable y color más oscuro respectivamente mientras para la calidad de compost con dosificación obtuvo la clase “A” de la Nch 2880 (2005) para uso agrícola. En relación en compost sin dosificación resultan en una calidad de clase “B” y que podrán ser utilizados en parques, jardines y recuperación de áreas degradadas.

La Norma de Calidad del compost del Instituto Nacional de Normalización de Chile (Alcazar, 2004) indica que tiene tres niveles de evaluación, clase A: Producto de calidad, clase B: Producto que cumple con las exigencias mínimas, e Inmaduro: es cuando no alcanzo la maduración; más aún (Jaramillo *et al.*, 2012) nombra sobre la determinación de calidad del compost por parámetros químicos los cuales dan una determinación exacta de cada sustancia además aparte de las sustancias Uribe (2003), menciona varios parámetros que influyen en la calidad del compost estos son: temperatura, humedad, relación c/n, presencia de oxígeno y pH.

En la región de Puno hay varios productores de fertilizantes orgánicos, principalmente encargados los municipios de realizar su gestión de residuos sólidos orgánicos, quienes se preocupan por dar a conocer la calidad del compost, en la actualidad no hay estudios ni evaluaciones que certifiquen que el producto final está libre de patógenos o de contaminantes para la salud ambiental y humana.



Suaña (2013), elaboró compost a partir de residuos orgánicos domésticos y lenteja de agua (*Lemna sp.*) aplicando microorganismos eficaces, el tiempo de descomposición para residuos orgánicos fue de 75 días y para lenteja de agua 50 días, la granulometría presentó de 75 a 90% de gránulos con diámetros <1.5 mm en ambos compost, la temperatura para ambos durante la fase de enfriamiento y maduración fue de 26.56 a 27.48 °C, respecto al pH presento valores similares de 6.4 a 6.5 neutros, con la aplicación de microorganismos eficientes a 200ml, acerca de la calidad para nitrógeno 0,33%, fósforo 43.72% y potasio 0.685%, no se encontró diferencia estadística ( $P>0.05$ ), Por otro lado para compost de sub productos de camal compost 1 y 2 los resultados no mostraron diferencias estadísticas en pH, conductividad, humedad, materia orgánica, nitrógeno total, potasio total, sodio, fosforo total, relación C/N, coliformes fecales y *Salmonella sp.* y respecto a la calidad cumplieron con parámetros de la normativa de países como Chile y España a excepción del parámetro de humedad (Apaza, 2013).

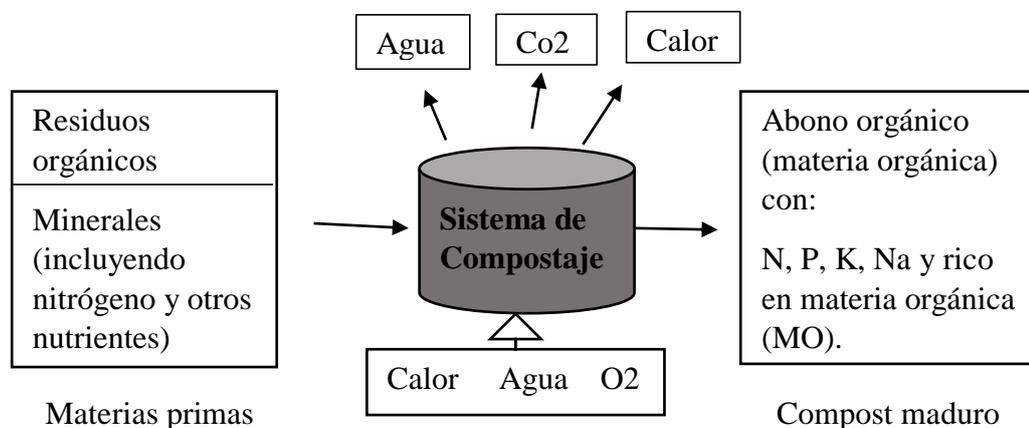
## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Compost

El compost es el producto que resulta del proceso de compostaje. Está constituida principalmente por materia orgánica estabilizada, donde no se reconoce su origen, puesto que se degrada generando partículas más finas y oscuras (Nch 2880 2003); en el que participan una gran diversidad de microorganismos que requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en su composición y homogéneos en su tamaño (Labrador, 2002) y como resultado de este proceso de degradación biológica autotérmica y termófila, se obtiene un producto (compost) con características físicas, químicas y biológicas que resultan beneficiosas para el suelo y las plantas, no presenta malos olores y está libre de agentes patógenos (Córdova, 2006). Además (Fernandez y Estrada 2004) mencionan que el compost es considerado como un fomento para la cadena trófica del

suelo; (Porrás, 2011) y mejora las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, es decir es utilizado como regenerador de suelos.

El compost funciona como un sistema al que se le incorporan las materias primas, los microorganismos procesan estas materias primas según su actividad, adquiriéndose al final del proceso una serie de compuestos que pueden ser utilizados por organismos más complejos como las plantas (Figura 1).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 1.** Descripción simplificada de un sistema de compostaje.

### 2.2.2. Materias primas del compostaje

Palencia y Gildardo (2002), mencionan que los materiales orgánicos se constituyen principalmente de compuestos de carbono e hidrógeno, que son utilizados por los microorganismos como fuente de alimento.

Según Palencia y Gildardo (2002), materiales a compostar

- **Residuos de cosechas:** los desechos vegetales jóvenes como hojas, frutos, tubérculos, etc. son ricos en nitrógeno y pobres en carbono. Los desperdicios



vegetales más adultos como troncos, ramas, tallos, etc., son menos ricos en nitrógeno.

- **Residuos domiciliarios:** Procedentes de las cocinas como restos de fruta y hortalizas, restos de animales de mataderos, etc.
- **Estiércol de animal:** Se destaca el estiércol de vaca, aunque otros de gran interés son la gallinaza, conejos, estiércol de caballo, de oveja y los purines.
- **Complementos minerales:** Son necesarios para corregir las carencias de ciertas tierras. Destacan las rocas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, abundantes en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas en polvo.
- **Plantas marinas:** Anualmente se recogen en las playas grandes cantidades de fanerógamas marinas como Posidonia oceánica, que pueden ser usados como materia prima para la elaboración de compost.
- **Algas:** Se emplean especies de algas marinas, ricas en agentes antibacterianos y antifúngicos y fertilizantes para la elaboración de compost (Cajahuanca, 2016).

### 2.2.3. Compostaje

Labrador (2002), señala que el compostaje es un proceso biooxidativo de fermentación aerobia y controlado; Sosa *et al.*, (2017), en el que sustratos orgánicos son oxidados a formas biológicamente estables como el humus; los microorganismos transforman los compuestos orgánicos mediante reacciones metabólicas, generando dióxido de carbono y agua. Así mismo Alcolea y Gonzales, (2000) y Puerta, (2004) ambos en su estudio indican que el compostaje consiste en la transformación de la materia orgánica por microorganismos en presencia de aire y bajo condiciones controladas.



El proceso de compostaje es la descomposición y estabilización de diversos residuos orgánicos, por la acción de diversas poblaciones de microorganismos benéficos que se desarrollan bajo condiciones controladas de aire, temperatura y humedad (Zavala *et al.*, 2017).

#### **2.2.4. Tipos de sistema de compostaje**

Según Del carmen, (2002) existen distintos sistemas para llevar a cabo la etapa de maduración, estos se clasifican en dos grupos, los abiertos y cerrados, diferenciándose en dos grupos debido a que el segundo desarrolla el compostaje en reactores y/o contenedores y, los principales sistemas de compostaje son:

- **Sistemas abiertos**

Apilamiento estático aireado

Apilamiento con volteo

- **Sistemas cerrados**

Reactor de flujo en pistón vertical

Reactor de flujo en pistón horizontal

Reactor de lecho agitado

La comparación de los sistemas de compostaje abiertos y cerrados se puede ver en la (Tabla 1), la elección final del proceso y materias primas que se utilizarán para compostar debe realizarse en base a su factibilidad tecnológica, costos económicos y su impacto social y ambiental (De la Maza, 2001).

**Tabla 1.** Comparación entre los sistemas de compostaje (Del Carmen, 2002).

<b>Factor</b>	<b>Sistemas Abiertos</b>	<b>Sistemas Cerrados</b>
Superficie a ocupar	Grande	Reducida
Clima	Temperaturas no extremas	Variable y frio
Sustrato	Todos, pero con material de soporte	Principalmente aquellos con elevada humedad
Tecnología	Relativamente sencilla. Dos opciones de sistemas de aireación: forzada y volteos	Relativamente sofisticada. Múltiples opciones de sistemas de aireación.
Inversión	De baja a moderada	De elevada a muy elevada
Costos de explotación	Variable	Elevado
Consumo energético	Bajo a medio	Medio a elevado
Olores	Problemas si no hay suficiente aireación	Se pueden controlar
Duración	Compostaje: 21 a 28 días Maduración: mínima 30 días	Compostaje: 3 a 15 días Maduración: mínimo a 30 días.
Calidad final del proyecto	Buena si el proceso es adecuado	Mejor calidad

Los sistemas abiertos tienen un costo menor además de un manejo de instalación más sencilla, mientras que los sistemas cerrados conllevan una infraestructura más complicada y costosa, al tener que realizar una instalación cerrada y emplear una maquinaria quizá más compleja dependiendo del clima del lugar en que se realice el proceso, del tipo de material que se esté tratando, además de la disponibilidad de terreno o de la necesidad de abreviar el proceso, se manejan unos u otros sistemas (Cochachi, 2008).

### **2.2.5. Apilamiento con volteos o pilas con volteo**

Según Cochachi (2008), es uno de los sistemas más sencillos y económico, esta técnica de compostaje se caracteriza por el hecho de que la pila se remueve



periódicamente para homogenizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación.

Los volteos se deben realizar periódicamente de manera de sumergir el material de la corteza de la pila (parte exterior) al núcleo de la misma (parte interior), esta debe realizarse tras sobrepasar los 65°C o cuando la temperatura desciende de los 50°C, temperatura producida por la degradación de la materia orgánica, de esta manera se intenta compostar todo el material apilado, este proceso puede durar entre 2,5 a 3 meses y después de cada volteo, la temperatura desciende del orden de 5 a 10 °C, subiendo de nuevo en caso que el proceso no haya terminado (De la Maza, 2001).

#### **2.2.6. Proceso de compostaje**

El proceso de compostaje, según la evolución de la temperatura.

##### **a) Fase de latencia o mesolítica**

Considerado la primera fase de latencia o crecimiento, llamada también mesolítica o mesófito, en que los microbios se hallan adaptándose al medio putrefacto y comienza a multiplicarse, dura de 2 a 4 días y se desenvuelven bien a temperaturas de 20 a 50°C. Los microorganismos oomicetos, zigomicetos, ascomicetos, basidiomicetos y hongos imperfectos se multiplican rápidamente por la actividad metabólica, que eleva la temperatura, produciendo ácidos orgánicos los que hacen bajar el pH de 6.5 a 5 es donde en esta fase se produce la acidificación.



### **b) Fase termófila**

Ramírez y Restrepo (2007), donde se refiere a la segunda fase termófila, aquí las poblaciones mesófilas son sustituidas por las termófilas en ambiente entre 50 - 70°C, aquí los patógenos, larvas, e inclusive semillas de malezas crecen de estrés térmico. El proceso tarda de una a ocho semanas según el ritmo de fermentación acelerado o lento, dependiendo de los especímenes que entran del medio, se hace una verdadera pasteurización y excesiva mineralización. Además transforma el nitrógeno en amoníaco y el pH alcalino. A 60°C los hongos termófilos desaparecen y surgen bacterias esporíferas y actinomicetos que descomponen las ceras, proteínas y hemicelulosas, la temperatura desciende a 40°C, habita en que reinician su actividad y desciende el pH.

### **c) Fase de mesófila o de enfriamiento**

Lo característico de esta fase es el descenso paulatino de la temperatura < a 40°C y los microorganismos mesófilos se reactivan. Las bacterias y los hongos transforman otra parte de la celulosa como la lignina y lignoproteína y se da la presencia de microorganismos e invertebrados según la Fundación de Asesorías para el Sector Rural Ciudad de Dios (FUNDASES); y el pH desciende ligeramente entre 7.0 a 7.5 (APROLAB, 2007).

### **d) Fase de maduración**

En esta última etapa se degradan los compuestos más resistentes, la temperatura comienza a bajar hasta equilibrarse con el ambiente y se caracteriza por mantener una fermentación lenta (Naranjo, 2013); normalmente la temperatura es de 15 a 20°C y el pH se mantiene neutro (Frioni 1999); según Roben (2002), indica que es un parámetro importante es la madurez del compost.



**Figura 2.** Temperatura durante el proceso de compostaje - (FUNDASES, 2014).

### 2.2.7. Factores que condicionan el proceso y la generación del compost

Estas características se deben tomar en cuenta para la realización del proceso de compostaje, considerando los valores óptimos de los materiales a compostar.

#### a. Estructura y tamaño de los residuos

Según Sztern y Pravia (2009), para que el proceso de compostaje dure lo menos posible, es recomendable trabajar con materiales que puedan tener una mayor área de contacto con los microorganismos y que pierdan rápidamente su integridad física por efecto de los microorganismos.

#### b. Humedad

El proceso de compostaje debe presentar una humedad de 40 a 60%, por otro lado una humedad muy baja afectaría el crecimiento de los microorganismos presentes impidiendo que se mantengan en la fase exponencial en caso de que se tengan materias primas muy húmedas se pueden realizar mezclados para reducir esta característica (Sztern y Pravia, 2009).



### **c. pH**

Es uno de los parámetros importante para el desarrollo de los microorganismos degradadores, siendo los más adecuados los comprendidos entre 6 y 8, sin embargo según los estudios por (Sztern y Pravia, 2009), los valores extremos de pH pueden inhibir el crecimiento, en caso de que los valores de pH de los compuestos utilizados se encuentren bajo el óptimo, pueden mezclarse con otros materiales con pH más elevados, según Orosco y Soria (2008), respecto a los microorganismos como los hongos toleran un amplio rango de pH de 5 a 8, mientras que las bacterias se caracterizan por un margen más estrecho de 6 a 7,5.

El valor de pH, al igual que el de la temperatura varía con el tiempo de 5 a 9 dependiendo de la etapa de compostaje (Bejarano & Delgadillo, 2007).

### **d. Aireación**

Es sumamente importante que durante el proceso de compostaje exista una buena aireación y ventilación de los materiales, esto es debido a que se intenta favorecer la actividad de los microorganismos aeróbicos. Cabe destacar, que aun así es imposible que no ocurran reacciones anaeróbicas. Un correcto manejo de las pilas de compostaje intentará minimizar estas reacciones (Sztern y Pravia, 2009). Además APROLAB (2007), indica que el objetivo de la aireación durante el proceso de compostaje es suministrar oxígeno para la degradación microbiana, controlar la temperatura y eliminar la humedad de la materia orgánica.

### **e. Volumen**

El volumen afecta a factores tan importantes como la temperatura y la aireación. En pilas muy pequeñas, la fluctuación de la temperatura es muy brusca, debido a una aireación excesiva. Si se tiene una pila muy grande, la distribución de la temperatura no



es uniforme, existiendo un gradiente de temperatura entre el interior y exterior, debido a un déficit de aireación. Para obtener una buena relación superficie/volumen, la pila debe tener una base no menor de 2,0 m y una altura que sea la mitad de la base (Sztern y Pravia, 1999).

#### **f. Temperatura**

El control de la temperatura juega un papel muy importante en el proceso y la calidad final del compost, se necesita calor para que la materia orgánica se descomponga, y garantizar la eliminación de patógenos y la inhabilitación de semillas, que puedan venir de los materiales empleados, dado que es importante mantener la temperatura en un nivel de 45 a 50 °C (APROLAB, 2007). Así mismo Rodríguez (1982), menciona cuanto más caliente está el compost más rápidamente se descompone el material; al aumentar la temperatura aumenta la actividad microbiana acelerando el proceso de descomposición.

#### **g. Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)**

Esta relación identifica la cantidad de carbono por cantidad de nitrógeno que posee la materia a utilizar, los valores óptimos que deben poseer las materias primas están entre los 20 y 30 (Sztern y Pravia, 2009).

