

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



Efecto de microorganismos eficientes comerciales y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora en el proceso de compostaje. Ayacucho. 2020.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGA, EN LA ESPECIALIDAD DE ECOLOGÍA Y
RECURSOS NATURALES**

**Presentado por la:
Bach. Lucero Geraldine Aguilar López**

**Ayacucho – Perú
2021**


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. Lucero Geraldine AGUILAR LÓPEZ
R.D.N° 063-2021-UNSCH-FCB-D

A los tres días del mes de agosto del año dos mil veintiuno, siendo las tres de la tarde, se reunieron a través de la plataforma virtual Google Meet, los docentes miembros del jurado calificador conformado por: Dr. Saúl Alonso CHUCHÓN MARTÍNEZ (presidente); Dr. Saturnino Martin TENORIO BAUTISTA (miembro jurado); Mg. Walter Wilfredo OCHOA YUPANQUI (miembro asesor), Mg. Rilder Nemesio GASTELÚ QUISPE (miembro 4to jurado), actuando como secretaria docente la Mg. Nilda Aurea APAYCO ESPINOZA, para recepcionar la sustentación de tesis titulada: **“Efecto de microorganismos eficientes comerciales y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora en el proceso de compostaje. Ayacucho. 2020”**, presentada por la **Bach. Lucero Geraldine AGUILAR LÓPEZ**; previa verificación de la documentación exigida, el presidente autorizó el inicio del acto académico precisando que el sustentante dispone de cuarenta y cinco minutos, conforme lo establece el reglamento de grados y títulos de la Facultad de Ciencias Biológicas. Finalizada la sustentación, el presidente invitó a los miembros del jurado a participar con observaciones, aclaraciones y preguntas relacionadas al tema; el asesor se comprometió cumplir con las correcciones y sugerencias realizadas. Concluida esta etapa, el presidente invitó al sustentante y a los asistentes abandonar la sala virtual a fin de proceder a la deliberación y calificación correspondiente.


Seguidamente procedieron a la calificación, alcanzando los siguientes resultados:

MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR	Exposición	Respuesta a preguntas	Promedio
Dr. Saúl Alonso CHUCHÓN MARTÍNEZ (Presidente)	17	16	17
Dr. Saturnino Martin TENORIO BAUTISTA (Miembro - Jurado)	17	17	17
Mg. Walter Wilfredo OCHOA YUPANQUI (Miembro - Asesor)	18	17	18
Mg. Rilder Nemesio GASTELU QUISPE (Miembro 4 ^{to} jurado)	16	16	16
		PROMEDIO	17


La sustentante alcanzó el promedio de 17 (diecisiete) aprobatorio. Acto seguido, el presidente invitó a la sustentante y al público reingresar a la sala virtual para dar a conocer el resultado de la evaluación; finalizando el presente acto académico siendo las seis y cinco minutos de la noche, firmando al pie del presente en señal de conformidad.



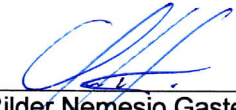
Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez
(Presidente)



Dr. Saturnino Martin Tenorio Bautista
(Miembro – Jurado)



Mg. Walter Wilfredo Ochoa Yupanqui
(Miembro – Asesor)



Mg. Rilder Nemesio Gastelú Quispe
(Miembro – 4^{to} Jurado)



Mg. Nilda Aurea Apayco Espinoza
(Secretaria – Docente)



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

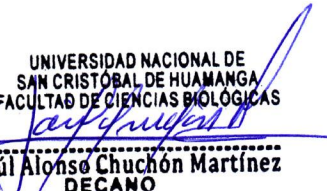
DECANATURA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS N° 029-
2021-FCB-D

Yo, SAÚL ALONSO CHUCHÓN MARTÍNEZ, Decano de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **“Efecto de microorganismos eficientes comerciales y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora en el proceso de compostaje. Ayacucho. 2020”**, presentado por la Bach. LUCERO GERALDINE AGUILAR LÓPEZ; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 6%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-C.

En tal sentido, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 06 de octubre del 2021.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez
DECANO

Efecto de microorganismos eficientes comerciales y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora en el proceso de compostaje. Ayacucho. 2020

por Lucero Geraldine Aguilar López

Fecha de entrega: 04-oct-2021 10:24a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1665017219

Nombre del archivo: 1A_AGUILAR_LOPEZ_LUCERO_PREGRADO_2021_TURNITIN.docx (350.63K)

Total de palabras: 11197

Total de caracteres: 60696

Efecto de microorganismos eficientes comerciales y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora en el proceso de compostaje. Ayacucho. 2020

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.municieneguilla.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9

docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

10

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

11

biblioteca.uci.ac.cr

Fuente de Internet

<1 %

12

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

13

doczz.net

Fuente de Internet

<1 %

14

scielo.sld.cu

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por acogerme y brindarme una formación profesional.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Biología, que contribuyeron en mi formación durante la etapa universitaria.

Al Blgo. Walter Ochoa, asesor del presente trabajo de investigación, por su apoyo para el desarrollo del mismo.

A los doctores Saúl Chuchón y Martín Tenorio por sus aportes.

A Diego, amigos, familiares y demás personas, quienes amablemente me apoyaron durante la realización de este trabajo de distintas maneras.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Antecedentes internacionales	3
2.1.2. Antecedentes nacionales	5
2.2. Marco conceptual	6
2.3. Bases teóricas	7
2.3.1. Compostaje	7
2.3.2. Compost	12
2.3.3. Calidad del compost	13
2.3.4. Microorganismos en el proceso de compostaje	16
2.3.5. Microorganismos eficientes (comercial)	18
2.3.6. Microorganismos en la chicha de jora	19
2.4. Marco Legal	20
III. MATERIALES Y METODOS	21
3.1. Lugar de ejecución	21
3.3.1. Ubicación política	21
3.3.2. Ubicación geográfica	21
3.2. Población y muestra	21
3.2.1. Población	21
3.2.2. Muestra	21
3.3. Unidad experimental	21
3.4. Diseño experimental	22
3.5. Metodología y recolección de datos	22
3.5.1. Construcción e instalación de composteras en el área experimental	22
3.5.2. Manejo de inóculos	22

3.5.3. Cálculo de la relación C/N	23
3.5.4. Recolección de residuos sólidos orgánicos	23
3.5.5. Preparación e incorporación de residuos orgánicos	23
3.5.6. Control de humedad y aireación	24
3.5.7. Evaluación del proceso de compostaje	24
3.5.8. Rendimiento del compost	24
3.5.9. Análisis fisicoquímico del compost	25
3.5.10. Bioensayo de fitotoxicidad en <i>L. sativa</i> var. Espirando	25
3.6. Análisis estadístico	25
IV. RESULTADOS	27
V. DISCUSIÓN	37
VI. CONCLUSIONES	43
VII. RECOMENDACIONES	45
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos establecidos en la NCh 2880 ¹ y la NMX-AA-180-SCFI-2018.	14
Tabla 2. Relación C/N inicial por componente y de la mezcla inicial.	23
Tabla 3. Frecuencia de riegos y volteos de residuos.	24
Tabla 4. Métodos empleados en el análisis de muestras de compost.	25
Tabla 5. Parámetros generales y materia orgánica de compost obtenido al aplicar EM y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distribución de composteras en el área experimental.	22
Figura 2. Orden de incorporación de residuos en cada compostera.	24
Figura 3. Variación de la temperatura durante el proceso de compostaje bajo el efecto de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	29
Figura 4. Variación del pH durante el proceso de compostaje bajo el efecto de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	30
Figura 5. Variación de humedad relativa durante el proceso de compostaje, con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	31
Figura 6. Tiempo de descomposición de residuos orgánicos, con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	32
Figura 7. Rendimiento de compost obtenido con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	33
Figura 8. Índice de germinación (%) de semillas de <i>Lactuca sativa</i> var. espirando con el extracto acuoso de compost obtenido con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	35

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Registro de temperaturas (°C) obtenidas en las composteras con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	53
Anexo 2. Registro de pH obtenidos en las composteras con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	54
Anexo 3. Tiempo de obtención de compost (días) con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	55
Anexo 4. Rendimiento del compost obtenido con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	56
Anexo 5. Registro de la longitud de la radícula del ensayo de fitotoxicidad con el compost obtenido con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	57
Anexo 6. Informe del análisis de laboratorio elaborado por la Universidad Nacional Agraria la Molina del compost obtenido con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.	58
Anexo 7. Análisis estadístico de valores de temperatura.	59
Anexo 8. Análisis estadístico del tiempo de descomposición.	60
Anexo 9. Análisis estadístico de datos de rendimiento.	61
Anexo 10. Análisis estadístico de datos del bioensayo de fitotoxicidad.	62
Anexo 11. Panel fotográfico.	63
Anexo 12. Matriz de consistencia.	69

RESUMEN

Se evaluó la aplicación de inóculos microbianos en el compostaje a pequeña escala de residuos orgánicos domiciliarios, hojas secas y aserrín en el distrito Ayacucho. Los tratamientos fueron microorganismos eficientes (EM) comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, y un testigo (sin inóculo), cada uno con tres réplicas. Durante las doce semanas que duró el proceso, se monitorearon temperatura, pH y humedad, entre los cuales no se determinaron diferencias estadísticamente significativas. Al finalizar el proceso, se realizaron análisis fisicoquímicos de los compost obtenidos, cuyos resultados muestran que la relación C/N, pH, humedad, conductividad eléctrica y materia orgánica fueron semejantes; mientras que, el contenido de nutrientes fue ligeramente favorable con la aplicación de jora; sin embargo, tomando como referencia la norma mexicana², todos serían considerados como mejoradores de suelo (NPK < 7%). Asimismo, el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y relación C/N de todos los compost obtenidos se encontraron en la clase A y tipo I según la norma chilena¹ y la norma mexicana² respectivamente. Finalmente, se determinó el grado de fitotoxicidad en la germinación de semillas de *Lactuca sativa* var. espirando, a través del índice de germinación, encontrando diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento jora (66,3%) y EM (43,9%), mediante la prueba de Dunnet ($p < 0,05$).

Palabras clave: compostaje, chicha de jora, microorganismos nativos, residuos orgánicos, microorganismos eficientes

I. INTRODUCCIÓN

En Perú se generan a diario grandes cantidades de residuos sólidos, de los cuales el 70 % podrían ser aprovechados; sin embargo, casi en su totalidad, acaban siendo dispuestos en rellenos sanitarios o botaderos, reciclándose solo el 1%. La brecha de estas cifras viene a ser uno de los puntos centrales de la problemática de residuos sólidos³.

En la provincia de Huamanga la situación es similar, el 2019 se generaron en promedio 77,283 t en todo el año o 211,74 t por día⁴, razón por la cual el relleno sanitario de Uchuypampa, inaugurado el 2017 con una proyección de diez años de vida útil, actualmente se encuentra colapsando.

Valorizar los residuos orgánicos, que corresponden al 54% del total de residuos que se generan y pueden ser aprovechados³, conllevaría en gran medida a reducir la generación de gases de efecto invernadero a 2 o 3 kg de CO₂ por tonelada por día y la formación de lixiviados contaminantes de agua y suelo⁵, además de los múltiples beneficios que involucra retornar la materia orgánica en los suelos⁶.

El compostaje es una de las formas de valorizar los residuos orgánicos, dentro de esta técnica, el autocompostaje o compostaje a pequeña escala es una herramienta que descentraliza el manejo de la fracción orgánica, ya que permite reaprovechar residuos orgánicos domésticos en el mismo lugar de generación en espacios reducidos y con ello se reduce el impacto ambiental y los costes de traslado⁷; sin embargo, son pocos los programas que incorporan esta técnica a pequeña escala⁸. Pese a ello, el compostaje continúa tomando mayor importancia en muchos países como estrategia para que la ciudadanía sea responsable del tratamiento de los residuos orgánicos a corto, mediano y largo plazo⁹.

Siguiendo este panorama, la Defensoría del Pueblo¹⁰ ha recomendado a las municipalidades promover esta técnica en los hogares e instalaciones de

instituciones públicas y privadas, debido a su sencillez; por ello, es importante investigar más sobre el compostaje a pequeña escala y crear programas que aseguren la producción sostenible de compost de alta calidad a este nivel⁷.

En Ayacucho, el compostaje como tal, viene siendo adoptado recientemente en pocos hogares, debido a algunas dificultades concernientes al manejo durante el proceso y al tiempo de descomposición de los residuos. Con respecto a este último punto, en el mercado se encuentran disponibles productos que contiene diversos microorganismos eficientes capaces de acelerar dicho proceso; no obstante, existen microorganismos que se encuentran en la materia orgánica en descomposición, suelo, aire e incluso en distintos productos elaborados, a partir de los cuales pueden ser aislados y usados con el mismo fin. Uno de estos es la chicha de jora, que alberga un cultivo mixto de hongos y bacterias nativas responsables de la fermentación^{11,12}, por lo que podría ser un eficiente acelerador del proceso de compostaje¹³.

Por estas consideraciones, el objetivo general fue evaluar el efecto de microorganismos eficientes comerciales (EM-Compost) y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora en el proceso de compostaje en la ciudad de Ayacucho, planteando los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar la temperatura, el pH y la humedad relativa durante el proceso de compostaje empleando microorganismos eficientes comerciales (EM-Compost) y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora.
2. Comparar el tiempo de descomposición de residuos orgánicos empleando microorganismos eficientes comerciales (EM-Compost) y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora.
3. Determinar el rendimiento del compost producido empleando microorganismos eficientes comerciales (EM-Compost) y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora.
4. Determinar la calidad del compost producido empleando microorganismos eficientes comerciales (EM-Compost) y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora.
5. Determinar el grado de fitotoxicidad del compost producido empleando microorganismos eficientes comerciales (EM-Compost) y microorganismos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En Malasia, **Fan y col. (2018)** evaluaron el efecto de microorganismos eficientes comerciales (EM-1) en el compostaje de desperdicios de comida, salvado de arroz y hojas secas, para ello consideraron un tratamiento (con EM) y un testigo (sin EM) e iniciaron el proceso con 4 kg por contenedor. En ambos casos la tendencia que siguió la temperatura durante el proceso fue similar; sin embargo, al usar EM se alcanzaron temperaturas ligeramente superiores a 45 °C durante la fase termófila, durante 8 días, a comparación del testigo, que mantuvo temperaturas cercanas a 45 °C por tan solo 3 días. Con respecto a la fase oxidativa, esta tomó un mayor tiempo en el testigo (32 días), a comparación del tratamiento con EM (25 días); posterior a esta fase y después de un mes de maduración, se obtuvo compost con valores de pH cercanos a 7, conductividad eléctrica de aproximadamente 2 dS/m, relación C/N menores a 10 e índice de germinación de semillas de *Raphanus sativus* “rábano” mayores a 100%; en relación al contenido de fósforo (0,3-0,4%) y potasio (1,5%), no hubieron diferencias significativas, mientras que el contenido de nitrógeno en el compost con EM (3,5%) sí fue estadísticamente superior a comparación del control (2,0%). Estos resultados mostraron un efecto positivo con la aplicación de EM al mejorar el contenido de NPK (> 5%), además de reducir los olores emitidos durante el proceso¹⁴.

Por otro lado, en Brasil, **Vich (2017)** estudió el compostaje de desperdicios de comida y viruta, utilizando compostadores domésticos de 10 L. Se realizaron tres ensayos con diferentes mecanismos de incorporación de residuos: 1) incorporación semanal durante dos meses, 2) una única incorporación y haciendo uso del 100% de viruta que quedó del ensayo anterior, y 3) una única incorporación de residuos, usando el 50% de viruta del ensayo previo y 50% de

viruta nueva. El tiempo de descomposición fue de 63, 42 y 39 días en los ensayos 1, 2 y 3 respectivamente; las temperaturas alcanzadas en el segundo (46,2°C) y tercer ensayo (44,9°C) fueron mayores que las del primero (30,9°C); y, la reducción de la masa osciló entre 58% y 69%. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, el pH varió de 6,1 a 7,9, el nitrógeno de 1,0% a 1,8%, la relación C/N fue mayor de 25, la humedad fluctuó entre 50% y 60% y la materia orgánica final, de 83,9% a 87,9%, habiendo sido el valor inicial 92% en promedio. En conclusión, es posible usar viruta como estructurante en el compostaje a pequeña escala, pero deberían mejorarse algunos aspectos para alcanzar temperaturas termófilas que garanticen la higienización del producto⁸.

En Ecuador, **Aveiga y col. (2016)** estudió el uso de biopreparados en el compostaje de residuos orgánicos urbanos, en el que evaluaron el efecto de la aplicación de dos inóculos en el proceso de compostaje de residuos de alimentos y restos de podas de áreas verdes (170 kg) en cajones. Se consideraron los tratamientos EM comercial y microorganismos nativos (10^9 de *Bacillus cereus* y 10^5 de *Trichoderma longibraquiatum*) en dilución 5:1 (agua: inóculo). Durante 8 semanas, se monitorearon pH, humedad y temperatura. No se alcanzaron temperaturas mayores de 40°C, según los autores debido a la altura de los cajones, el pH (6,7 - 6,8) y humedad no variaron significativamente, así como el porcentaje de materia orgánica (23,1% - 33,6%) y la relación C/N (14,5 - 22,3). En cambio, el contenido de nitrógeno (1,42%) y rendimiento (64,32%) fueron significativamente favorables al aplicar microorganismos nativos, confirmando con ello la eficiencia de los inóculos en el proceso de compostaje¹⁵.

En España, **Cervantes (2014)** desarrolló un estudio con el objetivo de evaluar el efecto de microorganismos autóctonos y lombrices rojas californianas en el compostaje de residuos orgánicos de mercados y cafeterías en compostadores domésticos de 320L. Se emplearon dos testigos, uno con volteos y otro estático. Se realizaron cuatro aportes de los residuos mencionados en intervalos de dos semanas, y se incorporó corteza de pino triturada como estructurante en el último aporte, siendo 300 kg de materia incorporada en total. Durante trece semanas se controlaron la temperatura y humedad. Se observó un leve incremento en el tratamiento con microorganismos autóctonos en la etapa inicial, sin embargo, las temperaturas más altas registradas que fueron alrededor de 30 °C se alcanzaron en todos los tratamientos después de incorporar el

estructurante. La causa de estas bajas temperaturas, según el autor, fueron posiblemente la relación C/N inicial elevada, la falta de aireación o la ausencia de estructurante tardía. Las características del compost obtenido no difirieron entre tratamientos, la humedad osciló entre 35,12% y 39,14%, el pH fue ligeramente alcalino (8,10 - 8,67), la relación C/N varió de 5,67 a 8,90, la conductividad eléctrica entre 7 y 10 mS/cm; mientras que, los porcentajes de nutrientes fueron N, 1,07% - 2,13%; K₂O, 1,00%-1,30%; P₂O₅: 0,5% – 0,7%; Ca, 5,6% - 7,5% y Mg 2,5% – 2,8%. Por otro lado, el rendimiento total fue alrededor de 20% y el producto final (<16 mm), entre 10,2% y 15,5% con respecto a la masa inicial; asimismo, las variaciones de altura (altura final/altura inicial) oscilaron entre 0,26 y 0,34. En general, se concluye que los microorganismos autóctonos fueron efectivos, debido a que fueron favorables en varios de los parámetros medidos con respecto a su testigo¹⁶.

2.1.2. Antecedentes nacionales

El Arequipa, **Loayza (2020)** desarrolló un estudio con el objetivo de evaluar el efecto de tres tipos de aceleradores biológicos en el compostaje de residuos de vegetales y flores provenientes de mercados, restos de podas de parques y jardines y estiércol de vacuno mezclados en proporciones que aseguren una relación C/N inicial de 21,6, cada pila estuvo constituida por 520 kg. , considerando Los tratamientos fueron: T1, microorganismos eficientes (EM-compost), T2, bazofia de camal, T3, vísceras de pescado y T4, testigo. Los resultados mostraron que se alcanzaron temperaturas superiores a 55 °C durante dos semanas en promedio, siendo el tratamiento con vísceras de pescado el que alcanzó mayores temperaturas por un tiempo más prolongado, pero que demandó un mayor tiempo de estabilización. Este mismo tratamiento mostró los mayores contenidos de nitrógeno, potasio y fósforo debido al aporte nutritivo del acelerador. El pH se mantuvo entre 6,5 y 8,5 en promedio durante todo el proceso, habiendo alcanzado los valores más bajo, alrededor de 4, al séptimo día. Con relación al tiempo de descomposición, la incorporación de vísceras de pescado demandó más tiempo (123 días), debido al alto contenido de nitrógeno, mientras que otros tratamientos tomaron 94 días en promedio. Por otro lado, el rendimiento osciló entre 48,77% y 65,49%, siendo el menos eficiente el testigo; mientras que la relación C/N del compost final osciló entre 10,11, y 12,07 sin diferencias significativas entre tratamientos¹⁷.

En Puno, **Pillco (2020)** determinó el tiempo de descomposición, la temperatura y pH durante el proceso de compostaje, así como la calidad del compost (<1,5 mm) resultante aplicando microorganismos eficaces. Para ello, consideró tres tratamientos que variaron en porcentajes de residuos orgánicos domésticos, estiércol de ovino y tallos de cañihua en envases plásticos de 4L y aplicando en todas las unidades 200 ml de EM-compost. Los resultados evidenciaron que los residuos del tratamiento con mayor porcentaje de estiércol (50%) tomó menos días en descomponerse (52 días). Por otro lado, durante el proceso, los valores promedios de temperatura variaron de 25,58 °C a 27,63 °C, con valores más altos en el tratamiento con 50% de estiércol; y, el pH promedio osciló entre 7,05 y 7,70. En cuanto a la calidad del compost, comparados con la NCh-2880, OMS y EPA, NTC 5167 y Bioagro 2011, todos los tratamientos se encontraron dentro de los rangos recomendados con excepción del contenido fósforo que fue menor de 0,81% y potasio, menor de 0,59%¹⁸.

En Ayacucho, **De la Cruz (2018)**, en el estudio el efecto de diversas fuentes de microorganismos en el compostaje de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno. Evaluó el efecto de microorganismos comerciales, EM-1 (T1), microorganismos eficientes locales, extraídos de composteras permanentes (T2), levadura de pan con melaza (T3) y suero lácteo fermentado con melaza (T4), en una relación de 3L/m³ sobre 0,4m³ de materia inicial, al inicio y al primer volteo. Los tratamientos con microorganismos locales y suero lácteo mostraron un aumento acelerado de la temperatura, sin embargo, las temperaturas máximas oscilaron entre 49,4 °C y 50,1 °C, y fueron similares entre tratamientos, manteniendo además temperaturas mayores a 45°C por aproximadamente diez días. Los días de obtención del compost, a inicio de la fase de maduración, variaron entre 54 a 64 días, siendo el más efectivo el suero lácteo. En cuanto a las características químicas, el compost bajo efecto de las diferentes fuentes de microorganismos presentaron mayores valores de materia orgánica (37,92% - 40,8%), nitrógeno (1,57% - 1,65%) y e P₂O₅ (0,24% - 0,28%) respecto al testigo, pero menores en el caso de K₂O (2,63% - 2,78%), y CaO (2,39% - 2,49%)¹⁹.

2.2. Marco conceptual

• Microorganismos eficientes (EM)

Son un cultivo mixto de microorganismos benéficos presentes en ecosistemas naturales y fisiológicamente compatibles entre sí²⁰.

- **Microorganismos nativos benéficos**

Son microorganismos que se encuentran en distintos medios de forma natural, por ejemplo: composteras²¹, lombricomposteras²², áreas boscosas²³, restos vegetales en descomposición²⁴, bebidas fermentadas¹³, entre otros, los cuales son favorables en diversos procesos naturales. En algunos estudios reciben la denominación de microorganismos locales.