#### **h. Microorganismos**

La descomposición la materia orgánica que se encuentra en los materiales que son compostados es producido por los microorganismos presentes en la pila, los cuales van variando durante las distintas etapas del proceso. Esta materia es transformada a través de reacciones de óxido-reducción catalizada por las enzimas de los microorganismos. La descomposición de estos compuestos se conoce como mineralización y consiste a grandes rasgos, en la transformación de estas macromoléculas en compuestos inorgánicos como CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O (Sztern y Pravia, 2009). Además el carbono sirve como fuente de

energía para los microorganismos, es decir, como carbono celular se requiere más carbono que nitrógeno en el proceso (Bejarano y Delgadillo, 2007).

La degradación de la lignina es otro paso importante en el proceso de compostaje, ya que la celulosa y hemicelulosa se encuentran dentro de la lignina, siendo esta última el polímero que actúa como red de ensamblaje su descomposición no se encuentra completamente estudiada, pero se sabe que el fungi *Phanerochaete chrysosporium*, produce agentes oxidantes que rompen la lignina en diferentes subunidades, liberando fenoles, ácidos y alcoholes aromáticos, los cuales posteriormente se mineralizan (Tuomela *et al.*, 2000).

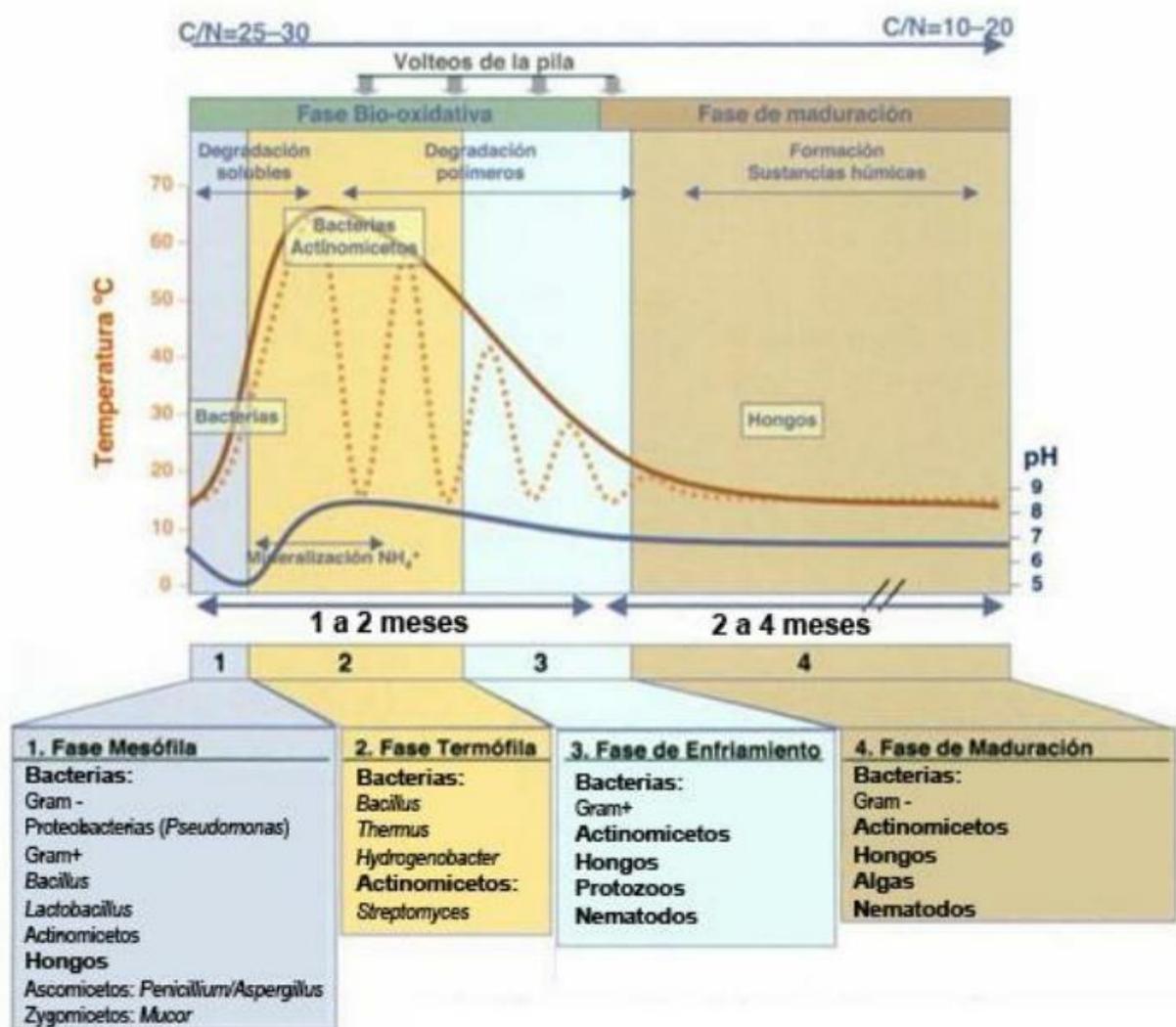


Figura 3. Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje (Moreno, 2008).



Finalmente, para tener conocimiento de si el proceso se está comportando correctamente, se deben monitorear los siguientes parámetros:

- Temperatura
- pH
- Ventilación y homogenización de la masa en Compostaje.

### **2.2.8. Microorganismos eficaces**

Higa (2002), indica que EM, es una abreviación de Effective Microorganisms (Microorganismos Eficaces) y describe indicando “Es una solución que contiene varios microorganismos benéficos tanto aeróbicos y anaeróbicos, los cuales cumplen diferentes funciones y compuesto por una entidad viva, benéficos de origen natural que al ponerse en contacto con la materia orgánica secretan sustancias útiles.

Cuando se aplican inoculadores microbianos a la materia orgánica o se introducen en el medio ambiente, su efecto benéfico individual se multiplica en forma sinérgica. El cultivo consiste sobre todo de bacterias lácticas, bacterias fotosintéticas y levaduras que contiene más de 80 diferentes microorganismos en total (Correa, 2008).

### **2.2.9. Tipos de Microorganismos**

#### **– Bacterias Fototrópicas:**

*Rhodopseudomonas sp.* presente en suelo y agua, posee un metabolismo muy versátil al degradar y reciclar gran variedad de compuestos aromáticos, como bencénicos de varios tipos encontrados en el petróleo, lignina y sus compuestos constituyentes y por lo tanto está implicado en el manejo de reciclaje de compuestos carbonados. No solo puede convertir  $\text{CO}_2$  en material celular, sino también en  $\text{N}_2$  en amonio y producir  $\text{H}_2$  gaseoso (JGI, 2015).



– **Bacterias ácido Lácticas:**

*Lactobacillus sp.* estas bacterias son capaces de transformar algunos componentes de la materia orgánica (lignina y celulosa), gracias al aumento de su fragmentación sin causar efectos negativos al proceso (FUNDASES, 2014). El ácido láctico actúa como un esterilizador, eliminando microorganismos patógenos e incrementando la velocidad de descomposición de la materia orgánica (Soriano, 2016).

– **Levaduras:**

*Saccharomyces sp.* se encargan de sintetizar a partir de aminoácidos y azúcares, materia orgánica y raíces, sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas por (Soriano, 2016). Sus secreciones constituyen sustratos benéficos para los microorganismos eficientes (FUNDASES, 2014).

### **2.2.10. Tecnología de microorganismos eficaces**

La tecnología fue introducida al mundo en una Conferencia Internacional llevada a cabo en Tailandia en 1989, donde un programa de investigación para probar su eficacia fue emprendido por 13 países de la región Asia del Pacífico. Después de eso, este programa abarcó muchos foros internacionales, incluyendo a Perú (IFOAM).

### **2.2.11. Inoculación de microorganismos en el proceso de compostaje**

Según Bejarano y Delgadillo (2007), la inoculación de la pila de compostaje o compostera con microorganismos, tiene el objeto de disminuir el tiempo de elaboración del abono orgánico, obtener un material microbiológica y nutricionalmente mejorado.



Además promueven la transformación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando que se liberen gases generadores de olores molestos (sulfurosos, amoniacales y mercaptanos) por (Soriano, 2016).

Según Soriano (2016), entre las ventajas de la adición de microorganismos al compostaje están:

- Aceleración del incremento de las temperaturas, manteniéndose en la etapa termófila del proceso, independiente de la aireación y las condiciones ambientales.
- Promueve la transformación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando la descomposición de la materia orgánica por oxidación en la que se liberan gases generadores de olores molestos (sulfurosos, amoniacales y mercaptanos). Adicionalmente, evita la proliferación de insectos vectores, como moscas, ya que estas no encuentran un medio adecuado para su desarrollo.
- Incrementa la eficiencia de la materia orgánica como fertilizante, ya que durante el proceso de fermentación se liberan y sintetizan sustancias y compuestos como: aminoácidos, enzimas, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles, que al ser incorporados al suelo a través del abono orgánico, mejoran sus características físicas químicas y microbiológicas.
- Acelera el proceso de compostaje a una tercera parte del tiempo de un proceso convencional (5-8 semanas).

Los microorganismos como hongos, bacterias y ascomicetos que bajo condiciones controladas pueden abastecer importantes cantidades de materia orgánica a bajos costos para mejorar la productividad del suelo (Cocachi, 2008).

**Tabla 2.** Principales diferencias entre la producción de compost con inoculo y sin inóculo (compost tradicional).

<b>Compost con inoculo</b>	<b>Compost tradicional</b>
Toma menor tiempo de descomposición. Entre 1 a 2 meses.	Toma mayor tiempo de descomposición. Normalmente entre 3 a 6 meses
No hay presencia de malos olores ni moscas	Puede haber presencia de malos olores y moscas
Producto final con mayor contenido de nutrientes	Menor contenido nutricional en comparación al EM-compost.
Presencia de mayor contenido de Microorganismos benéficos	Menor contenido de microorganismos benéficos

Fuente: APROLAB, 2007.

### 2.2.12. Tipos y usos de microorganismos eficaces

Según (Portal Oficial de la tecnología EM en América Latina, 2015), describe:

#### a) Aplicación en abono orgánico

Para obtener abono orgánico en un corto espacio de tiempo, se puede usar el producto tipo EM - Compost, promoviendo la transformación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando la descomposición de la materia orgánica por oxidación en la que liberan gases generados de olores molestos como sulfuros y amoniacaes.

#### b) Aplicación de los microorganismos eficaces en la agricultura

La aplicación de microorganismos eficaces en la agricultura posee grandes beneficios, ya que reestablece el equilibrio microbiológico del suelo, mejora sus condiciones físico-químicas, incrementa la productividad de los cultivos y los hace más resistentes, de tal manera que se genera una agricultura más sostenible.



### **c) Aplicación de los microorganismos eficaces en manejo de desechos animales**

Su aplicación presenta gran cantidad de ventajas, principalmente por la reducción de malos olores provenientes del estiércol y orina, además que ayuda al aprovechamiento de los desechos animales, obteniendo rápidamente abono que sirve como acondicionador de suelos.

### **d) Aplicación de microorganismos eficaces en el medio ambiente**

Su aplicación es ventajosa, gracias a que el promover la fermentación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando la descomposición de la materia orgánica por oxidación, evita la liberación de gases de olores molestos y la proliferación de insectos vectores.

#### **2.2.13. Calidad del compost**

La calidad del compost no es un concepto absoluto, si no que depende de los usos a que se destine, se define como “la capacidad o aptitud del compost para satisfacer las necesidades de las plantas, con un mínimo impacto ambiental y sin riesgo para la salud pública” (Ansorena *et al.*, 2014).

La calidad del compost se determina en base a sus características físicas y químicas como contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, humedad, pH, relación C/N, contenido de sales, presencia de metales pesados, entre otros.

Si estos parámetros son bien manejados se tendrá un compost de buena calidad, con las siguientes características: libre de contaminación, higienizado, alto potencial fitosanitario, potencial de fertilización, potencial de capacidad de retención de agua, potencial de protección de erosión, libre de malos olores y estabilidad microbiológica (Avendaño, 2003).



#### 2.2.14. Índices de calidad de compost

- **Índice químico y físico-químico**

Los resultados de análisis químicos de un compost, pueden variar mucho en función del material empleado para hacer el compost. Por otra parte, al tratarse de un producto natural no tiene una composición química constante.

Soriano (2016), los análisis químicos y físico-químicos más comunes incluyen el pH, conductividad eléctrica, relación C/N, además la materia orgánica y velocidad de mineralización de los nutrientes vegetales que contenga y presencia de contaminantes inorgánicos u orgánicos. En los análisis físicos la granulometría, capacidad de retención de agua, humedad, presencia de partículas extrañas y olor (Ansorena et al., 2014).

**Tabla 3.** Parámetros de calidad exigidos para compost final.

Parámetros	Nch 2880		OMS	U.S.A EPA 40 CFR 503 (1994)	Norma técnica Colombia na 5167	Bioagro (2011)
	Calidad A	Calidad B				
Relación C/N	≤ a 25	≤ a 30	-----	15 a 20:1	-----	5 - 10
Parámetros generales y de materia orgánica	pH C.E M.O N	5.0 – 8.5 < a 3dS/m ≥ a 20 % ≥ a 0.5%	5.0 – 8.5 ≤ a 8 dS/m ≥ a 20 % ≥ a 0.5%	6.8 – 8.0 ----- >a 20 % 2.4 a 5.0%	4.0 – 9.0 ----- ----- -----	6.8 – 7.2 ----- 15 – 23 % 1.5 a 2 %
Micro elementos	P <sub>205</sub> K <sub>205</sub>	----- -----	----- -----	----- -----	----- -----	1.5 – 2 % 1 – 1.5 %
Tamaño de partículas	≤ a 16 mm	≤ a 16 mm	-----	Granulado fino	-----	-----
Color	-----	-----	-----	-----	-----	Marrón oscuro – negro ceniza
Olor	-----	-----	-----	-----	-----	Sin olor desagradable

Fuente: Chauca (2014), “Proceso de producción y aplicación del producto Microorganismos Eficaces sobre la calidad de compost de residuos orgánicos de mercados de Sapallanga-Huancayo”.

Fuente: Córdova, (2007) y Bioagro (2007).



- NCh 2880: Norma Chilena.
- OMS: Organización Mundial de la Salud
- Norma técnica Colombiana 5167
- U.S.A. – EPA 40 CFR 503 (1994): Agencia de protección Ambiental de los EEUU.
- Bioagro (2011)

En la NCh 2880 (2005), se describen los niveles mínimos y máximos que debe cumplir el compost comercial, en lo que se refiere a pH, relación C/N y conductividad eléctrica, entre otros, considerando todos los factores y como afectarían al suelo donde serían utilizados. Dependiendo de estos valores el compost se puede clasificar como Clase A y Clase B, en donde la primera clasificación no presenta restricciones de uso y la segunda sí (Norma Chilena Oficial NCh 2880/2005, Compost-Clasificación y requisitos, 2005).

De acuerdo su nivel de calidad, el compost es clasificado según la NCh 2880 (2005) en las Clases siguientes:

- Compost Clase A: producto de alto nivel de calidad que cumple con las exigencias establecidas en la norma NCh 2880 (2005) para el compost Clase A. Su conductividad eléctrica debe ser menor a 3 decisiemens por metro (3dS/m) y su relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 25%. Este producto no presenta restricciones de uso.
- Compost Clase B: producto de nivel intermedio de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase B. Su conductividad eléctrica debe ser menor a 8 decisiemens por metro (8dS/m) y su relación



carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 30%. Este producto puede presentar algunas restricciones de uso si su conductividad eléctrica es mayor de tres decisiemens por metro (3dS/m).

#### **2.2.15. Componente orgánico del tallo de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule*)**

- a) Galante y García (1997), los constituyentes orgánicos de las plantas se dividen generalmente en ocho amplios grupos.
- b) Celulosa, el más abundante, cuya cantidad varía del 15 a 60% de peso se
- c) Hemicelulosas, que forman frecuentemente del 10 al 30% del peso.
- d) Lignina, que constituye del 5 a 30% de la planta.
- e) La fracción soluble en agua, que incluye azúcares simples, aminoácidos y ácidos.
- f) Constituyentes solubles en alcohol y éter, fracción que contiene grasas, aceites, ceras, resinas y un número determinado de pigmentos.
- g) Proteínas que tienen en su estructura la mayor parte del nitrógeno o azufre vegetal.
- h) Los constituyentes minerales, generalmente determinados por el análisis de las cenizas varían del 1 al 13% del total del tejido.