- **Inoculante**

Concentrado de microorganismos que, aplicado a la mezcla de residuos orgánicos, acelera el proceso de compostaje. Un compost inmaduro puede también funcionar como inoculante⁶.

- **Qoncho**

Borra. Es un concentrado granular que mantiene los fermentos activos para facilitar la preparación de la chicha de jora. Este se mantiene “vivo” mediante la constante adición de maíz triturado y hervido²⁵.

- **Compostaje**

Proceso biológico que ocurre en condiciones aeróbicas, con temperaturas adecuadas que aseguran la transformación higiénica de restos orgánicos en compost⁶.

- **Residuos orgánicos**

Se refiere a los residuos biodegradables o sujetos a descomposición²⁶.

- **Compost**

Producto final obtenido del proceso de compostaje. Es un material homogéneo y asimilable por las plantas⁶.

- **Rendimiento**

Referido a la conversión de la materia orgánica en compost, expresado en porcentaje²⁷.

- **Fitotoxicidad**

Grado de daño o inhibición en el crecimiento de las plantas por sustancias tóxicas. El compost inmaduro contiene compuestos químicos inestables como ácidos orgánicos, amonio y otros que resultan tóxicos para las semillas y plantas⁶.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Compostaje

Según el MINAM, el compostaje es el proceso biológico mediante el cual los microorganismos actúan sobre materia rápidamente biodegradable³; asimismo,

la Norma Chilena 2880¹ lo define como el proceso de transformación físico, químico y microbiológico de la materia orgánica en compost bajo condiciones aeróbicas; además, dicha norma destaca que el objetivo durante este proceso es mantener la actividad de comunidades microbianas aeróbicas a temperaturas mesófilas y termófilas con el fin de conseguir un producto final pasteurizado; es decir, libre de organismos patógenos, parásitos, así como de elementos germinativos como esporas y semillas, obteniendo finalmente un producto estable, maduro, de color marrón oscuro o negro y sin olores desagradables.

a) Compostaje a pequeña escala

A este nivel, es posible compostar en pilas o contenedores, los cuales deben estar protegidos de rayos solares intensos, para evitar pérdida excesiva de humedad, así como del viento y frío extremo, ya que podría reducir drásticamente la temperatura²⁸; asimismo, debe estar cubierta para evitar el ingreso de agua de lluvia⁹, que además ayudará a impedir el ingreso de animales no deseados. Con este mismo fin es que a nivel doméstico se evita la incorporación de lácteos, carnes, excrementos de animales carnívoros y excretas humanas, estos dos últimos también por cuestiones de higiene²⁸.

A escala pequeña, con el diseño adecuado del contenedor, es posible llevar a cabo un proceso de compostaje que alcance las temperaturas de sanitización (cercasas a 60°C) realizando aportes diarios, incluso en climas fríos⁹, por el contrario, un diseño incorrecto, como una baja altura podría imposibilitar alcanzar esas temperaturas¹⁵.

Otra variante en el compostaje doméstico está asociado al esquema de la incorporación de materia orgánica, respecto a ello, se conoce que con aportes de mayor volumen, la temperatura será más alta, motivo por el cual se prefiere el compostaje comunitario sobre el doméstico⁷.

b) Fases del proceso de compostaje

Durante el proceso de compostaje se distinguen tres fases con base en la variación de la temperatura, posteriormente se entra a una etapa de maduración⁶. Cabe señalar que el tipo de materia inicial y las condiciones brindadas a los microorganismos descomponedores, como disponibilidad de oxígeno, humedad y la relación C/N pueden ser determinantes para que el paso por dichas fases se lleve a cabo de manera adecuada⁷.

La **fase mesófila** abarca desde el inicio del proceso de compostaje a temperatura ambiente hasta que asciende hasta 40 °C²⁹, lo cual puede ocurrir en

algunos días e incluso horas⁶, la rapidez dependerá de la cantidad de material fácilmente degradable. Debido a la degradación de compuestos solubles como azúcares, en ácidos orgánicos, el medio se acidifica, llegando a pH de 4 a 4,5. Esta fase dura entre dos a ocho días⁶.

Cuando la temperatura supera los 40 °C, comienza la **fase termófila**, en la que ocurre un reemplazo de microorganismos mesófilos por otros termófilos, quienes se encargan de degradar compuestos más complejos como celulosa y lignina. En esta fase el medio se alcaliniza debido a la transformación de nitrógeno en amonio. Al superar los 60 °C, permanecen solamente bacterias esporígenas y actinobacterias capaces de descomponer ceras, hemicelulosas y otros compuestos complejos. Esta fase dura desde unos días hasta meses, dependiendo de las condiciones climáticas del lugar, la composición de los residuos iniciales, entre otros factores⁶.

Alcanzar altas temperaturas en esta fase por tiempos determinados es importante para la destrucción de bacterias patógenas, parásitos, esporas de hongos fitopatógenos y semillas presentes en los residuos de partida⁶. Sin embargo, a nivel doméstico es posible conseguir un compost libre de patógenos sin necesidad de alcanzar las temperaturas de saneamiento⁷, ya que los residuos orgánicos son separados desde un comienzo y algunos residuos contaminados son restringidos¹⁴, no obstante, para una mayor certeza de la higienización se podrían realizar algunas modificaciones que permitan alcanzar las temperaturas de higienización requeridas, de lo contrario, la extensión del periodo de compostaje puede favorecer la eliminación de microorganismos patógenos por acción natural⁸.

Posteriormente, hay un descenso de la actividad microbiana por el agotamiento de fuentes de carbono y nitrógeno y se retorna a una **fase mesófila II o de enfriamiento** cuando la temperatura disminuye por debajo de los 40 °C – 45 °C, retornando en ella organismos mesófilos, siendo algunos hongos visibles. Esta fase dura varias semanas en las que el pH irá descendiendo ligeramente⁶.

Finalmente, cuando pese a realizar volteos, la temperatura de la mezcla no se eleva, comienza una **fase de maduración** a temperatura ambiente, que involucra la formación de ácidos húmicos y fúlvicos, mediante reacciones secundarias de condensación y polimerización, así como la eliminación de metabolitos fitotóxicos como amonio, ácidos orgánicos volátiles, metales pesados y sales, asegurando así la obtención de un material estabilizado y con

baja o nula toxicidad⁶. Obviar esta fase, cuya duración es de uno a dos meses²⁹ o más, podrían perjudicar el desarrollo vegetal, entre otros problemas ambientales^{6,30}.

c) Factores que influyen el proceso de compostaje

Algunos factores son determinantes para el crecimiento y desarrollo de las poblaciones microbianas durante el proceso de compostaje:

Oxígeno: Indispensable para garantizar un proceso aeróbico, su demanda es mayor durante la fase termófila, debido a que en ella ocurre la mayor actividad microbiana⁶. La incorporación de un materia estructurante contribuye en una buena distribución de oxígeno, pero adicionalmente se recomienda mezclar el material cada dos o tres días²⁹; sin embargo, esta frecuencia puede variar dependiendo de la escala a la que se composte, por ejemplo, a nivel doméstico, se recurre a volteos diarios durante la fase termófila^{7,8}.

La aireación debe ser la adecuada, ya que un exceso podría generar el descenso de la temperatura y evaporación de agua en grandes cantidades, lo cual ralentizaría el proceso; por el contrario, la falta de aireación generaría un ambiente anaeróbico acompañado de malos olores por la presencia descomunal de ácido acético y ácido sulfhídrico⁶, lo que además conllevaría a un bajo rendimiento de compost²⁹.

Humedad: El rango óptimo es de 45% a 60%. Si la humedad desciende por debajo de ese rango, la actividad microbiana disminuye y la descomposición no culmina, dando como resultado un producto biológicamente inestable; por el contrario, si la humedad es muy alta, habría una falta de oxígeno en el medio⁶. Cabe mencionar que la adición de un estructurante ayuda a controlar la humedad.²⁹ A pequeña escala suele ser más frecuente la incorporación de agua para regular la humedad, debido a que el ambiente interior del contenedor puede verse afectado por las temperaturas externas, asimismo evitar superar el rango adecuado a nivel doméstico podría impedir la generación de lixiviados en absoluto⁷.

Temperatura: Las temperaturas bajas ralentizan el proceso de descomposición, de igual manera cuando en la fase termófila se superan los 70 °C se inhibe la actividad microbiana⁶. Por otro lado, se debe considera que a mayor cantidad de residuos se alcanzarán temperaturas más altas²⁹, asimismo, es importante cuidar que la reducción de la temperatura sea gradual, ya que esto asegurará una mayor degradación de los residuos⁶.

El tipo de compostaje también influye en la temperatura, es así que a escala industrial se registran temperaturas altas por tiempos prolongados, a diferencia del compostaje a escala doméstica, donde se puede observar un incremento veloz por un corto tiempo seguido de un descenso gradual; no obstante, el aporte de oxígeno mediante volteos frecuentes y el uso de estructurantes en el tamaño adecuado ayudarían a alcanzar temperaturas tan altas como a gran escala⁷.

pH: Dependerá del material inicial y variará a lo largo de todo el proceso, pasando de 4,5 a 8,5 aproximadamente. Al inicio, el pH tiende a ser ácido por la formación de ácidos orgánicos; durante la fase termófila, sube y el medio se alcaliniza, debido a la conversión del amonio en amoníaco; posteriormente, se estabiliza en valores cercanos a neutro⁶. Es importante controlar que los cambios sean graduales, ya que un cambio brusco de pH de ácido a alcalino puede indicar una descomposición inadecuada, la cual está asociada a olores nauseabundos¹⁴.

Relación Carbono/Nitrógeno (C/N): Varía en función de la composición del material inicial, debido a que cada tipo de materia orgánica se compone de una determinada cantidad de carbono y nitrógeno⁶. La relación ideal para iniciar el proceso oscila entre 25 a 30²⁹ e irá descendiendo hasta llegar a 15 en el producto final. Un exceso de carbono (C/N elevada), ralentiza el proceso; mientras que, un exceso de nitrógeno (C/N baja) genera pérdidas de este elemento en forma de amoníaco (NH₃)⁶, que pueden no ser significativa a comparación de la pérdida de CO₂¹⁷ pero genera malos olores. Por ello, es necesario estimar la relación C/N adecuada combinando material altamente nitrogenado como desechos de frutas, verduras, etc., con materiales con alto contenido de carbono como aserrín, hojas secas, entre otros²⁹, estos últimos cumplen un rol estructurante⁸. Esta relación C/N también influye en duración del proceso de descomposición e incluso podría ser más mucho más determinante que el uso de algunos inóculos²².

Teniendo en cuenta ciertos valores teóricos, la relación C/N puede ser calculada empleando la siguiente fórmula²⁹:

$$R = \frac{Q_1(C_1x(100 - M_1)) + Q_2(C_2x(100 - M_2)) + \dots + Q_n(C_nx(100 - M_n))}{Q_1(N_1x(100 - M_1)) + Q_2(N_2x(100 - M_2)) + \dots + Q_n(N_nx(100 - M_n))}$$

Dónde:

$$R = \text{Relación C/N de la mezcla de abono}$$

$Q_n = \text{Masa del material (peso húmedo)}$

$C_n = \text{Carbono (\%)} \text{ del material } n$

$N_n = \text{Nitrógeno (\%)} \text{ del material } n$

$M_n = \text{Contenido de humedad (\%)} \text{ de material } n$

2.3.2. Compost

El compost, según la Norma Chilena 2880, es el producto final del proceso de compostaje, constituido principalmente por materia orgánica estabilizada, cuyo origen es irreconocible¹. Este producto puede ser usado como abono de efectos a largo plazo, debido a que, la materia orgánica se encuentra mineralizada y los nutrientes son liberados lentamente de acuerdo a las necesidades de las plantas; como enmienda en los suelos; como cobertura diaria en los sitios de disposición final de residuos y para el control de fitopatógenos^{5,31}. Cabe mencionar que las aplicaciones dependerán de las características fisicoquímicas del producto³¹.

Por otro lado, los beneficios en el suelo son numerosos, ya que al incorporar compost en ellos, se retorna materia orgánica y con esta se mejora las propiedades físicas, como aumentar la capacidad de retención de humedad, reducir el riesgo de erosión, regular la temperatura edáfica; propiedades químicas, como aportar macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes y mejorar la capacidad de intercambio catiónico; y propiedades biológicas, ya que se incorporan microorganismos capaces de solubilizar nutrientes y degradar sustancias nocivas⁶.

Rendimiento

El rendimiento permite cuantificar la conversión de materia orgánica que se realizó durante el proceso de compostaje, ya que expresa la relación del peso final y peso inicial en porcentaje¹³.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100\%$$

En promedio, a partir de 100 kg de residuos orgánicos se obtendría un poco menos de la mitad (30-40 kg), perdiéndose el resto en forma de vapor de agua y dióxido de carbono²⁹; sin embargo, esto puede variar dependiendo de cuán riguroso sea el control de los factores que regulan el proceso de compostaje⁹, por ejemplo, una buena oxigenación de la mezcla no generará condiciones anaerobias, por ende, no habrán pérdidas de nutrientes, ni bajos rendimientos²⁹.

2.3.3. Calidad del compost

La calidad del compost no es un concepto absoluto, ya que es relativo a los usos de este. Por ello, Ansorena lo define como la capacidad de satisfacer las necesidades de las plantas, con mínimo impacto ambiental y sin riesgo para la salud³¹.

La calidad se determina a través de sus características físicas, químicas y biológicas, las cuales varían dependiendo del tipo de materias iniciales y la calidad del proceso de compostaje⁵, existiendo algunas diferencias entre el proceso industrial y el autocompostaje (domiciliario y comunitario)³¹.

Por lo general, la calidad del compost comercial suele ser superior a uno obtenido mediante autocompostaje³¹; sin embargo, debido a la falta de criterios específicos para compost a pequeña escala, se recurre a los estándares empleados para el compost comercial, a pesar de que el compost proveniente del autocompostaje, sea utilizado *in situ*, es decir, no se produce con fines comerciales³¹.

a) Normas

En diferentes países latinoamericanos, basados tanto en estándares de Estados Unidos (EPA) como de la Unión Europea (EU) y la OMS, se han desarrollado normativas para definir la calidad del compost³². En Perú existe la Norma Técnica Peruana NTP 311.557 que establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los que deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o enmiendas³³; sin embargo, esta no es una normativa específica de compost, así como la Norma Chilena NCh 2880¹ que establece la clasificación y requisitos de calidad del compost producido a partir de residuos orgánicos y de otros materiales orgánicos generados por la actividad humana. Esta norma diferencia dos clases, A y B, siendo la clase A un producto alto nivel que no presenta restricciones de uso; mientras que la clase B es un producto de nivel intermedio y puede presentar algunas restricciones de uso si su conductividad eléctrica es mayor de 3 dS/m. Del mismo modo, la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018² es específica para compost y establece tres tipos de compost de acuerdo a ciertos parámetros².

Las norma chilena y mexicana establecen especificaciones para la presencia de impurezas como vidrios, plásticos y piedras; concentración de metales pesados como arsénico, cobre, cromo, cadmio, etc.; especificaciones microbiológicas referidas a patógenos, entre otras; sin embargo, en el presente proyecto,

solamente se considerarán los parámetros fisicoquímicos, contenido de nutrientes y el grado de fitotoxicidad.

b) Parámetros fisicoquímicos

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos establecidos en la NCh 2880¹ y la NMX-AA-180-SCFI-2018.²

Parámetros	NMX-AA-180-SCFI-2018 ²			NCh 2880 ¹	
	I	II	III	A	B
Tamaño de partículas (mm)	≤10	10 - ≤30	10 - ≤30	≤ a 16	≤ a 16
pH	6,7-8,5	6,7-8,5	6,7-8,5	5,0 – 8,5	5.0 – 8,5
Conductividad eléctrica (dS/m)	0,5-≤4	4-≤8	8-≤12	< 3	≤ 8
Materia orgánica (%)	≥ 50	30-50	20-30	≥ 20	≥ 20
Relación C/N	15 - <20	20 ≤ 25	20 ≤ 25	≤ 25	≤ 30
Humedad (%)	25-35	25-35	35-45	30-45	30-45

Las especificaciones relacionadas al porcentaje de **humedad** son principalmente para facilitar el transporte y su comercialización, y en caso el compost obtenido se encuentre fuera de los rangos recomendados, esta podría ajustarse a ellos sin mayor esfuerzo^{17,32}. El pH tiene un rango más amplio en la norma mexicana, sin embargo, la norma peruana sugiere un rango aun mayor, de 4,0 a 9,0.

La conductividad eléctrica es de gran importancia agronómica³², el compostaje en sistema cerrados tiende a generar un compost con conductividad más elevada, ya que en ellos es menos probable la generación de lixiviados⁹. Por el contrario, cuando la mezcla es sometida a excesiva agua, suele lavar los minerales y tener una baja conductividad¹⁷.

En cuanto a la relación C/N, teniendo en cuenta los valores iniciales, la reducción de esta podría servir para monitorear la maduración del compost¹⁴. Por otro lado, el porcentaje de materia orgánica del producto final depende del grado de degradación durante el proceso, pero también del valor de los residuos de partida, por ello es importante tener de referencia el contenido inicial³².

c) Contenido de nutrientes

Con respecto al contenido de macronutrientes primarios (NPK), la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018 establece el mismo criterio para los tres tipos de compost (I, II y III): si se encuentran de 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma ≤ 7%, entonces se consideraría como un compost mejorador de suelos; mientras que, si exceden el 3% o la suma es mayor a 7%, será considerado como fertilizante orgánico². Estos valores pueden depender de la composición del material inicial y del manejo durante el proceso de compostaje³². En el caso

del nitrógeno, Barker, citado por Fan¹⁴, señala que si el contenido es menor a 1%, este elemento podría ser inmovilizado; por el contrario, si supera el 3%, podría tratarse de un compost inmaduro y amoniacal; por otro lado, respecto al fósforo soluble (P₂O₅) y potasio soluble (K₂O), Añaños, citado por Loayza¹⁷, recomienda los rangos de 0,30-3,50% y 0,50-1,80%.

d) Fitotoxicidad

Cuando el proceso de compostaje no ha terminado correctamente, aún hay alta concentración de amonio, que en condiciones de calor y humedad se transforma a amoniaco creando un medio tóxico para las plantas; acumulación de nitratos en la planta; reducción de oxígeno para el sistema radicular de las plantas debido a la continuación de la descomposición microbiana; y un bloqueo biológico del nitrógeno, a causa de que los microorganismos continúan agotando el nitrógeno del suelo, junto al carbono⁶. Cabe mencionar que, con el paso del tiempo, la fitotoxicidad tiene a bajar¹⁵.

La NCh-2880¹ establece el nivel de fitotoxicidad solo en función al porcentaje de germinación relativo en rabanito¹; sin embargo, el porcentaje de germinación no es un indicador tan sensible como el índice de germinación, que considera también la elongación de la raíz, bajo el fundamento de que un grado de fitotoxicidad moderado podría no ser capaz de impedir la germinación de la semilla, pero sí limitar el crecimiento de la radícula³⁰.

La norma mexicana considera el índice de germinación IG > 90%, 85% - 90% y 80% - 85% para los tipos I II y III respectivamente, pero no establece alguna especie para los ensayos². Respecto a ello, Vanero³⁰ determinó que *Raphanus sativus* "rabanito" fue levemente más sensible que *L. sativa* L. "lechuga"; pese a ello, esta última continúa siendo una de las más usadas ya que también es una especie sensible³⁴⁻³⁶.

El índice de germinación (IG) integra el porcentaje de germinación relativo (PGR) y el crecimiento relativo radicular (CRR), el cual fue propuesto por Tiquia, citado por Varnero³⁰:

$$PGR = \frac{N \text{ de semillas germinadas en el extracto}}{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

$$CRR = \frac{\text{Elongación de radículas en el extracto}}{\text{Elongación de radículas en el testigo}} \times 100$$

$$IG = \frac{PGR \times CRR}{100}$$

Zucconi (1981) citado por ³⁰ establece tres rangos para la interpretación del índice de germinación. Si el IG es menor a 50%, se debe a una alta fitotoxicidad; si se encuentra entre 50 y 80%, la fitotoxicidad es moderada; y si el índice es mayor o igual a 80%, hay una baja o nula fitotoxicidad.

2.3.4. Microorganismos en el proceso de compostaje

Los agentes responsables de la transformación de materia orgánica durante el proceso en el compostaje son microorganismos descomponedores, los cuales se encuentran de forma natural en la materia inicial, el agua, el aire y el suelo. Durante este proceso interviene una amplia diversidad de microorganismos mesófilos y termófilos, entre los que se encuentran principalmente bacterias, actinobacterias y hongos. A lo largo del proceso existe una sucesión de poblaciones microbianas interaccionan en función a las demandas nutricionales, tolerancia al medio, y la eficacia competitiva³⁷.

Actualmente se tiene información concerniente a la presencia y acción de comunidades microbianas en general y sobre especies concretas³⁸, debido a que un mayor conocimiento sobre su acción de degradación y la forma de respuesta frente a los cambios del entorno, contribuirá en la optimización de este proceso, al mejorar la eficiencia del mismo y la calidad del producto final^{37,39}.

a) Bacterias

Las bacterias son las más numerosas en el proceso de compostaje (80% - 90%)⁴⁰ y prefieren pH entre 6,0 y 7,5³⁷. Su éxito se debe a la alta tasa de crecimiento, diversidad metabólica, capacidad de algunas especies para formar esporas frente a condiciones ambientales adversas y la capacidad de algunas otras para tolerar amplios rangos de temperatura. Todas estas características les permiten adaptarse fácilmente ante cambios rápidos en la disponibilidad de sustratos y otros parámetros, por ello son las que predominan durante las primeras etapas, en las que presentan una amplia ventaja competitiva frente a los hongos³⁷.

Durante el proceso se encuentran bacterias mesófilas, las cuales prosperan a temperaturas que oscilan entre 21°C y 32°C, y, bacterias termófilas, que reemplazan a las anteriores cuando la temperatura supera los 40°C o 45 °C, pero cuando esta desciende, las bacterias mesófilas vuelven a dominar el medio³⁹. Sin embargo, puede que no ocurra un reemplazo total entre fase y fase, ya que muchas bacterias pueden ser termotolerantes y estar presentes en todas ellas⁴¹.

En las pilas de restos de plantas de tomate postcosecha y viruta de pino, se asilaron 187 especies bacterianas, existiendo una mayor diversidad en las etapas centrales. Las más abundantes fueron: *Bacillus licheniformis*, *Bacillus sonorensis*, *Bacillus tequilensis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus aerophilus*⁴¹; además de *Bacillus*, otros de los géneros más frecuentes son *Pseudomonas* y bacterias gram negativas como *Thermus* e *Hydrogenobacter*³⁷.

b) Actinobacterias

Son bacterias gram positivas con estructura vegetativa micelar⁵, muchos de ellos son de vida libre principalmente en el suelo⁴². Muchas de las especies que participan en este proceso son tolerantes a las temperaturas que alcanza el compost, por ello se encuentran presentes y en mayor actividad en las etapas termófilas, en las que degradan compuestos orgánicos complejos como celulosa y lignina que se encuentran en tallos leñosos, corteza o periódicos. Por este mismo motivo, prevalecen en la etapa final, donde esos compuestos resistentes podrían ser los únicos que falten descomponer, pero también porque intervienen en la formación de humus³⁷. Cabe resaltar que estos organismos producen geosmina, un compuesto volátil que da el olor característico de suelo; tienen gran importancia en la formación del mismo, son capaces de proteger la rizosfera, a través de la producción de compuestos antibióticos y otros en beneficio de las plantas^{5,37,40}.