#### **2.2.16. Componente orgánico del estiércol de ovino (abono)**

Gallardo (2013), actualmente existe una tendencia en agricultura a aumentar la variedad de abono con el objetivo de aumentar la productividad y la calidad. Esta tendencia conduce, en muchos casos, a un uso poco eficiente de los recursos naturales, entre ellos del agua y de los nutrientes, y al aumento del valor energético de las actividades productivas. Entre los abonos tenemos: Estiércoles (guano, gallinaza, palomina) compost, turba, extractos húmicos, abonos verdes, humus de lombriz

bioabonos (Salazar, 2003), los cuales varían su composición química de acuerdo con el proceso de preparación e insumos que se empleen”.

**Tabla 4.** Composición química de diferentes abonos orgánicos.

Abono Orgánico	N – total %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	M.O %	C.E	pH 1:1
Estiércol	1.64	0.96	4.95	49.06	19.65	7.6
Compost	1.39	0.67	0.69	45.10	8.6	6.4
Humus Lombriz	1.54	0.21	0.46	49.44	3.8	4.6

Fuente: (Coronado, 1998) Manual de prevención y minimización de contaminación ambiental industrial.

### 2.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Residuos sólidos:** Son residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, (Ley General de Residuos Sólidos 27314, 2004).
- **Residuos orgánicos (domésticos):** Es todo desecho de origen biológico, que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, por ejemplo: hojas, ramas, cáscaras y residuos de la fabricación de alimentos en el hogar, etc, (Colomar, 2007). Así mismo Tchobanogolus (1994), menciona que tiene un tiempo de descomposición bastante menor que los inertes.
- **Residuos agrícolas:** Como consecuencia de la actividad agrícola, se genera una gran cantidad de residuos como raíces, hojas o frutos se descomponen y se integran en el suelo mejorando las propiedades agronómicas del suelo cultivado mientras otros integrados por tallos y, en general, por la parte aérea de la planta, se aprovechan en ganadería e industria. Por último, se producen unos residuos que no se aprovechan en la zona en que son generados, y que es preciso eliminar para facilitar las labores agrícolas (Cuadros, 2008).



- **Residuos de origen animal:** Son todas las sustancias orgánicas que proceden de la crianza de animales en la ganadería y la industria alimentaria (Cuadros, 2008).
- **Microorganismos eficaces:** Es una solución que contiene varios microorganismos benéficos tanto aeróbicos como anaeróbicos, los cuales tiene diferentes funciones en la descomposición de la materia orgánica, el cultivo consiste sobre todo de bacterias lácticas, bacterias fotosintéticas y levaduras que contiene más de 80 diferentes microorganismos en total (Correa, 2008).
- **Estiércol:** son los excrementos de los animales, cuyos resultados vienen a ser como desechos del proceso de digestión de los alimentos que estos consumen. Los campesinos crían diferentes clases de animales, particularmente en Puno crían: ovinos, asnos, alpacas, llamas, chanchos, vacunos, etc. Que proveen de recurso estiércol, útil para mejorar la fertilidad del suelo y la productividad (Mamani, 2011).



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en la Universidad Nacional del Altiplano, ubicada en la ciudad de Puno, a una altitud de 3815 msnm y con una temperatura ambiente media de 15°C dentro del ámbito de las siguientes coordenadas: 15° 12' Latitud Sur, y 70° 00' Longitud Oeste. El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias Biológicas y la determinación de la calidad del compost se realizó en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNA Puno.

##### 3.1.1. Obtención de materiales

- 1) Residuos orgánicos doméstico de los habitantes de la ciudad de Puno, que constituye desde restos de cocina, cáscara de frutas, semillas, tubérculos, etc.
- 2) Residuos agrícolas tallos de cañihua de la variedad de “INIA 406-ILLPA” procedentes del INIA – Salcedo Puno.
- 3) Residuos de origen animal “estiércol de ovino” procedentes del INIA – Salcedo Puno.
- 4) Microorganismos eficaces (EM): Adquiridos del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

#### 3.2. METODOLOGÍA

Con el objeto de estudiar la factibilidad de producir compost se hicieron tres tratamientos, a partir de diferentes mezclas y proporciones.

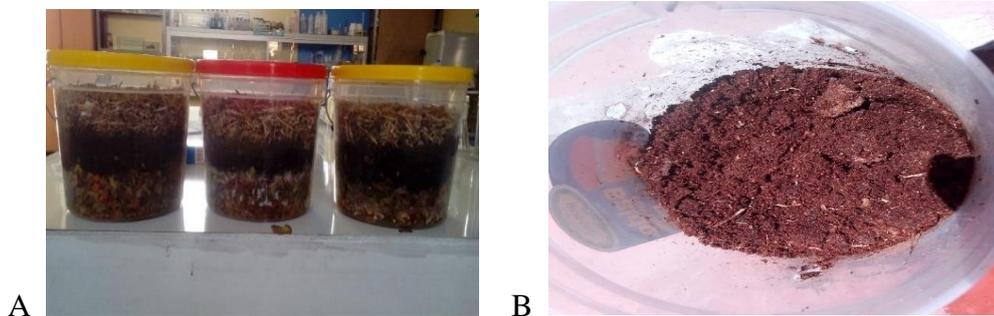
- **Tratamiento 1 (T1):** Residuos orgánicos domésticos al 100% y una dosis de 200ml de microorganismos eficaces.

- **Tratamiento 2 (T2):** Residuos orgánicos domésticos al 50%; estiércol de ovino al 50% y una dosis de 200ml de microorganismos eficaces.
- **Tratamiento 3 (T3):** Residuos orgánicos domésticos al 40%; estiércol de ovino al 30%; tallos de cañihua al 30% y una dosis de 200ml de microorganismos eficaces.

### 3.3. TIEMPO DE DESCOMPOSICIÓN Y GRANULOMETRÍA DEL COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.

#### a. Frecuencia y horario de muestreo

El muestreo y la frecuencia del tiempo de descomposición y granulometría se evaluó en número de días que el compost alcanzo la madurez, es decir desde el primer día de la instalación de los tres tratamientos hasta la obtención del producto.



**Figura 4.** A. muestra de los primeros días y B. muestra de los últimos días del proceso de compostaje en las instalaciones del laboratorio de Ecología de la FCCBB.

#### b. Descripción detallada del uso de materiales, equipos e insumos.

El análisis para la determinación del tiempo de descomposición fue organoléptico: el olor, color y textura del compost para evaluar su madurez.

Para la determinación de la granulometría (%), se tomó una muestra de 200g de cada tratamiento el que fue zarandeado en un tamiz de diámetro <math><1.5\text{ mm}</math>. La granulometría

se determinó por el porcentaje de compost que no pasó el tamiz, partículas  $>$  a 1.5 mm para esto se utilizó una balanza graduada en kilogramos. Según el tipo de determinación se realizó sobre muestra húmeda haciendo pasar una cantidad determinada de muestra por un tamiz sometidos a vibración.



**Figura 5.** Tamizado de las muestras de compost a un diámetro menor de 1.5 mm, en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias.

**c. Variables a analizar**

Número de días a la obtención del compost (descomposición) y granulometría %.

**d. Aplicación prueba estadística inferencial**

Los gráficos respectivos se realizarán mediante la hoja de cálculo EXCEL de Microsoft 2013. Para determinar el tiempo y granulometría del compost.

**3.4. TEMPERATURA Y PH DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.**

**a) Frecuencia y horario de muestreo**

La frecuencia de muestreo para medir la  $T^{\circ}$  y pH se realizó cada 3 días a las 12 horas por 5 minutos a partir de la instalación hasta la obtención del compost (producto), que fue del 30 de diciembre del 2018 al 07 de marzo del 2019.

## b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos e insumos.

Los tratamientos se colocaron en depósitos de plástico de las mismas dimensiones 30 cm de largo por 25 cm de ancho, se adiciono un tubo con agujeros a lo largo y colocados al azar en el centro, de forma que llegue hasta el fondo del depósito de 30cm aproximadamente de profundidad.

Para el tratamiento 1 (T1), en el depósito se colocó en forma de pila los residuos orgánicos domésticos al 100% hasta una altura de 15cm y luego en forma de lluvia se añadió 200ml de EM diluidos, también se agregó encima una capa de aserrín hasta llegar a 20cm de altura.

El mismo proceso se siguió para los tratamientos restantes como tratamiento 2 (T2) para residuos orgánicos domésticos al 50% y estiércol al 50% y para el tratamiento 3 (T3) para residuos orgánicos domésticos al 40% más estiércol al 30% y tallos de cañihua al 30% de tal modo todos los tratamientos llegaron a una altura de 15cm también se añadió encima una capa de aserrín hasta llegar 20cm de altura.

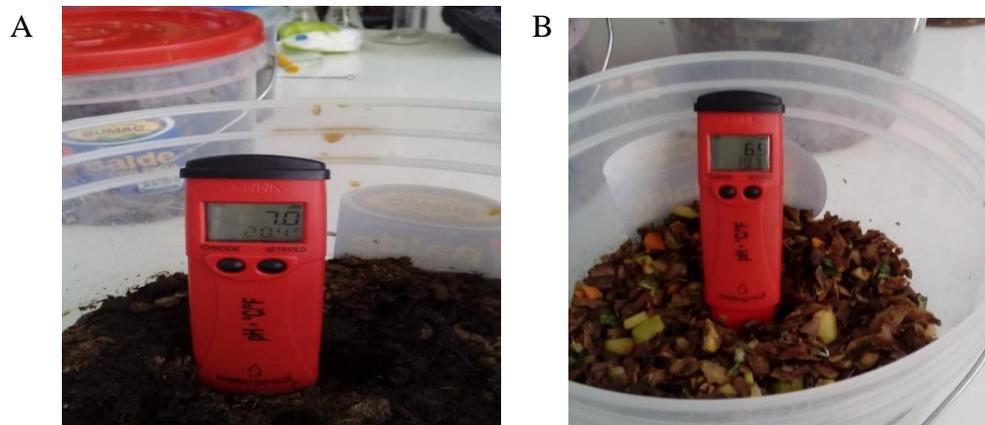
**Tabla 5.** Tipos de tratamiento y dosis de EM que se utilizarón en el estudio.

<b>Código</b>	<b>Mezclas</b>	<b>Dosis de EM</b>
T1	Residuos orgánicos domésticos 100%	200ml
T2	Residuos orgánicos domésticos al 50% + estiércol al 50%	200ml
T3	Residuos orgánicos domésticos al 40% + estiércol al 30% y tallos de cañihua al 30%	200ml

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación de la temperatura °C y pH los muestreos se realizaron con un equipo multiparámetro con un rango de (-50 a 150°C) precisión +- 0.3, con el siguiente

procedimiento el equipo se introdujo al sustrato por un periodo de 5min a una profundidad de 10cm, en la cual se mostraba los valores de temperatura y pH, también se realizó el mismo procedimiento para los tratamientos restantes (Figura 6).



**Figura 6.** Medicion de la temperatura y pH (A) tratamiento 2 y (B) tratamiento 1 en las instalaciones del laboratorio de Ecologia de la FCCBB.

### c) Variables a analizar

Las variables a analizar para cumplir el objetivo fue temperatura °C y pH por cada tratamiento.

Criterios de evaluación

Criterios de evaluación de compost con respecto a su pH.

**Tabla 6.** Valores de referencia de pH.

Calificación nivel	pH
Muy fuertemente acida	4.0 a 4.5
Fuertemente acida	4.5 a 5.5
Acida	5.5 a 6.5
Ligeramente acida	6.5 a 6.8
Neutra	6.8 a 7.2
Ligeramente alcalina	7.2 a 7.5
Alcalina	7.5 a 8.5
Fuertemente alcalina	8.5 a 9.0

**Fuente:** UNALM, 2011. Laboratorio de suelos

#### d) Aplicación prueba estadística inferencial

Para determinar la temperatura y pH del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces se utilizó el Diseño Bloque Completamente al Azar, con un arreglo factorial de 2 x 3, con 3 tratamientos, 3 bloques (repeticiones) 9 unidades experimentales. El modelo lineal aditivo del diseño fue:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\varepsilon)_{ijkl}$$

Donde:

- $Y_{ijkl}$  = Variable de respuesta
- $\mu$  = Media general
- $\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo nivel del factor meses
- $\beta_j$  = Efecto del j-ésimo nivel del factor tipo de materia
- $\gamma_k$  = Efecto del k-ésimo nivel del factor dosis de EM
- $\alpha\beta_{ij}$  = Efecto de la interacción del j-ésimo nivel del factor materia, con el k-ésimo nivel del factor dosis de EM.
- $\alpha\gamma_{ik}$  = Efecto del error experimental.

El análisis estadístico se realizó mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5%, en las pruebas estadísticas se trabajó con las pruebas de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) al 95% de certeza.

El cálculo numérico se realizó haciendo uso del Sistema de Análisis Estadístico (Infostat). Los gráficos respectivos se realizarán mediante la hoja de cálculo EXCEL de Microsoft.

### 3.5. CALIDAD DEL COMPOST DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.

#### a) Frecuencia y horario de muestreo

Para realizar las pruebas de calidad de compost, se tomaron las muestras de cada tratamiento una vez que haya concluido el proceso de compostaje, para luego ser enviados al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA-Puno.



**Figura 7.** Obtención de muestras de compost de cada tratamiento a analizar.

#### b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos e insumos.

Las muestras se tomaron de la siguiente forma: Primero se realizó un volteo en cada tratamiento para obtener una mezcla homogénea, seguidamente se pesó 200g del sustrato por cada tratamiento para luego ser empacados en bolsas ziploc, colocándose el código correspondiente del cual se ha tomado; y finalmente se enviaron al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias con la finalidad de determinar las concentraciones de Materia orgánica, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Conductividad eléctrica y pH.

Con los datos obtenidos se realizaron una comparación con la tabla de rangos de la Norma de Calidad del Compost del Instituto Nacional de Normalización de Chile, 2005.

### c) Variables a ser analizadas

Para este objetivo se analizaron las concentraciones de Materia orgánica (MO), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y Conductividad eléctrica (CE).

- Parámetros de evaluación de compost con respecto al contenido de Nitrógeno %.

**Tabla 7.** Valores de referencia para Nitrógeno %.

Calificación nivel	Valor % nitrógeno
Extremadamente pobre	< 0.032
Pobre	0.032 – 0.063
Medianamente pobre	0.064 – 0.095
Medio	0.096 – 0.126
Medianamente rico	0.127 – 0.158
Rico	0.159 – 0.221
Extremadamente	> 0.221

Fuente: UNALM, 2011. Laboratorio de suelos

- Parámetros de evaluación de compost con respecto al contenido de Fosforo

**Tabla 8.** Valores de referencia para Fosforo (P).

Calificación nivel	Valor (mg kg-1)
Bajo	< 5.5
Medio	5.5 - 11
Alto	>11

Fuente: UNALM, 2011. Laboratorio de suelos

- Parámetros de evaluación de compost con respecto al contenido de Potasio

**Tabla 9.** Valores de referencia para Potasio.

Calificación nivel	Valor (ppm)
Muy bajo	0 - 40
Bajo	41 - 80
Medio	81 - 120
Alto	121 - 200
Muy alto	>200

Fuente: UNALM, 2011. Laboratorio de suelos



#### d) Aplicación prueba estadística inferencial

El análisis estadístico se realizó mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5%, en las pruebas estadísticas se trabajó con las pruebas de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) al 95% de certeza con la finalidad de determinar si existirá diferencias significativas entre los tratamientos.

$$Y_{ij} = u + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ : sería el valor observado (variable dependiente) [valor  $j$ -ésimo del tratamiento  $i$ -ésimo], y es el efecto del tratamiento  $i$ .

$u$ : sería una constante que en la recta de regresión equivale a la ordenada en el origen (promedio general).

$T_i$ : es una variable que varía de tratamiento a tratamiento.

$\epsilon_{ij}$ : es una variable aleatoria que añade a la función cierto error que desvía la puntuación observada de la puntuación.

$\beta_j$ : bloques (nueve unidades repetitivas)

El cálculo numérico se realizó haciendo uso del Sistema de Análisis Estadístico (Infostat). Los gráficos respectivos se realizaron mediante la hoja de cálculo EXCEL de Microsoft.



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. TIEMPO DE DESCOMPOSICIÓN Y LA GRANULOMETRÍA DEL COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.

Se determinó el tiempo que duro el proceso de compostaje para cada tratamiento, es decir desde la instalación hasta la obtención del compost estable, para ello el tiempo de descomposición y la granulometría (%) se evaluó en términos de días, que el compost alcanzó la madurez, y siendo comparados con el tiempo de referencia de duración de un compostaje tradicional, el cual es de 3 meses, además se comparó entre cada tratamiento.

A partir de la evaluación realizada se muestra que para un compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 40% más estiércol de ovino al 30% y tallos de cañihua al 30% (T3) en promedio el tiempo de descomposición fue de 75 días, sin embargo para un compost a partir de residuos orgánicos al 100% (T1) fue de 61 días y para un compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 50% y estiércol al 50% (T2) se observó una disminución en 59 días. La granulometría se evaluó al final del estudio, siendo determinada en porcentajes, obteniéndose gránulos con diámetros menores a 1.5 mm, con mayor porcentaje de promedio el T1 con 90.63%, que siendo superior a los demás tratamientos, demostrando así que es el que contiene mayor degradación en relación a los otros tratamientos, mientras para los T2 y T3 los valores fueron de 89.87 y 85.72% respectivamente (Tabla 10).

**Tabla 10.** Tiempo de descomposición del compost (días) y granulometría (%<1.5 mm), según tratamientos y dosis de EM desde diciembre 2018 a marzo del 2019.

Repeticiones	Tiempo de descomposición (días)			Granulometría del compostaje %			Dosis de EM (ml)
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	
<b>I</b>	61	59	70	92.34	88.43	86.97	200
<b>II</b>	60	56	79	90.01	89.12	86.35	200
<b>III</b>	63	61	76	89.56	92.08	83.86	200
<b>Promedio</b>	61	59	75	90.63	89.87	85.72	200

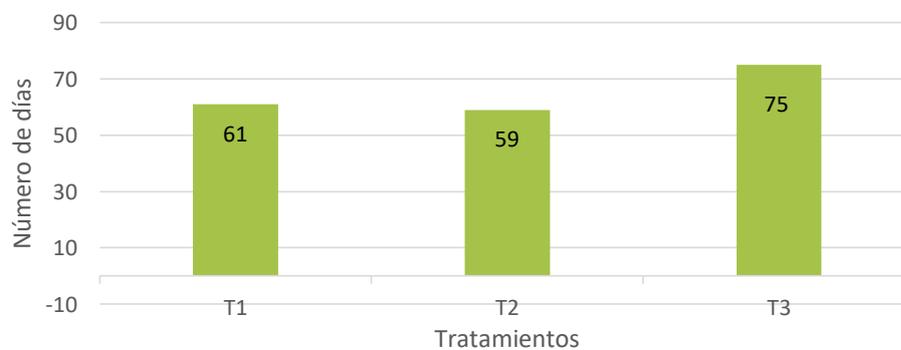
Fuente. Elaboración propia

T1: Residuos orgánicos domésticos 100% más 200ml de EM

T2: Residuos orgánicos domésticos al 50% más estiércol al 50% y 200ml de EM

T3: Residuos orgánicos domésticos al 40%, estiércol al 30% más tallos de cañihua al 30% y 200ml de EM.

El promedio sobre el tiempo de descomposición para obtener un compost final donde el T3 presento 75 días seguido del T1 y por último la que se indicaría que tomo un tiempo menor a otros tratamientos es a partir de residuos orgánicos al 50% y estiércol al 50% T2 (Figura 8).



**Figura 8.** Comparación de promedios de días de compost según tratamiento.

Podemos concluir que el tiempo de descomposición mediante el promedio para todos los tratamientos fue de 65 días; la granulometría en 88.74 % gránulos menores a 5mm (Figura 9).



**Figura 9.** Comparación de promedios con respecto a la granulometría de compost según tratamiento.

Resaltamos un efecto positivo en las mezclas en cada tratamiento, así mismo en los microorganismos eficientes tienen un efecto positivo en el tiempo de descomposición del compost, lo cual pueden garantizar cosechas óptimas en un corto tiempo debido a su actividad de descomposición continua, estudios y revisiones como los resultados obtenidos por (Cabrera, 2012) quien reportó un estudio solo con residuos orgánicos al aplicar Biospeed a dosis de 20ml lo cual favoreció con 52 días y granulometría con 10.19 % > a 10 mm; a ello se sustenta también en el estudio sobre el tiempo de descomposición y granulometría por Suaña (2013), a partir de residuos orgánicos con 75 días y para lenteja de agua 50 días, la granulometría presento de 75 a 90% de gránulos con diámetros <1.5 mm en ambos compost lo cual fortalece el resultado ahora encontrado.

Los datos obtenidos en la investigación son superiores a la de (Victoria, 2018) elaboro un compost aerobio termófilo a partir de residuos orgánicos domésticos mediante conformación de pilas de compostaje con volteos periódicos durante 45 días, además (Méndez *et al.*, 2018) evaluó el proceso de compostaje de bagazo de maguey mezcalero



(BM-*Agave angustifolia* Haw.) y bagazo de caña de azúcar (BC-*Saccharum officinarum* L.), residuos de origen vegetal ambos con relación C/N reducida. Para ambos residuos, la relación C/N fue modificada con la adición de estiércol bovino la duración del experimento fue de 133 días; sin embargo los datos de (Aquinio, 2017) que evaluó la adición de EM en varios sustratos a partir de residuos orgánicos los resultados muestran el tiempo de degradación fue 66 días, así mismo para Azurduy et al., (2016) Evaluó los activadores naturales para acelerar el proceso de compostaje de residuos orgánicos los resultados mostraron que los activadores favorecen al incremento de la temperatura en periodo corto a los 2,5 meses.

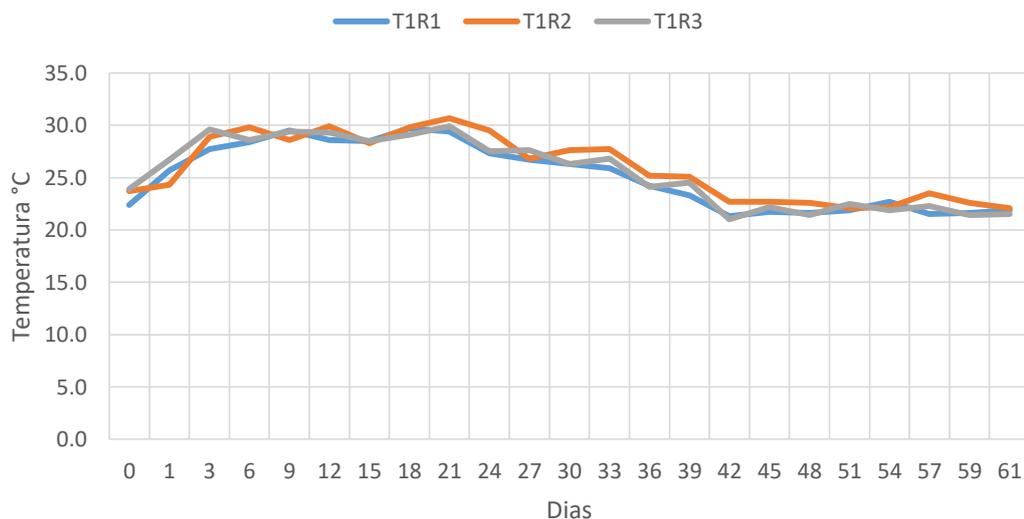
Otros estudios de compost a partir de estiércol de vaca, maleza y residuos orgánicos con aplicación de microorganismos eficientes su tiempo de descomposición fue de 43 días por (Soriano, 2016). sin embargo Naranjo (2013), reportó 80 días para compost a partir de desechos orgánicos; para lo cual en el T3 se observó un aumento en el número de días en descomponerse, esta conducta podría deberse al tipo de mezcla, en la cual además se adiciono restos de cañihua (tallo) que requiere un mayor tiempo de descomposición debido a su composición de alto contenido de lignina de 5 a 30% (Galante & Garcia, 1997), tal resultado también podría deberse al tamaño de partículas, el tipo de sustrato a compostar ya que juega un papel muy importante las partículas demasiado grandes presentan poca superficie de contacto para ser atacadas por los microorganismos haciendo que el tiempo de procesamiento se alargue, siendo el tamaño ideal de 3 a 6cm según estudios realizados por APROLAB (2007), lo cual es concordante por las características de granulometría que favorecen la retención de agua descrito por (Porrás, 2011); y posee efectos sobre el suelo (Soliva & Lopez, 2004).

## 4.2. TEMPERATURA Y PH DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.

### 4.2.1. Temperatura °C en proceso de compostaje

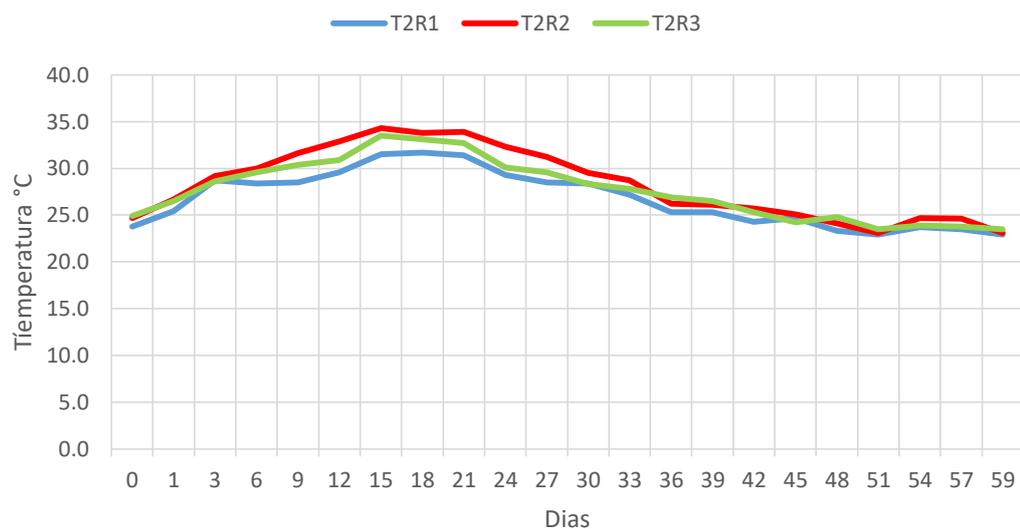
La temperatura del compost se registró desde diciembre del 2018 hasta marzo del 2019, para los tres tratamientos del compost (Anexo 2).

Los valores del tratamiento 1, un compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 100%, lo que demuestra que la temperatura en los primeros días aumentan rápidamente alcanzando a 28°C (fase mesolítica) al tercer día, esto siendo atribuible la actividad metabólica de los microorganismos que actúan descomponiendo la materia orgánica rápidamente, lo que produce calor y consiguientemente el aumento de temperatura del compost esta actividad se da principalmente durante las tres primeras semanas (hasta el día 21), en seguida el resto de las semanas (cuatro, cinco y seis) la temperatura tiende a disminuir poco a poco (día 42), hasta que comienza mantenerse y estabilizarse a una temperatura del ambiente (semana siete y ocho) (Figura. 10).



**Figura 10.** Comportamiento de la temperatura en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 100% y 200ml de microorganismos eficaces (T1).

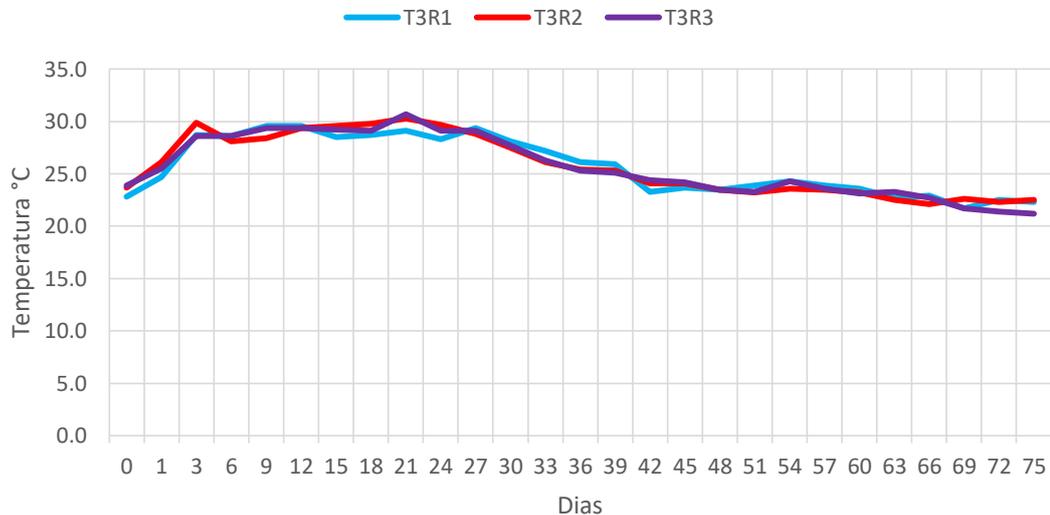
Se reflejan los valores del tratamiento 2 (T2) la temperatura en los primeros días aumentan rápidamente esto siendo atribuible al tipo de materia empleada “estiércol de ovino” que se caracteriza por retener el calor durante el proceso además por la acción de los microorganismos eficaces que actúan descomponiendo la materia orgánica rápidamente, lo que produce calor y consiguientemente el aumento de la temperatura del compost, esta actividad en dicho tratamiento se da principalmente durante cuatro semanas (hasta el día 28); a diferencia de las semanas cinco y seis la temperatura tiende a disminuir poco a poco (día 42) hasta que comienza mantenerse y estabilizarse a una temperatura del ambiente (semana ocho) (Figura 11).



**Figura 11.** Comportamiento de la temperatura en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 50%, estiércol de ovino al 50% y 200ml de microorganismos eficaces (T2).

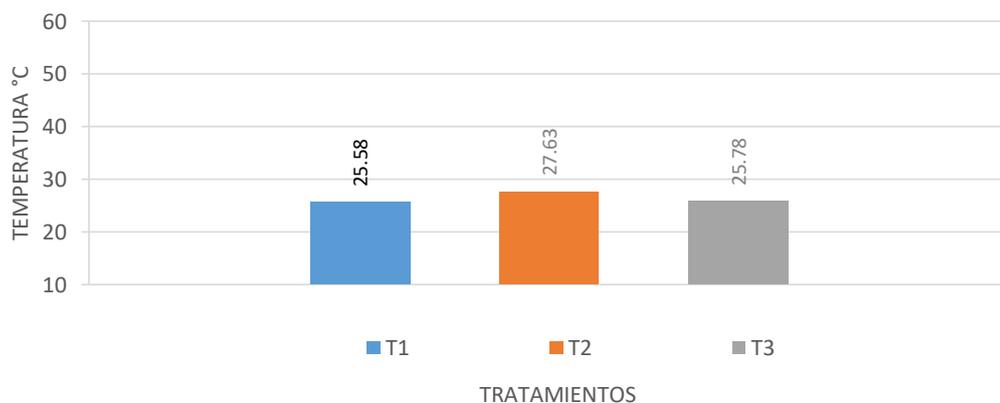
Los valores del tratamiento 3 (T3) la temperatura en los primeros días aumentan rápidamente esto siendo a los tallos de cañihua y estiércol que se caracteriza por retener el calor durante el proceso, además por la acción de los microorganismos eficaces que actúan descomponiendo la materia orgánica rápidamente, lo que produce calor y consiguientemente el aumento de la temperatura del compost, esta actividad en dicho

tratamiento se da principalmente durante las tres primeras semanas (hasta el día 24); a diferencia de las semanas restantes tiende a disminuir paulatinamente hasta estabilizarse a una temperatura del ambiente (Figura 12).



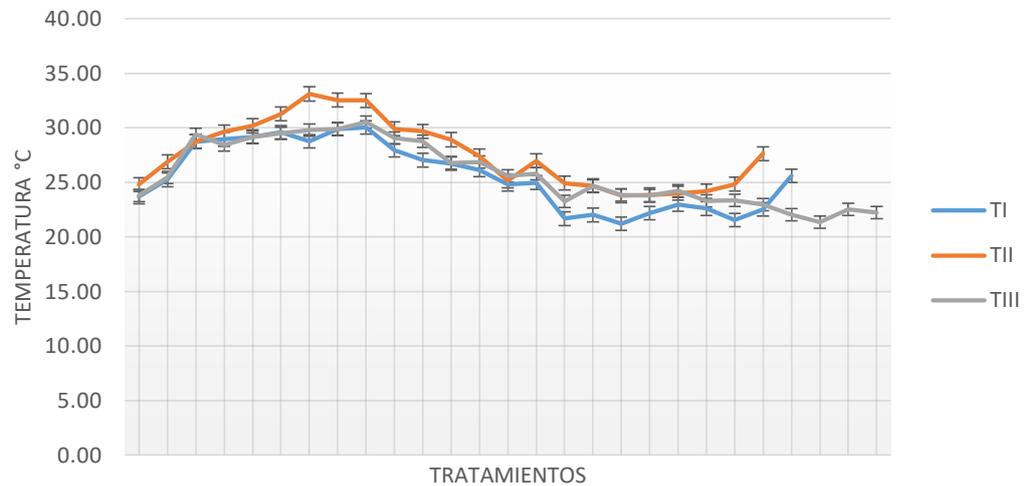
**Figura 12.** Comportamiento de la temperatura en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 40%, estiércol de ovino al 30%, tallos de cañihua al 30% y 200ml de microorganismos eficaces (T3).