Las actinobacterias son organismos predominantes en las compostas, siendo algunas especies aisladas *Streptomyces albogriseolus* y *S. tendae*, los cuales mostraron ser termófilos⁴³. Otros géneros aislados fueron *Actinomyces*, *Thermoactinomyces*, *Actinobacter*, *Nocardia* spp³⁷; asimismo, López Gonzales⁴¹, aisló a *Corynebacterium casei*, *Microbacterium gubbenense*, *Brachybacterium paraolongomeratum* en pilas de compostaje.

c) Hongos

Forman filamentos largos llamados hifas, las cuales pueden penetrar materia orgánica resistente como lignina y celulosa y degradarla tanto química como mecánicamente³⁹. También se encargan de aquellos que son extremadamente secos, ácidos o con bajo contenido de nitrógeno para las bacterias. Existen en las fases mesófila y termófila del compostaje aeróbico³⁹. Por otro lado, al ser tolerantes a un amplio rango de pH (5,5 y 8,0), al inicio del proceso, cuando desciende a valores cercanos a 5, después de la formación de ácidos orgánicos por acción de las bacterias, los hongos ácido tolerantes se desarrollan y se encargan de la degradación hasta que el pH se incremente gradualmente³⁷.

Algunos hongos encontrados durante el proceso de compostaje fueron *Aspergillus* spp. *Penicillium* spp., *Trichoderma* spp. *Mucor* spp. *Rhizopus* spp., *Cladosporium* spp. *Backusella* spp., *Fusarium* spp. spp. y *Geotrichum* spp. en las fases mesófilas y de maduración⁴⁴.

2.3.5. Microorganismos eficientes (comercial)

El profesor Teruo Higa definió como microorganismos eficientes (EM) a un cultivo mixto de microorganismos benéficos naturales capaces de mejorar las condiciones del suelo, por ello actualmente viene siendo utilizado en el sector agropecuario y el tratamiento del agua⁴⁵. El producto EM-compost, que es parte de la tecnología EM, contiene bacterias fotosintéticas, bacterias acidolácticas, levaduras, entre otros microorganismos que acelerarían el proceso de descomposición⁴³, además de neutralizar posibles malos olores, incrementar la solubilización de nutrientes y sintetizar sustancias bioactivas útiles para las plantas y otros microorganismos⁴⁶. Algunos estudios evidenciaron que este producto alcanzan mayores temperaturas y durante tiempos más prolongados, incrementa el contenido de NPK, reduce malos olores e incrementa la tasa de descomposición¹⁴.

Las bacterias fototróficas son bacterias que pueden usar la luz solar como fuente de energía por medio de la fotosíntesis o pueden usar sulfuros u ácidos orgánicos simples como donadores de electrones para la síntesis de azúcares, aminoácidos, ácidos nucleicos y otras sustancias bioactivas promotoras del crecimiento y desarrollo vegetal, que también sirven de sustrato para el incremento de microorganismos benéficos, razón por la cual se considera que las bacterias fototróficas comprenden el núcleo del EM.⁵ El género más conocido en el EM es *Rhodospseudomonas* spp.⁴⁶

Por otro lado, las bacterias ácido lácticas (BAL) son bacilos Gram positivos que crecen en pH entre 4,0 a 4,5, pero son capaces de soportar medios aún más ácidos⁴², producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos. Los géneros más comunes son: *Lactobacillus*, *Bidobacterium*, *Lactococcus*, *Streptococcus* y *Pediococcus*.⁴²

Finalmente, dentro de los hongos, las levaduras, que son hongos unicelulares, son capaces de utilizar diversas fuente de carbono (glucosa, sacarosa, fructosa, galactosa, maltosa, suero hidrolizado y alcohol)⁴² para sintetizar sustancias antimicrobiales y sustancias bioactivas^{45,46}, además de sustancias útiles para

bacterias ácido lácticas y actinobacterias⁴⁶. Una de las especies más comunes es *Saccharomyces cerevisiae* que emplea diferentes azúcares como fuente de carbono, siendo la glucosa su preferida.⁴² Por otra parte, los hongos filamentosos, hongos pluricelulares contribuyen con la mineralización del carbono orgánico del suelo, por otro lado, una gran cantidad de mohos son antagonistas de especies fitopatógenas.⁴² *Aspergillus fumigatus*, es uno de los más encontrados en residuos en proceso de descomposición.⁴³

2.3.6. Microorganismos en la chicha de jora

La chicha de jora es una bebida oriunda del Perú y consumida también en otros países de América del Sur⁴⁷; se obtiene por un proceso de fermentación del maíz germinado “jora”, siendo una de las más usadas *Zea mays* var. morocho⁴⁸.

Manrique de Sáenz, citado por Pacheco⁴⁸, señala que comprende una amplia gama de levaduras nativas, entre las que se encuentran *S. cerevisiae*, *S. carlsbergensis*, *S. tropicalis*, *S. exigens*, *B. anomalus*, *S. heterogenus*, *T. famata*, *S. fructicum*, *C. solari*, *S. pasteurianus*, *S. hanasell*, siendo la primera la más común⁴⁸ y la principal responsable del proceso de fermentación, ya que fue aislada en la etapa final del proceso²⁵. Asimismo, Quillama (1993), citado por el mismo autor⁴⁸, comprobó la presencia de bacterias ácido lácticas como *Lactobacillus plantarum*, *L. buchneri*, *L. delbrueckii*, *L. acidophilus*, *L. brevis*, *L. maltaromicus*, *L. fermentum*, predominando *L. plantarum* durante el proceso fermentativo en muestras de chicha de jora de Apurímac y Lambayeque.

En un reporte reciente, se encontraron otros cinco géneros de bacterias, además de *Lactobacillus*: *Weissella*, *Leuconostoc*, *Lactococcus* y *Streptococcus*, y solo un género de bacterias del ácido acético: *Acetobacter*. siendo *Lactobacillus* el que prevaleció en más del 50% de las secuencias realizadas. Cabe mencionar que la composición microbiana varía en función a los ingredientes usados, procesos de fabricación e influencias geográficas¹¹.

El procesamiento tradicional, que aún se conserva, ayuda a mantener los microorganismos nativos como un recurso de biodiversidad que puede tener múltiples beneficios en la salud¹¹; pero no solo eso, sino que esta diversidad microbiana puede ser usada como acelerador en el proceso de compostaje, mostrando¹³.

2.4. Marco Legal

Ley N°28611 – Ley General del Ambiente

El artículo I señala que toda persona tiene el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y proteger el ambiente asegurando el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible⁴⁹.

D.L. N°1278 – Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos

El artículo 2 establece las finalidades de la gestión integral de los residuos sólidos, los cuales deben ser priorizados en el siguiente orden: 1) minimización de la generación de residuos, 2) recuperación o valorización de estos y 3) la disposición final segura.

Además, en el artículo 5, se señala que los residuos generados en las actividades productivas y de consumo constituyen un potencial recurso económico y por tanto útil en actividades de producción de compost u otros que eviten su disposición final.

Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM que aprueba la Política Nacional del Ambiente

La Política Nacional del Ambiente es considerada como principal instrumento de gestión ambiental. Para el logro del desarrollo sostenible en el país busca fortalecer la gestión de los gobiernos regionales y locales en materia de residuos sólidos de ámbito municipal, priorizando su aprovechamiento.

Resolución Ministerial N° 191-2016-MINAM que aprueba el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 - 2024

Uno de sus objetivos es promover el fortalecimiento del sistema de reaprovechamiento de residuos sólidos con énfasis en el ámbito municipal, para ello, se plantea que el MINAM debe diseñar e implementar Medidas de Mitigación Apropriadas para Cada País (NAMA) asociadas al uso de residuos orgánicos y la disposición final adecuada con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional.⁵⁰

Ley N° 27972 - Ley Orgánica de Municipalidades

Esta norma, en su artículo 80°, especifica que son funciones específicas compartidas de las municipalidades en materia de saneamiento, salubridad y salud los siguientes: Regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial. Regular y controlar la emisión de humos, gases, ruidos y demás elementos contaminantes de la atmósfera y el ambiente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente estudio se realizó en las instalaciones de la empresa Ecopesa EIRL, durante 04 meses, desde octubre de 2020 a enero de 2021.

3.3.1. Ubicación política

Departamento : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Andrés Avelino Cáceres Dorregaray

3.3.2. Ubicación geográfica

Zona : 18L
Este (m) : 586693,14 m E
Sur (m) : 8544104,52 m S
Altitud (m.s.n.m.) : 2 738 m.s.n.m.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población estuvo constituida por 71,45 kg de compost obtenido a partir de 229,50 kg de residuos orgánicos domésticos, hojas secas y aserrín, distribuidos en nueve unidades experimentales.

3.2.2. Muestra

Las muestras tomadas durante la investigación fueron de distintos tamaños. Para la medición del pH, se tomaron muestras de 10 cm³ de compost de dos puntos distintos por unidad experimental y se diluyó en 50 ml de agua destilada (volumen/volumen 1:5)⁶. Por otro lado, el análisis fisicoquímico del compost se realizó con 1 kg de muestras compuestas del compost con partículas menores a 2 mm²².

3.3. Unidad experimental

Compostera de madera de 60 cm x 40 cm x 60 cm, con capacidad de 120 000 cm³, equivalente a 120 L.

3.4. Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con 2 tratamientos y 1 testigo, cada uno de estos con 3 repeticiones. Todas las unidades experimentales tuvieron la siguiente composición: 20,0 kg de residuos sólidos orgánicos domiciliarios, 3,0 kg de aserrín y 2,5 kg de hojarasca. Los inóculos fueron aplicados de la siguiente manera:

Tratamiento 1 (Jora) : 1 L de *qoncho* diluido al 30% v/v.

Tratamiento 2 (EM) : 1L de EM-compost activado diluido al 10% v/v³².

Testigo : Sin inóculo, se incorporó 1L de agua libre de cloro.

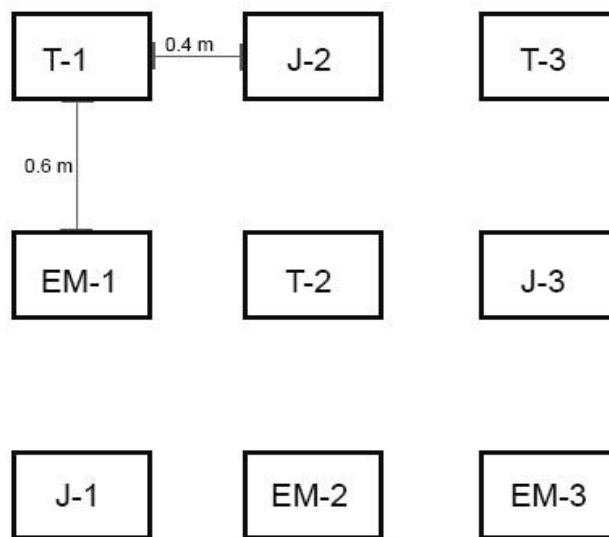


Figura 1. Distribución de composteras en el área experimental.

3.5. Metodología y recolección de datos

3.5.1. Construcción e instalación de composteras en el área experimental

Las composteras fueron construidas a base de madera y estructuradas por tres niveles de dimensiones 60 cm x 40 cm x 19 cm, que fueron dispuestos uno sobre otro con espacios de 0,5 cm entre ellos, los cuales se cubrieron internamente con una malla. Las medidas totales de cada compostera fueron 40 cm x 60 cm x 60 cm. Adicionalmente, estuvieron protegidas de los rayos del sol con un techo de polipropileno cada una y con una malla sombra de 50% a dos metros de altura del suelo.

3.5.2. Manejo de inóculos

La activación del inóculo comercial (EM-compost) se realizó siguiendo lo indicado en el manual de usuario de BIOEM SAC, que consistió en una mezcla de 5% de melaza (100 ml), 90% de agua libre de cloro (800 ml) y 5% de EM-compost (100 ml). Posterior a ello, se dejó la mezcla en una botella plástica con

tapa de cierre hermético, en un ambiente sombreado durante seis días. Al cabo de este tiempo, se corroboró la activación de los microorganismos al visualizar una capa blanquecina en la parte superficial, acompañado de un olor agrídulce⁵¹. Por otra parte, el *goncho*, inóculo nativo proveniente de la chicha de jora, se adquirió en el mercado central “F. Vivanco” y se dejó reposar en una botella con tapa hermética por 5 días en un ambiente oscuro, liberando diariamente el CO₂. Trascurrido el tiempo, también se observó la formación de una capa blanquecina y un olor a chicha fermentada.

Las aplicaciones de los inóculos se realizaron al inicio y a un mes de iniciado el proceso²².

3.5.3. Cálculo de la relación C/N

Considerando la composición teórica de cada componente (residuos orgánicos domiciliarios, aserrín y hojarasca), se calcularon las cantidades exactas para iniciar el proceso con una relación C/N entre 25 y 30²⁹.

Tabla 2. Relación C/N inicial por componente y de la mezcla inicial.

Componente	Humedad (%)	Peso (Kg)	C (%)	N (%)	C/N
Residuos de comida	69,0	20,0	34,95	1,875	-
Aserrín	10,0	3,0	40,0	0,1	-
Hojas secas	38,0	2,5	48,6	0,9	-
Resultado				30,099	

Fuente: Sepúlveda y Alvarado

3.5.4. Recolección de residuos sólidos orgánicos

Los residuos sólidos orgánicos domiciliarios, que consistieron en restos de alimentos de origen vegetal no procesados y cáscaras de huevo, fueron recolectados de 42 familias de la urbanización Los Licenciados del distrito Ayacucho y zonas aledañas a esta; el aserrín de eucalipto fue adquirido un centro maderable de transformación primaria; y la hojarasca, conseguida de las podas de árboles de pacay del mismo distrito.

3.5.5. Preparación e incorporación de residuos orgánicos

Se seleccionaron los residuos orgánicos compostables, enseguida fueron cortados con un machete hasta obtener trozos de tres centímetros aproximadamente, luego homogeneizados. Posteriormente, se incorporó en la base se colocó una capa delgada de ramas secas cortadas para una mejor ventilación y facilitar el drenaje de lixiviados, en seguida la materia orgánica por capas (Figura 2) y simultáneamente, 250 ml de los inóculos correspondientes en cada capa de residuos orgánicos domiciliarios.

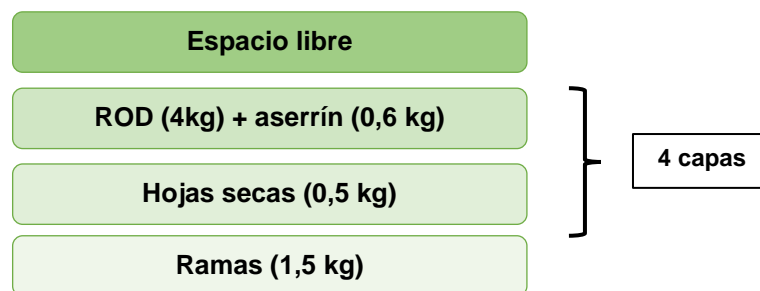


Figura 2. Orden de incorporación de residuos en cada compostera.

3.5.6. Control de humedad y aireación

Se monitoreó la humedad semanalmente con un termohigrómetro, procurando que se encuentre entre 45% y 60%, rango óptimo sugerido por Sepúlveda²⁹. Cuando se encontró por debajo de este se incorporó agua de clorada a todas las composteras por igual; del mismo modo se mantuvo la mezcla aireada mediante volteos periódicos, siendo estos más frecuentes durante las dos primeras semanas (Tabla 3).

Tabla 3. Frecuencia de riegos y volteos de residuos.

Riego	Volteo
Día 8 (1L), día 15 (1L), día 22 (2L)	Del 3 ^{er} al 10 ^{mo} día
Día 31 ^a (3L), día 36 (1L), día 43 (1L), día 50 (1L), día 57 (2L)	(7 veces), posteriormente 9 veces semanalmente, coincidieron con los riegos

^a Segunda aplicación de inóculos

3.5.7. Evaluación del proceso de compostaje

La temperatura fue medida en dos puntos centrales⁵¹, a una profundidad aproximada de 20 cm, haciendo uso de dos termómetro digital con punta galvanizada de 14 cm de largo, entre las 7 h 00 min y 7 h 30 min. Asimismo, para la medición del pH, se tomaron muestras aleatorias⁵¹ de 10 cm³, con la que se preparó un extracto acuoso en relación 1:5 (p/v) con agua destilada⁶.

Todas las mediciones fueron semanales, a excepción de la temperatura que durante los primeros diez días fue medida diariamente.

3.5.8. Rendimiento del compost

El compost fue cosechado después de haber transcurrido un mes²⁹ a temperaturas menores de 23°C¹⁹, lo cual sucedió entre la 12ava y 13ava semana. En primer lugar se separaron las ramas, en seguida se tamizaron los compost con una malla metálica de 16 mm de luz y posteriormente con otra de 2 mm de luz, al pasar por cada uno de estos tamices, el material fue pesado con ayuda de una balanza digital²³.

3.5.9. Análisis fisicoquímico del compost

Para determinar el pH, conductividad eléctrica, humedad, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de nitrógeno total, óxido fosfórico (P_2O_5), óxido de potasio (K_2O), óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO) y relación C/N se enviaron muestras compuestas al Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (LASPAF) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina, donde hicieron la determinación según lo especificado en la Tabla 4.

Tabla 4. Métodos empleados en el análisis de muestras de compost.

Parámetro	Método
pH	Potenciometría, determinación en pasta saturada
Conductividad eléctrica	Medición indirecta del contenido de sales solubles en el extracto acuoso obtenido de la pasta saturada.
Porcentaje de humedad	Gravimetría
Materia orgánica	Método de Walkley y Black o Dicromato de Potasio
Nitrógeno	Método de Kjeldahl
Fósforo	Método de azul de molibdeno*
Potasio, Calcio, Magnesio, Sodio	Espectrometría de absorción atómica

Fuente: LASPAF-UNALM

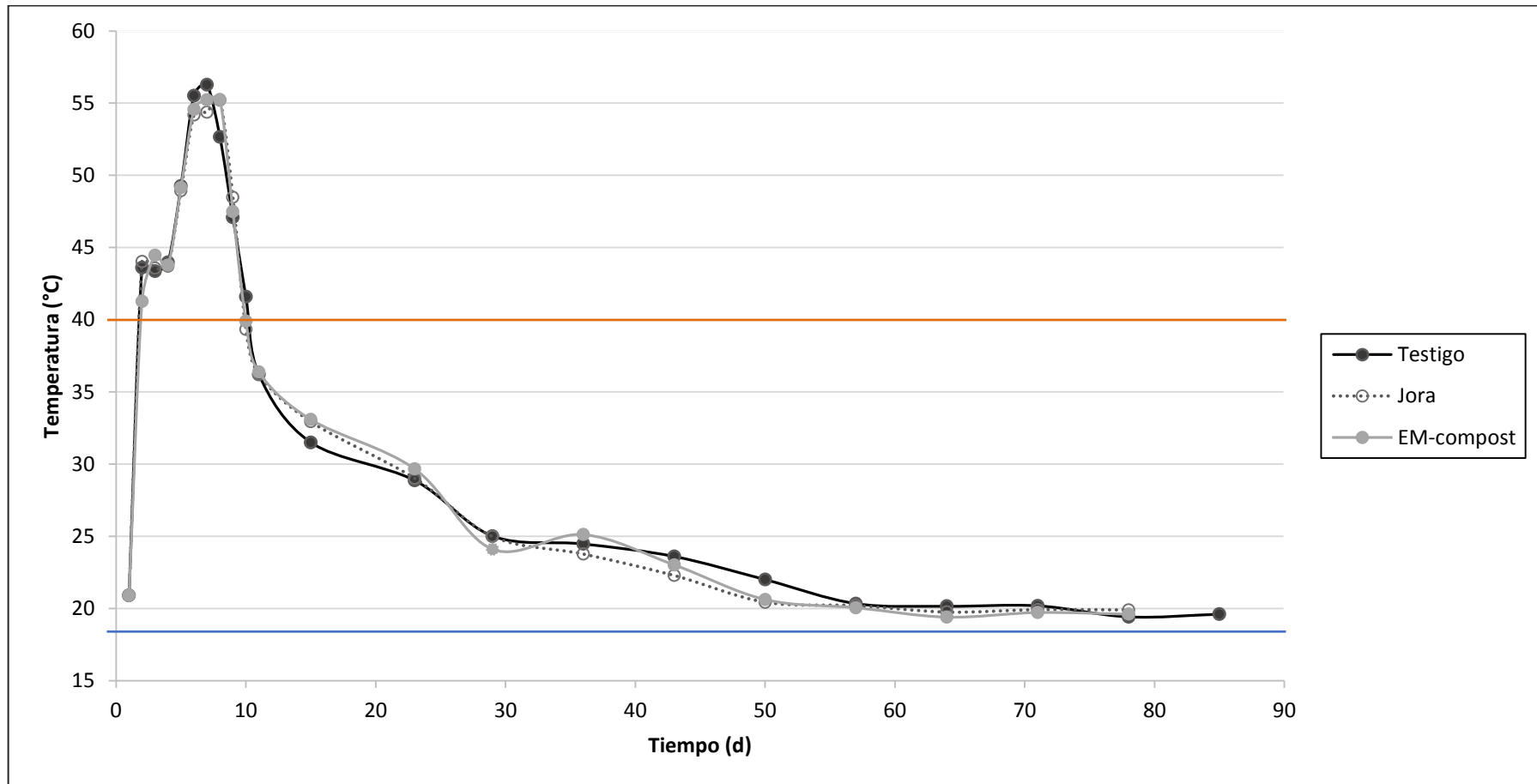
3.5.10. Bioensayo de fitotoxicidad en *L. sativa* var. *espirando*

Con los compost de 2 mm se preparó un extracto acuoso en agua destilada, en relación 1:10 v/v⁵². Se consideraron tres tratamiento: T1, sin inóculo; T2, jora y T3, EM, y un testigo, cada uno con tres repeticiones. En cada placa Petri se colocó un disco de papel filtro y se incorporó 4 ml del extracto correspondiente o agua destilada (testigo). Luego, se colocaron 10 semillas por placa Petri de *L. sativa* var. *espirando*, y se ubicaron en un ambiente oscuro por 5 días (120 h) a 22°C aproximadamente. Transcurrido este tiempo, se contabilizaron las semillas germinadas y se tomaron las medidas de la longitud de las radículas para calcular el índice de germinación (IG).

3.6. Análisis estadístico

Se empleó el análisis de varianza (ANOVA) de un factor y prueba de Tukey. De no cumplirse con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se recurrió a la prueba de Kruskal-Wallis. Todas las pruebas se realizaron con el software SPSS a un nivel de confianza de 95% (p-valor < 0,05).

IV. RESULTADOS



Línea naranja, límite inferior de las temperaturas termófilas (45°C); línea azul, temperatura ambiental promedio (18,4°C).

Figura 3. Variación de la temperatura durante el proceso de compostaje bajo el efecto de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.