Los valores promedio de temperatura para el (T1) fue de 25.58 °C, para el (T2) fue de 27.63 °C y para el (T3) fue de 25.78 °C (Figura 13); alcanzando una máxima de 30.03 °C; 33.10°C y 30.53 °C, y una mínima al finalizar el ensayo de 21.20 °C, 23.77 °C y 21.33 °C respectivamente (Anexo 2).



**Figura 13.** Promedio de temperatura según las mezclas (tratamientos) en compost desde diciembre hasta marzo del 2019.

La curva de temperatura entre los tratamientos 1,2 y 3 donde se observa que el tratamiento 2 es la más adecuada además la que posee nivel alto de temperatura es decir una curva elevada (Figura 14).



**Figura 14.** Comparación de curvas de temperatura entre compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 100% (T1), con el compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 50% y estiércol al 50% (T2) y un compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 40%, estiércol al 30% y tallos de cañihua al 30% (T3) desde diciembre hasta marzo del 2019.

### Análisis de varianza para temperatura

Entre la temperatura del T1, T2 y T3 no existe diferencia estadística significativa ( $P > 0.05$ ). Lo que indica que la temperatura no varía según los diferentes materiales de origen doméstico, vegetal y animal. El (T2) que contenía la mezcla con residuos orgánicos domésticos y estiércol obtuvo temperaturas de 33.10 °C consideradas las más altas en 17 muestreos de los 22 realizados en total por consiguiente una degradación en un corto tiempo. En las evaluaciones realizadas, además se observó que la mezcla contenía un pH de 6.37 a 8.67 que los (T1) y (T2), este factor pudo favorecer una mayor actividad de microorganismos como bacterias y hongos que se encargan en la fase mesófila, especialmente bacterias del género *Bacillus sp.* aunque existen algunos Bacillos



termófilos. Según (Melendez & Soto, 2003) el 10% de la descomposición es realizado por bacterias y del 10 -30% es realizado por actinomicetos.

La variación de la temperatura y la generación de calor vienen dada por la actividad metabólica de los microorganismos encargados de atacar la materia orgánica (Cochachi, 2008), para (Navarro, 2006), es deseable alcanzar condiciones termófilas (entre 40 y 93°C), ya que se necesitan altas temperaturas para destruir patógenos que pudieran encontrarse; cuando el material se está compostando pasa por un ciclo de temperaturas que es ocasionado por la actividad microbiológica.

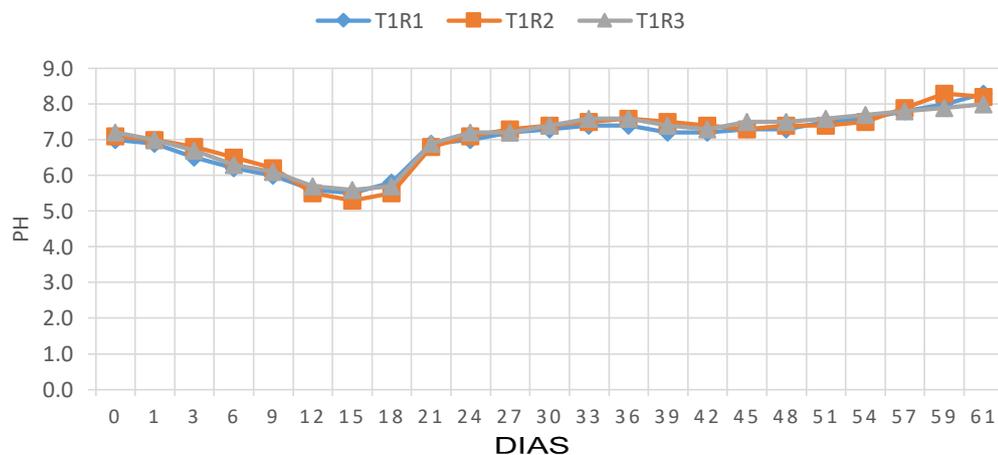
La diferencia con respecto al promedio de temperatura se da al tipo de materia de origen empleada al compost y a la acción de los EM que actúan descomponiendo la materia orgánica rápidamente, lo que produce calor y consiguientemente el aumento de la temperatura del compost, entonces podemos deducir que las temperaturas máximas alcanzadas estuvieron por debajo del óptimo 60°C. (Uicab-Brito & Sandoval, 2003) 65-75°C (rango 55-75°C) (Guerrero & Monsalve, 2006), 65- 700C (rango 55-75°C) (Melendez & Soto, 2003) y rango 45-80°C considerando que el compostaje es un proceso microbiológico bajo condiciones aeróbicas y termófilas (Zandvliet, 2009); las bajas temperaturas favorecieron la proliferación de microorganismos mesófilas entre 5-43 °C (Navarro, 2002).

#### **4.2.2. Potencial de Hidrogeniones (pH) en proceso de compostaje**

De la Figura 16, 17 y 18 se puede observar, una disminución del pH en los primeros días en todos los tratamientos luego se mantuvo relativamente constante hasta el final del estudio para diferentes tipos de materia de origen, siendo mayor el descenso en el (T1)

esto siendo una mezcla de residuos orgánicos domésticos al 100%. Cabe recordar, que tanto el (T2) como el (T3) tienen una fracción de estiércol de ovino que posee un alto nivel de pH 7.6 (Coronado, 1998).

Los valores de pH con respecto al (T1), en una primera instancia comienza a bajar paulatinamente debido a la degradación de la celulosa por los microorganismos celulíticos; luego parte de los monosacáridos serían transformados en ácidos orgánicos que bajan el pH del compost, esta actividad se da principalmente durante las tres primeras semanas (hasta el día 21), en seguida el resto de las semanas (cuatro, cinco y seis) el pH tiende a subir poco a poco (día 42), debido a la presencia de las bacterias productoras de amonio y de las bacterias fijadoras de nitrógeno produce un crecimiento en la concentración del ion amonio, afectando directamente en el aumento del pH (Figura. 15).

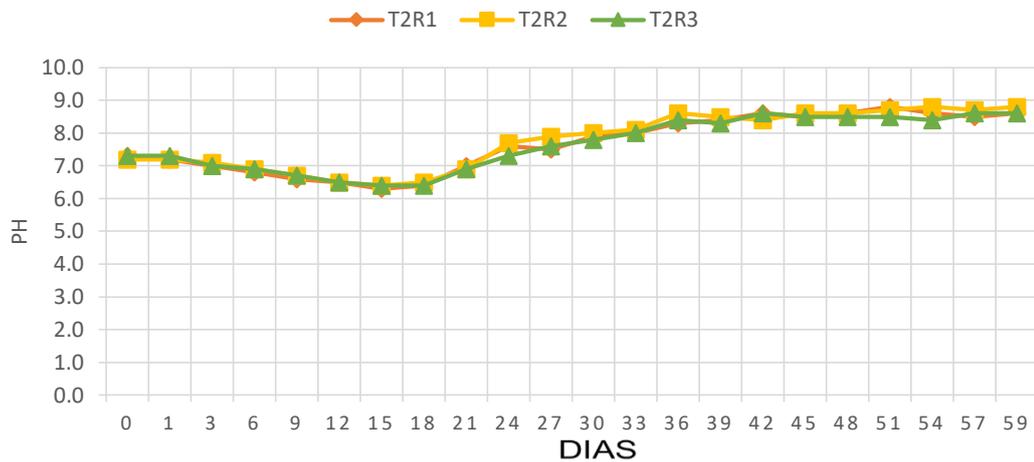


TRATAMIENTO 1: T1R1, T1R2, T1R3

**Figura 15.** Comportamiento del pH en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 100% y 200ml de EM en el tratamiento 1 (T1).

Los valores de pH del (T2) demuestra que el pH en una primera instancia no tiene un descenso acelerado en comparación con el (T1), esto siendo atribuible al tipo de materia de origen empleada al compost estiércol de ovino que se caracteriza por tener un pH alcalino, esta actividad se da principalmente durante las tres primeras semanas (hasta

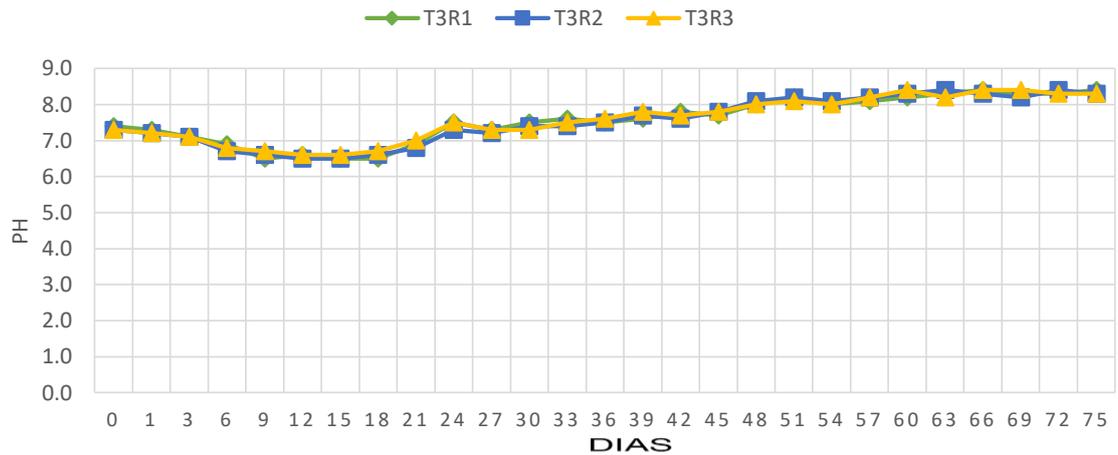
el día 21), en seguida el resto de las semanas (cuatro, cinco y seis) el pH tiende a subir poco a poco (día 42), debido a la presencia de las bacterias productoras de amonio y de las bacterias fijadoras de nitrógeno produce un crecimiento en la concentración del ion amonio, afectando directamente en el aumento del pH. (Figura. 16).



TRATAMIENTO 2: T2R1, T2R2, T2R3

**Figura 16.** Comportamiento del pH en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 50%, residuos de origen animal (estiércol de ovino) al 50% y 200ml de EM en el tratamiento 2 (T2).

Los valores de pH en el (T3), demuestra que las tres primeras semanas tiende a disminuir paulatinamente debido al tipo de materia de origen empleada al compost tallos de cañihua y estiércol de ovino que se caracterizan por presentar un pH ligeramente alcalino además debido a la degradación de la celulosa por los microorganismos celulíticos; luego parte de los monosacáridos serian transformados en ácidos orgánicos que bajan el pH del compost, esta actividad se da principalmente durante las cuatro primeras semanas (hasta el día 28), en seguida el resto de las semanas (cinco, seis y siete) el pH tiende a subir poco a poco (día 63), debido a la presencia de las bacterias productoras de amonio y de las bacterias fijadoras de nitrógeno produce un crecimiento en la concentración del ion amonio, afectando directamente en el aumento del pH. (Figura. 17).



TRATAMIENTO 3: T3R1, T3R2, T3R3

**Figura 17.** Comportamiento del pH en la elaboración de compost, residuos orgánicos al 40%, residuos de origen animal (estiércol de ovino) al 30%, residuos de origen agrícola (restos de cañihua) y 200ml de EM (T3).

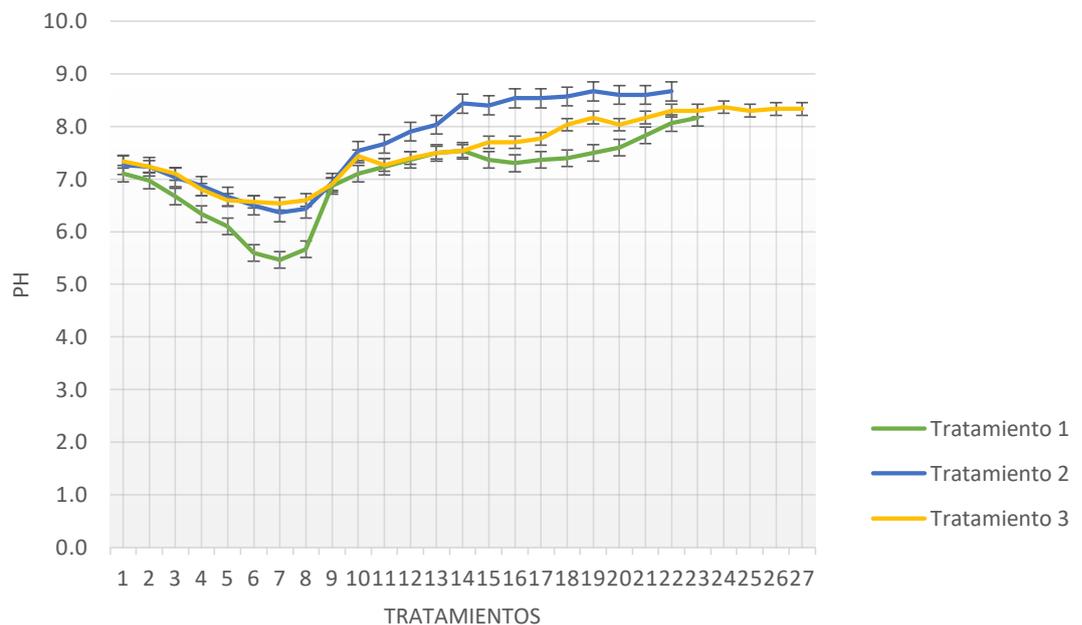
El promedio del pH durante el proceso de compostaje para los tratamientos 1, con 7.05 lo que indica que presentan un pH adecuado que debe ser de 6.8 a 7.2 pH, calificándose en nivel neutro, según Bioagro (2011). Seguidamente los tratamientos 2 y 3 con 7.70 y 7.60 calificándose ambos en un nivel alcalino según UNALM. (2011) (Figura. 18).



**Figura 18.** Promedio de pH según las mezclas (tratamientos) en compost desde diciembre 2018 hasta marzo del 2019.

Los valores de pH obtenidos en el estudio son aceptables para todos los casos, según los parámetros que determinan la calidad del compost como la Norma Chilena 2880 (2005), OMS: Organización Mundial de la Salud y Norma técnica Colombiana 5167.

La curva de pH entre los tratamientos 1,2 y 3 donde se observa que el tratamiento 2 es la más adecuada (Figura 19).

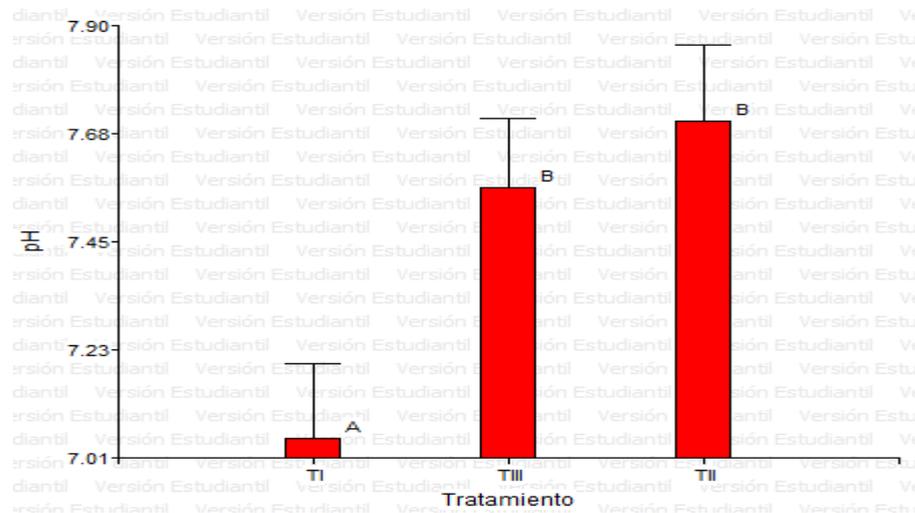


**Figura 19.** Curva de pH entre los tratamientos 1,2 y 3 en compost desde diciembre del 2018 hasta marzo del 2019.

### Análisis de varianza para pH

El pH de los tratamientos T1, T2 y T3 muestra existe diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ) de certeza para tratamientos, mientras que entre repeticiones no existe diferencia significativa y según la prueba de Tukey el T2 y T3 es la más adecuada por demostrar que posee un pH óptimo para su desarrollo.