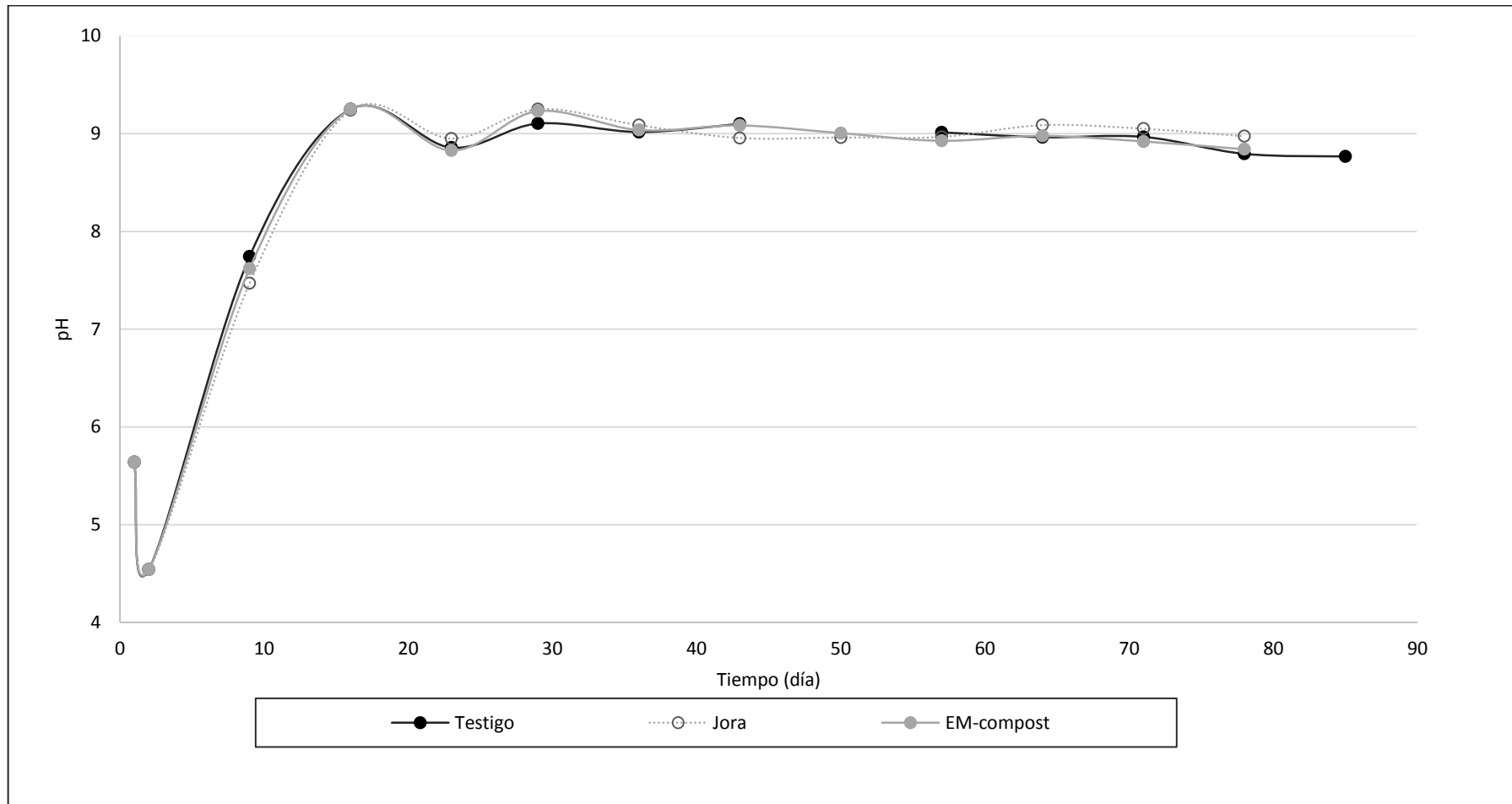


Figura 4. Variación del pH durante el proceso de compostaje bajo el efecto de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.

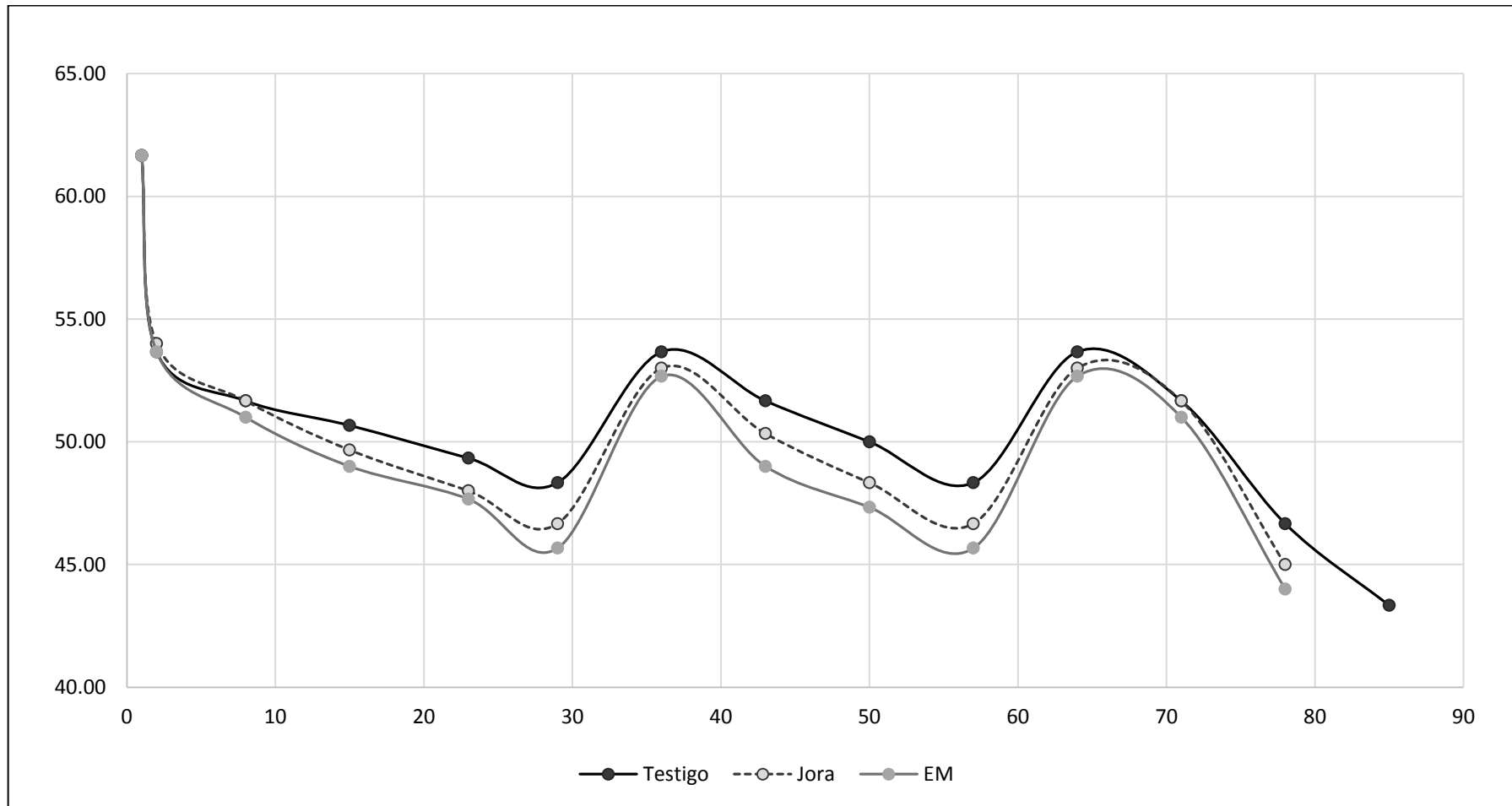
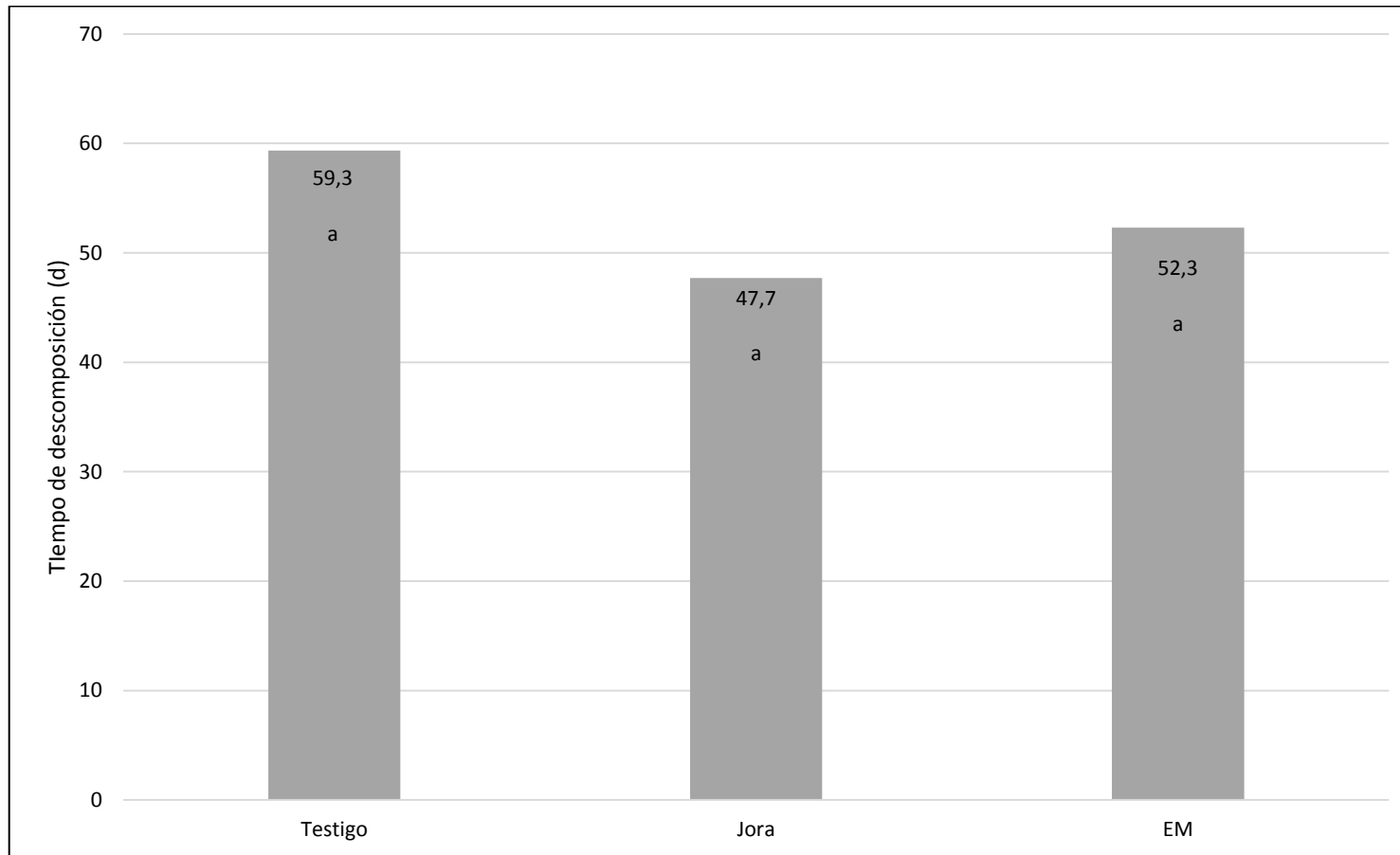
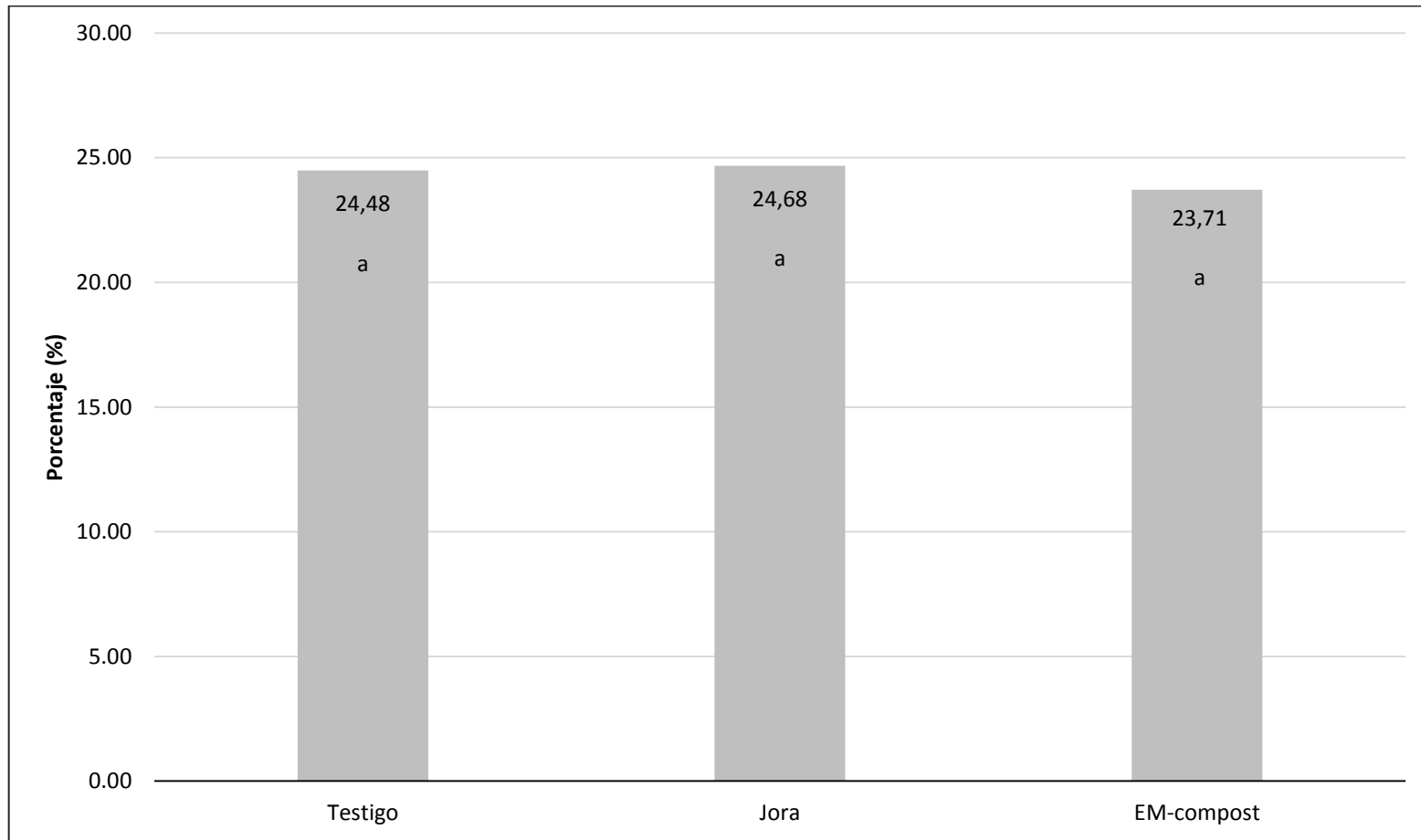