Para comparar diferencias específicas entre los tratamientos, donde se encontró diferencias, se procedió a realizar la prueba de rango múltiple de Tukey (Figura 20).



**Figura 20.** Prueba de rango múltiple de Tukey para pH según tratamientos, promedio con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ).

Un pH neutro o normal permite que los procesos de descomposición, mineralización y transformación de los sustratos se desarrollen dentro del ámbito de lo normal. Los resultados muestran que no existe una afectación de las dosis de microorganismos eficaces en los valores de pH, lo que es un efecto deseable en aditivos como éste, que permiten una mayor tasa de descomposición sin modificación del pH del sustrato inicial. Otro estudio con adición de microorganismos eficaces indica valores de pH alcalinos de hasta 8, sin embargo señalan que aún con este valor, los procesos de descomposición se llevaron con normalidad en compost de pulpa de café, mostrando que los microorganismos eficaces presentan tolerancia a variaciones de pH (Melendez, 2004). En algunos casos el pH del compost suele incrementarse al final de la fase de compostaje, como se indica para compost a partir de desechos de caña de azúcar (Gordillo & Chavez, 2010), este efecto se manifestó solo en el tratamiento testigo (sin EM) que bajo su pH en el segundo mes de compostaje.



los promedios de pH para dicho estudio estuvieron por sobre el óptimo de 6.5-7.5 (Uicab & Sandoval, 2003), rango de 6-8 (Palmero, 2010) y dentro del rango de 5.5-9 (Guerrero & Monsalve, 2006); presumiéndose una menor compostación, debido a que valores superiores a 8 (alcalinos) hacen precipitar nutrientes esenciales del medio de forma que no son asequibles para los microorganismos (Sztern & Pravia, 1999); sin embargo, los pH del tratamiento 2 contenido de residuos orgánicos y estiércol fueron cercanos al compostaje de estiércoles de bovinos, a un pH de 9 desde el inicio hasta el final del compostaje (Hernandez et, al. 2004).

Las bacterias tienen su máximo desarrollo a un pH de 6 y 7,5 mientras que los hongos los tendrán a valores entre 5 y 6 (Castillo, 1996), por cual los pH observados en el presente estudio se encuentran cercanos al óptimo para el desarrollo de los microorganismos eficaces. Se conoce que el pH se sitúa en torno a 7-8, como consecuencia de la capacidad tamponante que confiere a la materia orgánica y el humus que se va formando, así mismo la materia prima utilizada puede hacer variar significativamente los valores de pH y en muchos casos se requiere tomar medidas para corregirlo como añadir cal apagada o sales ácidas (Melendez, 2004).

El comportamiento del pH durante el proceso de compostaje, reportándose las tres primeros días que van de 5.0 a 7.1, luego hasta el final presenta valor de 8,0 a 8,9; según (Sztern & Pravia, 1999), en la fase mesófila los microorganismos se multiplican rápidamente por la actividad metabólica que eleva la temperatura, produciendo ácidos orgánicos que hacen bajar el pH. Además Naranjo (2013), indica que la aplicación de microorganismos a pesar que aceleran el proceso de descomposición y dotan de mejor valor nutricional al compost, no influyen relevantemente en el comportamiento del pH de producto final obtenido.

### 4.3. CALIDAD DEL COMPOST DE RESIDUOS ORGÁNICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES.

#### 4.3.1. Porcentaje de materia orgánica en compost

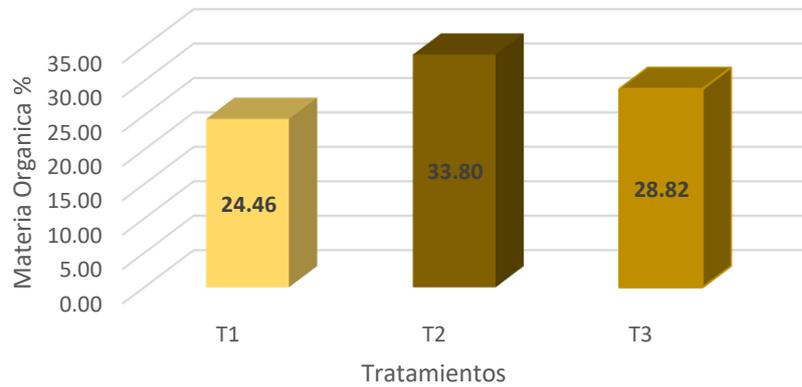
La concentración de materia orgánica en tratamientos (1), (2) y (3) presentaron el porcentaje de (24.46; 33.79 y 28.81%) cumpliendo con la calidad de compost comparado con las normativas para NChile 2880 dado en el 2005; del mismo modo según la OMS; además la Norma Internacional USEPA Estados Unidos 1994; e inclusive los parámetros establecido por Bioagro, 2011 (15 a 23%) (Tabla. 11).

**Tabla 11.** Se muestran los valores de contenido de materia orgánica porcentual (%) para las repeticiones y los tres tratamientos a una dosis de 200ml de EM.

Repeticiones	Tratamientos		
	T1	T2	T3
R1	25.92	34.96	29.64
R2	24.70	37.71	28.57
R3	22.75	28.72	28.24
Suma	73.37	101.39	86.45
Promedio	24.45	33.79	28.81

Fuente: Elaboración propia

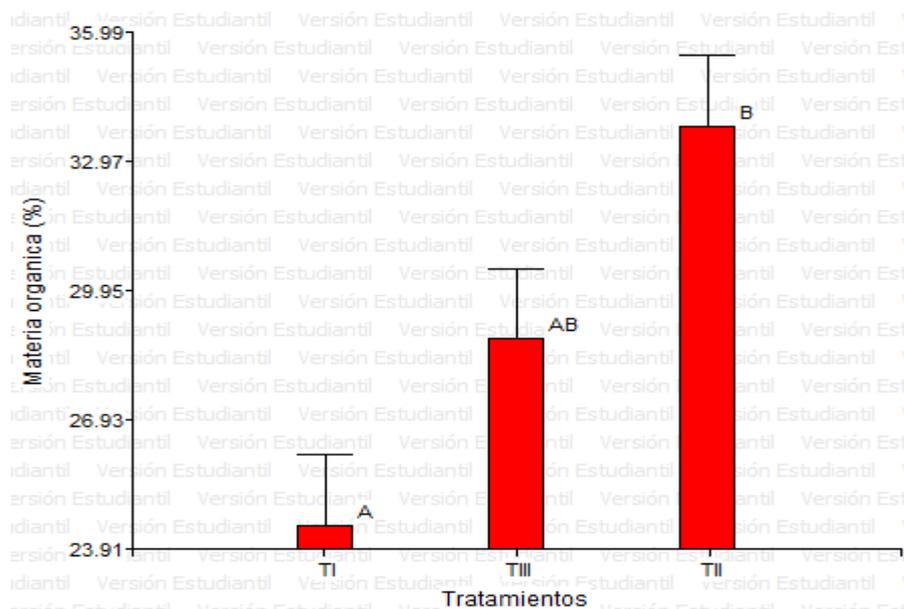
Promedio de materia orgánica según tratamientos, (T1) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 100% con 24.46% de materia orgánica; (T2) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 50% y estiércol de ovino al 50% con 33.80% de materia orgánica; y para el (T3) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 30% estiércol de ovino al 30% y tallos de cañihua al 30% con una concentración de 28.82% de materia orgánica (Figura 21).



**Figura 21.** Promedio de materia orgánica según tratamientos en compost.

Según la prueba ANOVA se muestra la existencia de diferencia estadística significativa para la materia de origen ( $P < 0.05$ ) de los cuales se puede indicar que son las mezclas de diferentes tipos de residuos, las que explican las variaciones del contenido de materia orgánica en el compost.

Para comparar diferencias específicas entre los tratamientos, donde se encontró diferencias, se procedió a realizar la prueba de rango múltiple de Tukey (Figura 22).



**Figura 22.** Prueba de rango múltiple de Tukey para materia orgánica según tratamientos, promedio con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ).

Los valores de concentración de materia orgánica para los diferentes tratamientos presentaron variación, esto explica la utilización de diferentes tipos de sustrato como:



residuos orgánicos domésticos, estiércol de ovino y tallos de cañihua; pero siendo similares con el estudio de Naranjo (2013), compost a partir de desechos orgánicos inoculado con microorganismos eficientes sus valores fueron 24.63%; además comparamos con el estudio de Soriano (2016), un compost a partir de estiércol de vaca más residuos orgánicos inoculado con melaza, los valores obtenidos 39.56 y 35.23% fueron superiores a los establecidos por la Norma Chilena 2880; así mismo para Cabrera (2012), que realizó un compost a partir de residuos orgánicos con la aplicación de Biospeed de 20ml sus valores de materia orgánica fueron 26.80% siendo aceptables por diferentes normativas; sin embargo los valores (A= 80,23%, B= 76,57%, Control= 80,57%) para compost de aserrín y excretas provenientes de seres humanos utilizando microorganismos eficientes presentaron valores superiores a las investigaciones ya mencionadas (García, 2017); según Núñez (1992) sostiene que los microorganismos como hongos, bacterias y ascomicetos, bajo condiciones controladas pueden abastecer importantes cantidades de materia orgánica para mejorar la productividad del suelo.

La presencia de alta concentración de materia orgánica evidencia la calidad del compost; ya que el conocimiento de este parámetro en los lotes es fundamental pues se considera como principal factor para determinar su calidad agronómica. La cantidad total de materia orgánica (MO) de un lote es un indicador de la cantidad de carbono orgánico que aportará a las plantas y suelo.

Por otro lado, con la utilización de fertilizantes orgánicos (p. ej.: vermicomposta y compost ), para la producción hortícola, se han logrado resultados positivos en la calidad de los productos cultivados, en producción de biomasa, en el rendimiento (Singh et al., 2010; Doan et al., 2015), en el crecimiento, floración y fructificación (Peyvast et al., 2008; Ladanmoghadam et al., 2012); y, sobre todo, en la conservación, calidad y estructura del suelo (Crittenden et al., 2015; Khan et al., 2015). Esto se debe al incremento en el

contenido de materia orgánica, macro y micro elementos (como el N, P, C, Mg, Si), la liberación de ácidos húmicos e incremento de la actividad biológica en la rizósfera; inclusive, con efectos a corto plazo, como en los cultivos de ciclo corto (Singh *et al.*, 2008; Amaya-Carpio *et al.*, 2009; Cruz-Koizumi, 2015).

#### 4.3.2. Porcentaje de nitrógeno N en compost

Los porcentajes obtenidos de nitrógeno en los (T2) y (T3) presentaron (2.74 y 2.85%) cumplieron con las diferentes normativas para compost de calidad como la Norma Chilena 2880 dado en el 2005; además para la OMS; Norma internacional USEPA Estados Unidos 1994; OMS y Bioagro, 2011, sin embargo el (T1) presento (0.75%) no cumplió con la Norma internacional USEPA Estados Unidos 1994 y Bioagro, 2011 siendo sus valores de 2.4 a 5.0 % y 1.5 a 2% (Tabla 12).

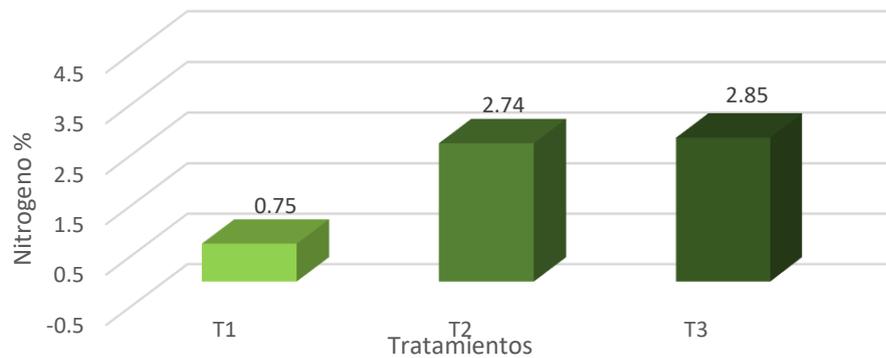
**Tabla 12.** Se muestran los valores de contenido de nitrógeno porcentual (%) para las repeticiones y los tres tratamientos a una dosis de 200ml de EM.

Repeticiones	Tratamientos		
	T1	T2	T3
R1	0.69	2.84	2.83
R2	0.90	2.60	2.98
R3	0.67	2.78	2.75
Suma	2.26	8.22	8.56
Promedio	0.75	2.74	2.85

Fuente: Elaboración propia

Promedio de nitrógeno según las mezclas para los tratamientos para el (T1) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 100% con 0.75% de nitrógeno; (T2) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 50% y estiércol de ovino al 50%

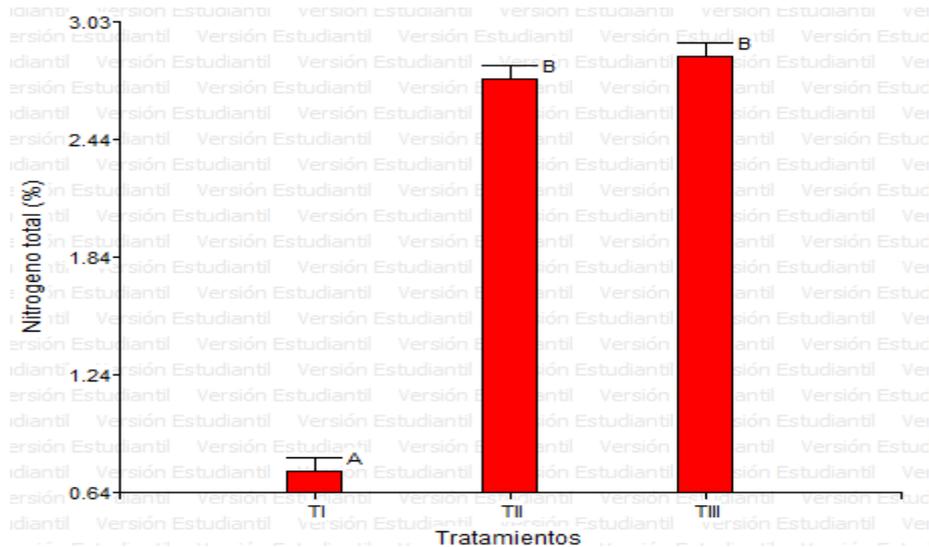
con 2.74% de nitrógeno; y para el (T3) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 30% estiércol de ovino al 30% y tallos de cañihua” al 30% con una concentración de 2.85% de nitrógeno (Figura 23).



**Figura 23.** Promedio de nitrógeno N % según las mezclas (tratamientos) en compost.

Según la prueba de ANOVA existencia diferencia estadística significativa según el sustrato empleado ( $P < 0.05$ ) probablemente debido a las mezclas de diferentes tipos de residuos las que presentan las variaciones en el contenido de nitrógeno en el compost.

Para comparar diferencias específicas entre los tratamientos, donde se encontró diferencias, se procedió a realizar la prueba de rango múltiple de Tukey (Figura 24).



**Figura 24.** Prueba de rango múltiple de Tukey para temperatura según tratamientos, promedio con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ).

Los valores de concentración de nitrógeno para los diferentes tratamientos presentaron variación, esto explica la utilización de diferentes tipos de sustrato como: residuos orgánicos domésticos, estiércol de ovino y tallos de cañihua; siendo similares para lenteja de agua es de 0.257% y para residuos orgánicos es de 0.217% Suaña (2013), 2.69 y 2.57% para compost a partir de sub productos de camal (Apaza, 2013). Así mismo estudios realizados por (Garcia, 2017) para compost de aserrín excretas provenientes de seres humanos superior al 0.5% de nitrógeno; 1.54 y 1.27 % para compost de estiércol de vaca, residuos orgánicos y maleza (Soriano, 2016). 2.45% para compost de cama animal, aserrín de pino, mezcla balicatrébol y cascarilla de rosa mosqueta en proporciones iguales (Cespedes, 2005) y 2.6-2.9% para compost de la fracción orgánica producto de residuos sólidos urbanos (Rosal *et al.*, 2007) mayor al 1% en compost de residuos de cocina (CEE, 2008), 2.06-2.33% en compost de pulpa de café (Vasquez De Diaz *et al.*, 2010), 1.83% en compost de cama animal y aserrín de pino (Cespedes, 2005) y 2.06% en compost de lodos residuales de mataderos municipales (Vicencio *et al.*, 2011); menor a 3-3.57% en



compost de residuos agropecuarios (Puma, 2008) y 3% en compost de sangre y estiércol de vacuno (Fleming y Macalpine, 2005).

#### 4.3.3. Porcentaje de fósforo P en compost

Según la OMS (organización mundial de la salud), los niveles ideales de fósforo en el compost, deben ser de 0.3 – 1.8% respectivamente. Como hemos podido apreciar en los cálculos el nivel de fósforo en tratamientos (1), (2) y (3) presentaron valores de (0.62, 0.87 y 0.81%), si cumplen con esta normativa, sin embargo son datos inferiores para la Norma técnica colombiana 5167 y Bioagro (2011) (Tabla 13).

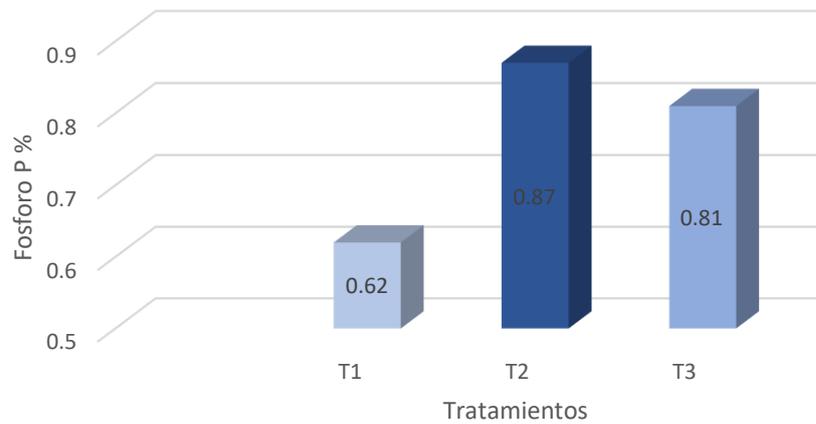
**Tabla 13.** Se muestran los valores de contenido de fósforo P porcentual (%) para las repeticiones y los tres tratamientos a una dosis de 200ml de EM.

Repeticiones	Tratamientos		
	T1	T2	T3
R1	0.60	0.85	0.80
R2	0.65	0.80	0.82
R3	0.62	0.96	0.80
Suma	1.87	2.61	2.42
Promedio	0.62	0.87	0.81

Fuente: Elaboración propia

Promedio de fósforo según las mezclas para los tratamientos, (T1) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 100% con 0.62% de fósforo, para el (T2) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 50% y estiércol de ovino al 50% con 0.87% de fósforo, y para el (T3) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 30% más

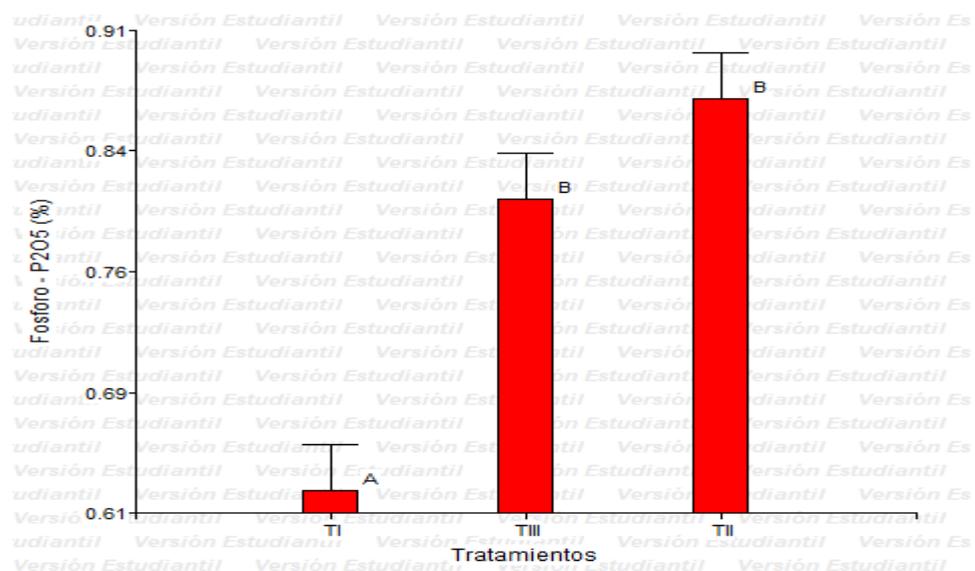
estiércol de ovino al 30% y tallos de cañihua al 30% con una concentración de 0.81% de fósforo (Figura 25).



**Figura 25.** Promedio de Fosforo P % según las mezclas (tratamientos) en compost.

Se muestra la existencia de diferencia estadística significativa según el sustrato empleado ( $P < 0.05$ ) probablemente debido a las mezclas de diferentes tipos de residuos las que presentan variaciones en el contenido de fósforo en el compost.

Para comparar diferencias específicas entre los tratamientos, donde se encontró diferencias, se procedió a realizar la prueba de rango múltiple de Tukey (Figura 26).



**Figura 26.** Prueba de rango múltiple de Tukey para fósforo según tratamientos, promedio con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ).

Los datos son inferiores a otros compost realizados como 1.27 % en compost de residuos de granja (Puma, 2008) y 0.2% para la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (Rosal et, al. 2007); menores a 6.5% para residuos de cocina referido (CEE, 2008), 2.4% para compost de residuos de granja (Puma, 2008), 2008) y 2.06% en compost de lodo residual de matadero (Vicencio *et al.*, 2011). Sin embargo siendo ampliamente superiores los datos de 36.89 compost para residuos orgánicos Suaña (2013).

Los resultados obtenidos en fósforo están entre el rango de 0.15 y 1.5 los que se encuentran entre los rangos de un compost comercialmente aceptable (Melendez y Soto, 2003).

#### 4.3.4. Porcentaje de potasio K en compost

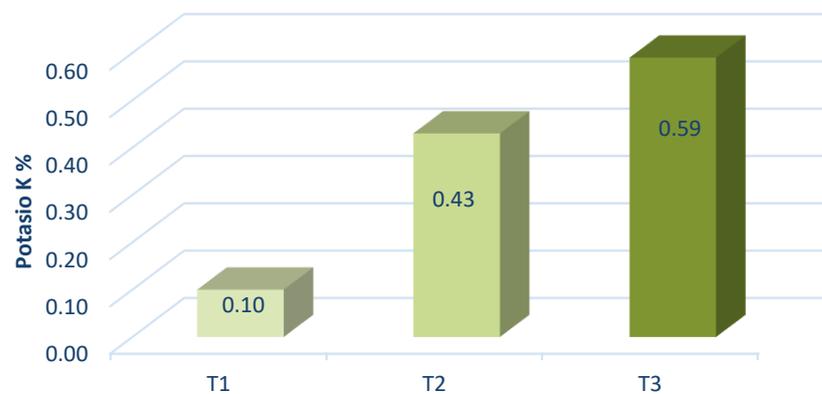
Los resultados del contenido de potasio (K) expresado en porcentaje, en los tratamientos de estudio se muestran en la siguiente (Tabla 14), El contenido promedio de potasio para los tratamientos (1), (2) y (3) presentaron (0.10, 0.43 y 0.59%) estos no cumplen según la normativa de Bioagro 2011 (1 – 1.5%). (Tabla 14).

**Tabla 14.** Se muestran los valores de contenido de potasio K porcentual (%) para las repeticiones y los tres tratamientos a una dosis de 200ml de EM.

Repeticiones	Tratamientos		
	T1	T2	T3
R1	0.10	0.45	0.56
R2	0.15	0.41	0.62
R3	0.06	0.44	0.59
Suma	0.31	1.3	1.77
Promedio	0.10	0.43	0.59

Fuente: Elaboración propia

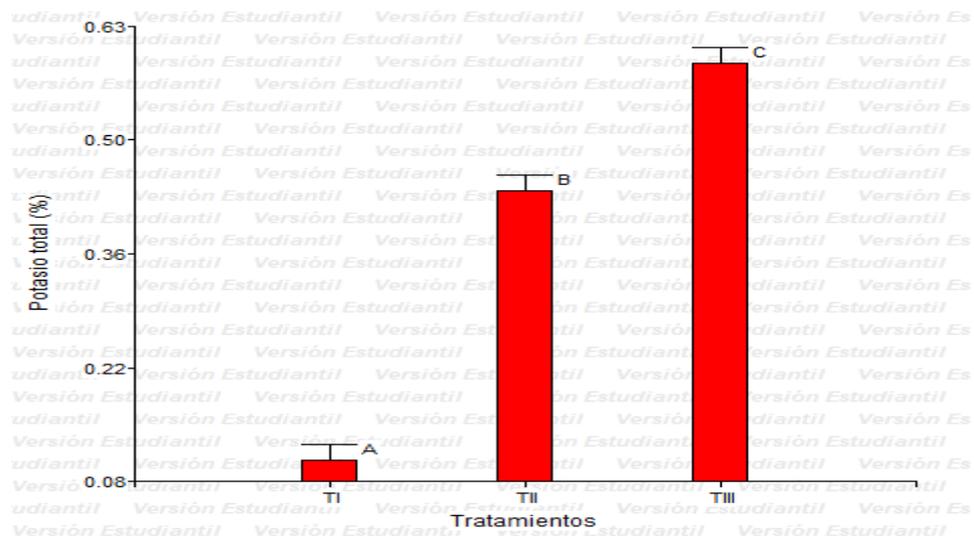
Promedio de potasio según las mezclas para los tratamientos, (T1) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 100% con 0.10% de potasio; (T2) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 50% y estiércol de ovino al 50% con 0.43% de potasio; y para el (T3) compost a partir de residuos orgánicos domésticos al 30% y estiércol de ovino al 30% y tallos de cañihua al 30% con una concentración de 0.59% de potasio (Figura 27).



**Figura 27.** Promedio de Potasio K% según las mezclas (tratamientos) en compost.

Según la prueba de ANOVA se muestra la existencia de diferencia estadística significativa para potasio total ( $P < 0.05$ ) de los cuales se puede indicar que son las mezclas de diferentes tipos de residuos las que explican las variaciones del contenido de potasio en el compost.

Para comparar diferencias específicas entre los tratamientos, donde se encontró diferencias, se procedió a realizar la prueba de rango múltiple de Tukey (Figura 28).



**Figura 28.** Prueba de rango múltiple de Tukey para potasio según tratamientos, promedio con letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ).

Con los datos obtenidos en el análisis se hizo una comparación con la tabla rangos de la Norma de Calidad del Compost del Instituto Nacional de Normalización de Chile (Alcazar, 2004) y se pudo observar que el abono obtenido del proceso de compostaje con microorganismos eficientes es de clase A.

Además los valores obtenidos son similares a 0.57 y 0.61% para compost de residuos orgánicos y lenteja de agua Suaña (2013), lo que se ha observado también en otro estudio de compost a partir de residuos orgánicos, donde los valores de potasio del compost obtenido, muestran que todos los tratamientos aplicados se encuentran dentro de los rangos normales de un compost maduro 0,4-1,6% (Azurduy y Azer 2010), al igual que los resultados del presente estudio, esto se explica porque a diferencia del nitrógeno y fósforo, el potasio es secuestrado y liberado de la materia orgánica por procesos químicos y no biológicos, por lo cual la adición de EM no muestran el mismo efecto que en el resto de elementos señalados (N y P) (Sanclemente y Garcia, 2011).

**Tabla 15.** Comparación del compost de los tratamientos 1, 2 y 3 con el resumen de los parámetros que determinan la calidad del compost.

Parámetros	T1	T2	T3	Nch 2880		OMS	U.S.A EPA 40 CFR 503 (1994)	Norma técnica Colombiana a 5167	Bioagro (2011)
				Calidad A	Calidad B				
pH	7.05	7.70	7.60	5.0 – 8.5	5.0 – 8.5	6.0 – 9.0	6.8 – 8.0	4.0 – 9.0	6.8 – 7.2
CE dS/m				< a 3dS/m	≤ a 8 dS/m	-----	-----	-----	-----
Parámetros generales y de materia orgánica									
M.O %	24.46	33.80	28.82	≥ a 20 %	≥ a 20 %	25 - 50%	>a 20 %	-----	15 – 23 %
N %	0.75	2.74	2.85	≥ a 0.5%	≥ a 0.5%	0.4 - 3.5%	2.4 a 5.0%	-----	1.5 a 2 %
Micro elementos				-----	-----	0.3 – 1.8 %	-----	>1%	1.5 – 2 %
				-----	-----	-----	-----	-----	1 – 1.5 %
Tamaño de partículas	90.63 ≤ a 0.5mm	89.87 ≤ a 0.5mm	85.72 ≤ a 0.5mm	≤ a 16 mm	≤ a 16 mm	-----	Granulado fino	-----	-----
Color	Marrón	Marrón oscuro	Marrón oscuro	-----	-----	-----	-----	-----	Marrón oscuro – negro ceniza
Olor	Agradable	Agradable	Agradable						Sin olor desagradable

Fuente. Elaboración propia



## V. CONCLUSIONES

El tiempo de descomposición para el tratamiento 2 es con 59 días en comparación con otras mezclas, mientras para el tratamiento 3 se obtuvo en 75 días; y el tratamiento 1 con 61 días. Respecto a la granulometría el T1 es la que presentó una mejor descomposición con 90.63% seguidamente los tratamientos 2 y 3 con 89.87% y 83.72% respectivamente.

Referente a la temperatura y pH durante el proceso de compostaje se demostró, que el tratamiento 2 es superior con 27.63 °C y con respecto al pH es ligeramente alcalina con 7.70 a los tratamientos 1 y 3 con 25.58 °C y 25.78°C con respecto al pH con 7.05 y 7.60 además la variación de este parámetro ha demostrado que en todos los tratamientos se ha logrado alcanzar la fase mesófila I, mesófila II y maduración ( $> 25$  °C), siendo estadísticamente diferentes entre tratamientos para el pH ( $P < 0.05$ ).

De acuerdo a la calidad del compost los tres tratamientos cumplen con las normativas establecidas en cuanto a materia orgánica, contenido de nitrógeno y fosforo a excepción del contenido de potasio con diferencia estadística entre sí ( $P < 0.05$ ).



## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar repeticiones de los tratamientos que se han llevado a cabo, con la finalidad determinar la formulación de un tratamiento seleccionado.

Realizar el análisis físico-química de los sustratos utilizados a compostar para así determinar las proporciones de cada material que conformará la pila de compostaje.

Realizar y emplear las aplicaciones del compost producido a partir de residuos orgánicos domésticos y estiércol de ovino con la aplicación de microorganismos eficaces (EM) para enriquecer los sustratos a prepararse en viveros como cultivos de hortalizas, con el fin evaluar la producción y productividad de los mismos versus un testigo.

Recuperar y valorizar los residuos de origen agrícola, residuos de origen animal y residuos orgánicos domésticos en sistemas controlados que reduzcan los efectos ambientales.



## VII. REFERENCIAS

- Alcazar, F. (2004). Norma de calidad del compost. Santiago, Chile. Normativa chilena Oficial . Chile: Instituto nacional de normalización.
- Aquino, V. (2017). Evaluación de la dosis óptima de microorganismos eficaces en el proceso de compostaje de residuos orgánicos domiciliarios generados en la zona urbana de concepción, provincia de Concepción – Juní. Huancayo - Peru : Universidad Alas Peruanas .
- Ansorena, J., Batalla, E., & Merino, D. (2014). Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos. Obtenido de [http://www.fraisoro.net/FraisoroAtariaDoku/Evaluacion de la calidad y usos.pdf](http://www.fraisoro.net/FraisoroAtariaDoku/Evaluacion%20de%20la%20calidad%20y%20usos.pdf).
- Apaza, E. (2013). Compostaje y biodigestion con subproductos de camal en Puno Perú de la Universidad Nacional del Altiplano.
- APROLAB (2007). Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú. Lima - Perú.
- Avendaño, R. (2003). El Proceso de Compostaje. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica.
- Azurduy, S., Azero, M., & Ortuño, N. (2016). Evaluación de Activadores Naturales para Acelerar el Proceso de Compostaje de Residuos Orgánicos en el Municipio de Quillacollo. Universidad Católica Boliviana, 7(4), 369-388.
- Bejarano, E. & Delgadillo, S. (2007). Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogota “La Modelo” por medio de la utilización de Microorgan.
- Barrena, R. (2006). Compostaje de residuos solidos organicos. Aplicacion de tecnicas respirometricas en el seguimiento del proceso . España: Universidad Autonoma de Barcelona .
- Bioagro S.R.L. (2011). Empresa de Elaboración de Humus y Compost. Establecimiento: Ciudad del Plata. Ruta 1 Km. 30.500. San José. Oficina central: Br. Gral Artigas 1919/203. Montevideo - Uruguay.
- Cabrera , J. (2012). Comparativo de tres Biodegradantes en la elaboracion de compost en Santa Ana - la Convencion . Cusco : Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco



- Cabrera, J. (2012). Comparativo de tres biodegradantes en la elaboracion de compost en Santa Ana la Convencion, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Castillo, C. (1996). Elaboración de compost a partir de residuos orgánicos urbanos. Bogota Acodal: Asociacion Regional de Recicladores.
- Cespedes, M. (2005). Agricultura Orgánica - Principios y Prácticas de Produccion. Chillan, Chile: Boletin INIA - N°131, Instituto de Investigadores Agropecuarias, Ministerio de Agricultura - INIA, Fundacion para la Innovacion Agraria.
- Cochachi, E. (2008). Determinacion del efecto de la relacion C/N y la humedad en la calidad de compost obtenido a partir del tratamiento de residuos organicos del Distrito de San Pedro Saño mediante el proceso de degradacion aerobia a nivel laboratorio. Huancayo - Peru: Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Cordova, E. (2007). Evaluación de parámetros físicos y biológicos para el compostaje de los lodos residuales de la insdustria del papel. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Coronado, M. (1998). Manual de prevencion y minimizacion de la contaminacion industrial
- Correa, M. (2008). Microorganismos eficaces (EM). Obtenido de <http://www.autosuficiencia.comar/shop/detallenot.asp>
- Cajahuanca, S. (2016). Optimización del manejo de residuos organicos por medio de la utilizacion de microorganismos eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus* sp., *Lactobacillus* sp.) en el procesos de compostaje en la central hidroelectrica Chaglla, 166. Retrieved from [http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/58/TESIS\\_SARA\\_CAJAHUANCA\\_FIGUEROA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/58/TESIS_SARA_CAJAHUANCA_FIGUEROA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Chauca, V. (2014). Proceso de producción y aplicación del producto microorganismos eficaces sobre la calidad de compost de residuos orgánicos de mercados de Sapallanga-Huancayo. m,Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- De la Maza , V. (2001). Estudio de factibilidad tecnico - economico para una planta de compost a gran escala . Chile : Memoria de ingeniero Civil Industrial, Universidad de Chile .
- Del carmen , C. (2002). Acondicionamiento de biosolidos mediante compostaje . Chile : Memoria de ingeniero civil. Universidad de Chile .
- Fleming , R., & Macalpine , M. (2005). "Composting Blood (Slaughterhouse Waste)



- Mixed With Various Substrates"- . Final Report - Ridgertown College University of Guelph Ridgertown.
- Galante, E., & Garcia , M. (1997). Detritívoros, Coprófagos y necrófagos. . España: Departamento de Ciencias Ambientales Y Recursos Universidad de Alicante .
- Gallardo, K. (2013). Obtencion de compost a partir de residuos organicos impermeabilizados con geomembrana. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Garcia , X. (2017). Tratamiento de los residuos sólidos generados en sanitarios ecologicos mediante el uso de microorganismos eficientes en un proceso de compostaje . Lima : Universidad Nacional Agraria la Molina .
- Gordillo, F., & Chavez., E. (2010). Evaluación comparativa de la calidad de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Ecuador : Centro de Investigaciones Biotecnologicas del Ecuador .
- Guerrero, J., & Monsalve, J. (2006). El Compostaje como una estrategia de produccion mas limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda. Scientia et technica Año XII(Num. 32).
- Hernandez, A., Lopez, R., Rodriguez, A., & Barrios, J. (2004). Temperatura pH y conductividad electrica en el compostaje de estiercoles . Mexico : Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro .
- Jaramillo, et al. (2012). Optimization of the decomposition processes for organic solid waste. Colombia, Antioquia.: Journal of Engineering and Technology.
- Londoño, M. (2003). Comparación de biocompostaje de estiércol vacuno usando tratamiento de lombricultura tradicional, lombricultura con el uso de microorganismos eficaces (EM) y el uso de Microorganismos eficaces (EM). Tesis de grado Universidad de la Sabana.
- Labrador, J. (2002). La materia organica en los agroecosistemas (Segunda edicion ed.). España: Mundi - Prensa Libros, S.A.
- Melendez , A. (2004). Evaluacion del efecto de microorganismos efectivos (EM), en diferentes diluciones y frecuencias de volteo sobre la descomposicion de la pulpa de cafe. San Miguel Dueñas Sacatepequez . Guatemala: Universidad San Carlos .
- Melendez, G., & Soto, G. (2003). Taller de Abonos Orgánicos Proyecto NOS del CATIE/GTZ, el centro de investigaciones Agronomicas . Costa Rica: Universidad de Costa Rica .
- Moreno, J. (2008). Compostaje: Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje.



- Madrid: Ediciones Mundi-Empresa.
- Mamani, E. (2011). *Materia Organica y produccion de abonos organicos para la agricultura ecologica*: Universidad Nacional del Altiplano - Puno. Primera edicion.
- Navarro , R. (2002). *Manual para Hacer Composta Aeróbica*. CESTA amigos de la tierra. El salvador .
- Navarro, R. (2006). *CESTA - Amigos de la tierra manual para hacer composta aerobica*. Obtenido de <http://www.cesta-foe.org/recursos/guias.html>
- Núñez, A. (1992). *Fertilización química y orgánica en dos especies en condiciones de invernadero*. . Ambato : Universidad Tecnica de Ambato .
- Naranjo, E. (2003). *Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost*. Tesis de Grado. Universidad Técnica de Ambato.
- Orosco, V., & Soria, M. (2008). *Biorremediación de Vegetación contaminada con petroleo por derrames en el campamento Guarumo - Petroproduccion* . Riobamba - Ecuador : Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- Palencia, E., & Gildardo. (2002). *Abono organico manejo y uso en el cultivo de cacao*. Corpoica - Turiman - Colombia : Edit. D Vinni.
- Porras, S. (2011). *Prtoduccion de compost a partir de residuos solidos de una planta de celula*. Santiago - Chile : Universidad de Chile .
- Puma, L. (2008). "Respuesta de la Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*) a la incorporacion de estiercol de lombriz y compost en Cabana - Puno. Puno - Peru : Universidad Nacional del Altiplano .
- Puerta, M. (2004). *Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos*. Revista Lasallista de Investigación. Corporación Universitaria Lasallista Colombia, Vol.1(Num.1), 56–65.
- Quipuzco, L., Baldeon, W., & Tang Cruz, O. (2010). *Evaluacion de la calidad de biogas y biol a partir de dos mezclas de estiercol de vaca en biodigestores tubulares de PVC*. Departamento de Ingeniería Ambiental, Física Y Meteorología de La Facultad de Ciencias de La Universidad Nacional Agraria La Molina., 1–8.
- Rivera, J. (2011). *Evaluación de microorganismos eficaces en procesos de compostaje de residuos de maleza*. Tesis de Grado. Universidad Cesar Vallejo. Recuperado el 25 de Febrero de 2015 <http://es.slideshare.net/JESUS5758/evaluacion-de-microorganismos-eficaces-en-procesos-de-compostaje-de-residuos-de-maleza-39050330> residuos-de-maleza-39050330
- Restrepo, J. & Rodríguez, J. (2002). *El suelo, la vida y los abonos orgánicos*, editorial



- enlace, Managua, Nicaragua. 84 pp.
- Rojas, F. & Zeledon, E. (2005). Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características física, química y biológica del compost. Hacienda las Mercedes, Managua. Universidad Nacional Agraria Facultad de Agronomía.
- Rodriguez, F. (1982). Fertilizantes- Nutrición Vegetal. Edit. A.G.T S.A. Edit. Trillas. México.
- Rosal, A., Perez, J., Arcos, M., & Dios, M. (2007). La incidencia de metales pesados en compost de residuos solidos urbanos y en su uso agronomico en España. *Informacion Tecnologica*, Vol. 18(6), 75 - 82.
- Soriano, A. (2016). Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces - Concepción. Tesis de grado de la Universidad Nacional del Centro del Perú - Huancayo.
- Suaña, M. (2013). Compostaje de residuos orgánicos y de lenteja de agua (*lemna sp.*) con aplicación microorganismos eficaces de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Salazar, E. (2003). Abonos organicos y platicultura . Mexico: Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED. Sociedad de la Ciencia del Suelo COCyTED.
- Sanclemente, O., & Garcia, M. (2011). Efecto del uso de melaza y microorganismos eficientes sobre la tasa de descomposición de la hoja de caña (*Saccharum officinarum*). *Investigación Agraria y Ambiental*. RIAA 2.
- Soliva , M., & Lopez, M. (2004). Calidad de compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Barcelona: Escola Superior de la Agricultura de Barcelona. UPC.
- Sztern, D., & Pravia , M. (1999). Manual para elaboracion de compost - Bases Conceptuales y Procedimientos . Organizacion Panamericana de la Salud y Organizacion Mundial de la Salud.
- Sztern, D., & Pravia. (2009). Manual para la elaboracion de compost. Bases conceptuales y procedimientos . Uruguay: Oficina de planeamiento y presupuesto, Unidad de desarrollo Municipal, Presidencia de la Republica .
- Sztern, D., & Pravia, M. (1999). Manual para elaboración de compost - bases conceptuales y procedimientos. Organizacion Panamericana de la Salud y Organizacion Mundial de la Salud.
- Thivierge, C. & Seito, M. (2005). Nuevas Tecnologías de vivero en Nicaragua, bandejas y sustratos mejorados-compost. Primera edición. Managua, Nicaragua. pp 23-43.



- Tuomela et al. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technoloev*, 72(2), pp 169-183.
- Unocc, F. (2015). Proceso de producción y aplicación del producto microorganismos eficaces sobre la calidad de compost de residuos orgánicos de camal Sapallanga-Huancayo. Tesis de grado Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Uribe, L. (2003). Taller de abonos Orgánicos/CATIE. San José, Costa Rica., pp 10.
- Uicab-Brito, L., & Sandoval, C. (2003). Uso del contenido de ruminal y algunos residuos de la industria carnica en la elaboracion de composta. *Tropical and Subtropical Agro Ecosystems*, Vol. 2 (Num. 2 ).
- Vasquez De Diaz , M., Prada, P., & Mondragon , M. (2010). Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del cafe con la aplicacion de microorganismos nativos . Colombia : Universidad de Santander - UDES, Campus Universitario Lagos del Cacique, Bucaramanga, Colombia .
- Vicencio , G., Perez , E., Medina , E., & Martinez , A. (2011). Producción de composta y vericomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro. *Rev. Int Contam Ambie.*, 23(3), 263 - 270.
- Victoria, V. (2018). Evaluación agronómica del uso de compost de origen agroindustrial para agricultura urbana. Cartagena : Universidad Politecnica de Cartagena .
- Zandvliet, J. (2009). "Proyecto Integral de la Gestión Ambiental de los Residuos Solidos de Desaguadero . Bolivia - Peru : Proyecto Piloto de Compostaje New York .

## ANEXO 1

### Panel fotográfico



**Figura 29.** EM, COMPOST LA1PE123-209



**Figura 30.** Activación del EM, melaza y agua libre de cloro.



Estiércol de ovino

Residuos orgánicos

**Figura 31.** Tratamiento 2



Tallos de cañihua

Estiércol de ovino

Residuos orgánicos

**Figura 32.** Tratamiento 3



**Figura 33.** Obtención de compost (A) T1 a los 53 días (B) T2 a los 49 días y (C) T3 a los 65 días



**Figura 34.** Compost maduro



**Figura 35.** Obtención de muestras de compost para el análisis.



**Figura 36.** Tamizado de las muestras



**Figura 37.** Muestras a ser analizadas



**Figura 38.** Pesado de muestras para el tamizado



**Figura 39.** Medición de parámetros (F) pH y (G) conductividad eléctrica



## ANEXO 2

Tablas de Temperatura y pH obtenidas de cada tratamiento

**Tabla 16.** Promedio de temperatura y pH para el Tratamiento 1 (T1).

Días	Temperatura	pH
Día 0	23.67	7.10
Día 1	25.23	6.97
Día 3	28.73	6.67
Día 6	28.93	6.33
Día 9	29.17	6.10
Día 12	29.60	5.60
Día 15	28.77	5.47
Día 18	29.87	5.67
Día 21	30.03	6.87
Día 24	27.93	7.10
Día 27	27.03	7.23
Día 30	26.73	7.37
Día 33	26.13	7.50
Día 36	24.83	7.53
Día 39	24.97	7.37
Día 42	21.67	7.30
Día 45	22.01	7.37
Día 48	21.20	7.40
Día 51	22.17	7.50
Día 54	22.97	7.60
Día 57	22.60	7.83
Día 59	21.53	8.07
Día 61	22.51	8.17

**Tabla 17.** Promedio de temperatura y pH para el Tratamiento 2 (T2)

Días	Temperatura	pH
Día 0	24.80	7.27
Día 1	26.87	7.23
Día 3	28.73	7.03
Día 6	29.63	6.87
Día 9	30.17	6.67
Día 12	31.27	6.50
Día 15	33.10	6.37
Día 18	32.53	6.43
Día 21	32.50	6.93
Día 24	29.90	7.53
Día 27	29.67	7.67
Día 30	28.90	7.90
Día 33	27.40	8.03



Día 36	25.13	8.43
Día 39	26.97	8.40
Día 42	24.93	8.53
Día 45	24.67	8.53
Día 48	23.77	8.57
Día 51	23.83	8.67
Día 54	24.00	8.60
Día 57	24.17	8.60
Día 59	24.83	8.67

**Tabla 18.** Promedio de temperatura y pH para el Tratamiento 3 (T3).

<b>Días</b>	<b>Temperatura</b>	<b>pH</b>
Día 0	23.80	7.33
Día 1	25.43	7.23
Día 3	29.40	7.10
Día 6	28.43	6.80
Día 9	29.13	6.60
Día 12	29.47	6.57
Día 15	29.77	6.53
Día 18	29.87	6.60
Día 21	30.53	6.90
Día 24	29.03	7.43
Día 27	28.77	7.27
Día 30	26.77	7.40
Día 33	26.87	7.50
Día 36	25.60	7.53
Día 39	25.77	7.70
Día 42	23.27	7.70
Día 45	24.67	7.77
Día 48	23.83	8.03
Día 51	23.80	8.17
Día 54	24.23	8.03
Día 57	23.30	8.17
Día 60	23.33	8.30
Día 63	22.97	8.30
Día 66	22.03	8.37
Día 69	21.33	8.30
Día 72	22.50	8.33
Día 75	22.23	8.33



**Tabla 19.** Variaciones de la calidad del compost

<b>Tratamientos</b>	<b>M.O (%)</b>	<b>N - total (%)</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</b>	<b>K<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</b>
T1R1	25.92	0.69	0.60	0.10
T1R2	24.70	0.90	0.65	0.15
T1R3	22.75	0.67	0.62	0.06
T2R1	34.96	2.84	0.85	0.45
T2R2	37.71	2.60	0.80	0.41
T2R3	28.72	2.78	0.96	0.44
T3R1	29.64	2.83	0.80	0.56
T3R2	28.57	2.98	0.82	0.62
T3R3	28.24	2.75	0.80	0.59

**Fuente:** Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes. Facultad de Ciencias Agrarias.  
Universidad Nacional del Altiplano



## ANEXO 3



### CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE LABORATORISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS DE AGUAS Y SUELOS DE LA UNA - PUNO.

**HACE CONSTAR:**

Que el bachiller, KATIA PILLCO MAMANI egresada de la escuela profesional de Biología de la Universidad Nacional del Altiplano, ha realizado los análisis Físicos - Químicos "EVALUACION DEL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGANICOS, APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES".

Se emite la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que se estime por conveniente.

Puno, 22 de abril del 2019.