Figura 5. Variación de humedad relativa durante el proceso de compostaje, con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.



Letras diferentes indican grupos con diferencias significativas (Anova, $p < 0,05$)

Figura 6. Tiempo de descomposición de residuos orgánicos, con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.

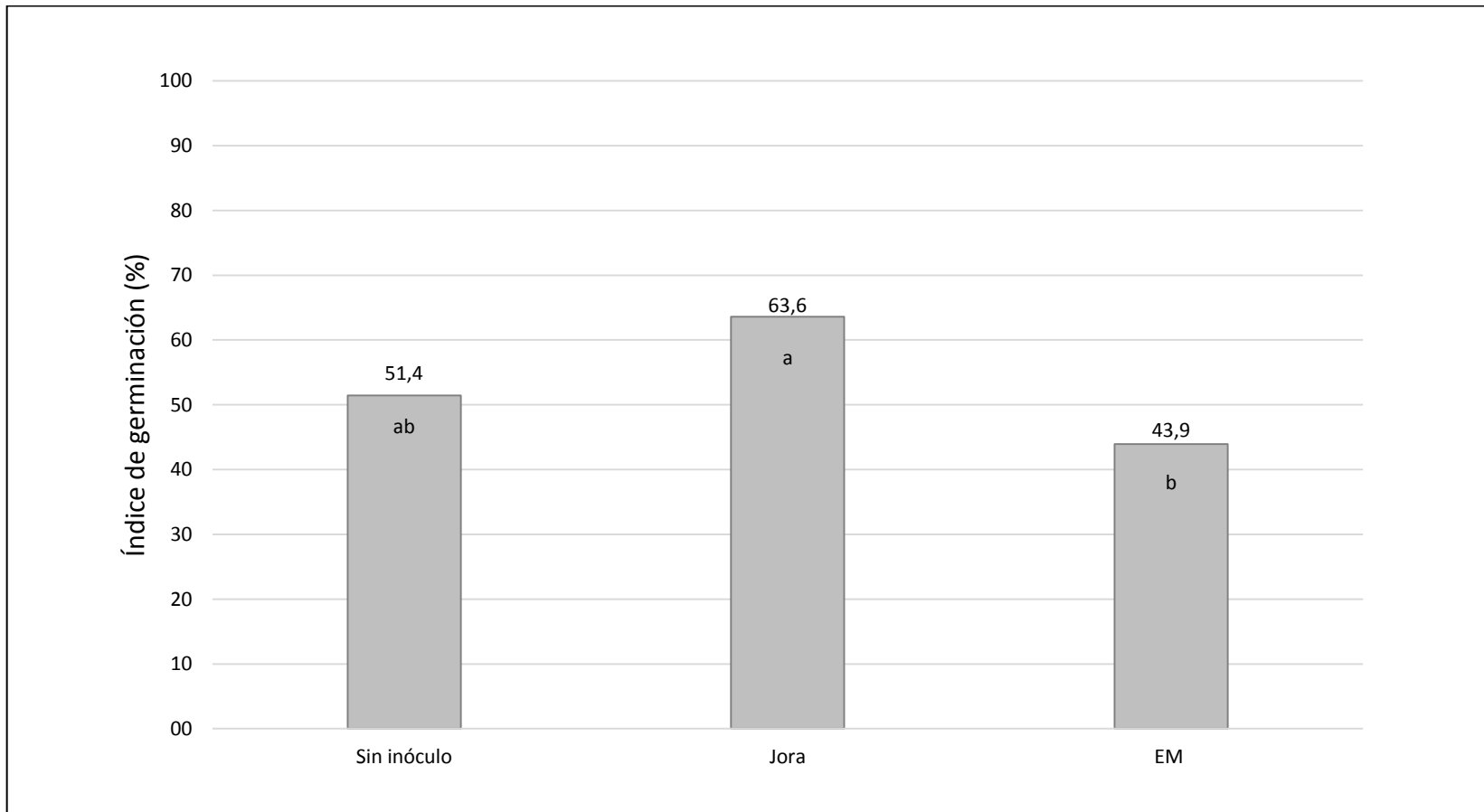


Letras diferentes indican grupos con diferencias significativas (Anova, $p < 0,05$)

Figura 7. Rendimiento de compost obtenido con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.

Tabla 5. Parámetros generales y materia orgánica de compost obtenido al aplicar EM y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.

PARÁMETROS	TESTIGO	JORA	EM	NCh 2880 ¹		NMX-AA-180-SCFI-2018 ²			
				Calidad A	Calidad B	I	II	III	
pH	7,80	7,76	7,72	5,0 – 8,5	5,0 – 8,5	6,7-8,5			
Conductividad eléctrica (dS/m)	6,74	6,98	7,40	≤ a 3	≤ a 8	0,5-≤4,0	4,0-≤8,0	8-≤12	
Materia orgánica (%)	74,44	75,91	74,07	≥ a 45%	≥ a 25%	≥ 50	30-50	20-30	
Relación C/N	16,51	16,52	15,82	≤ a 25	≤ a 30	15- <20	20 - ≤25		
Humedad (%)	41,00	46,95	46,95	30% - 45%	30% - 45%	25-35		30-45	
Contenido de nutrientes	N (%)	2,62	2,67	2,72	≥ 0,5%	≥ 0,5%	1% - 3%, suma ≤ 7 :		
	P2O5 (%)	0,77	0,85	0,80	-	-	mejorador de suelo		
	K2O (%)	2,72	3,05	2,59	-	-	cualquiera > 3% o suma > 7%: fertilizante		



Letras diferentes indican grupos con diferencias significativas (Anova, $p < 0,05$)

Figura 8. Índice de germinación (%) de semillas de *Lactuca sativa* var. espirando con el extracto acuoso de compost obtenido con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.

V. DISCUSIÓN

En la investigación se evidenció que al evaluar la temperatura durante el proceso de compostaje, se observó que todos los tratamientos siguieron una variación típica con las tres fases teóricas descritas por Román⁶, este comportamiento coincidió con la tendencia observada en los procesos de compostaje a pequeña escala realizados por Fan y Vich^{8,14}, a diferencia de lo que ocurre en un proceso a mayor escala, con volúmenes más grandes, ya que en ellos suceden fluctuaciones de temperatura durante la fase termófila^{17,19}, lo cual indica que la cantidad de residuos influye en la variación de la temperatura; sin embargo, otros factores como el tipo de materia inicial, la disponibilidad de oxígeno, humedad y la relación C/N también son determinantes⁷.

Por otro lado, no se observaron diferencias entre los tratamientos, es decir, no hubo efectos notorios al incorporar el EM comercial ni jora como aceleradores. En contraste a ello, Cervantes¹⁶ y De la Cruz¹⁹ observaron un leve incremento y un aumento acelerado de temperatura con microorganismos locales, pero no difirieron con los otros tratamientos. Por otra parte, la temperatura media de la fase termófila del tratamiento jora (49,1 °C) fue ligeramente mayor, seguida de la temperatura del tratamiento EM (48,9 °C) y el testigo (48,1 °C).

En cuanto a las temperaturas de higienización, durante 1,3 días se superaron los 55 °C con EM-comercial y por 1,7 días con jora y en el testigo ($p > 0,05$), por lo que es probable que los patógenos como *Salmonella spp* y *Escherichia coli* hayan sido eliminados, ya que estuvieron expuestos a poco más de 55°C por 1 hora⁶. Por otro lado, estas temperaturas termófilas registradas fueron superiores a las alcanzadas por Fan y Vich, alrededor de 45 °C, ambos a escala pequeña, en contenedores de 10 L) con desperdicios de comida y aserrín; por el contrario, fueron mucho menores a las obtenidas por Arrigoni⁹, que compostó residuos de comedor y viruta en compostadores de 500L de capacidad, en las que se

superaron los 60°C y por un tiempo más prolongado. Si bien a mayores volúmenes se libera mucho más calor durante el proceso²⁹, estos resultados conllevan a reafirmar que sí es posible conseguir temperaturas de higienización a escala pequeña con un diseño adecuado^{7,9} y la importancia de controlar los parámetros y diseño del contenedor, ya que grandes volúmenes de residuos orgánicos urbanos no garantizan superar los 40°C^{15,16}

En cuanto al pH, este tuvo un comportamiento muy semejante en ambos tratamientos y el testigo (Figura 4), destacando la acidificación del medio con un pH 4,54 al segundo día de iniciado el proceso, lo cual coincidió con Loayza, cuyo pH descendió hasta 4,0 en promedio, debido a la formación de ácidos orgánicos⁶. A medida que transcurrió el proceso, se observó la alcalinización progresiva del medio y posteriormente un descenso paulatino, alcanzando valores finales de 8,84, 8,97 y 8,77 con los tratamientos EM, jora y testigo respectivamente, al día de la cosecha. El rango de variación del pH a lo largo del proceso sobrepasó lo recomendado (4,5 a 8,5)⁶, ya que durante la segunda semana se registraron los valores de pH más altos (9,19 y 9,26) que coincidieron con el descenso de la temperatura posterior a la etapa de máxima actividad microbiana, lo cual podría sugerir un exceso de amonio en el medio⁶.

En relación a la humedad, hubo constantes pérdidas de agua a través de la evaporación, por ello fue necesario incorporar agua frecuentemente, algo que suele ser común a escala pequeña para mantener la humedad en el rango óptimo, a comparación de un compostaje a escala industrial, donde solo es necesario pocos riegos, incluso uno⁷. Por otro lado, al no superar el rango sugerido (45% - 60%), se evitó la generación de lixiviados y una mayor concentración de nutrientes⁷; sin embargo, el haber estado en el límite inferior del rango óptimo en diversas ocasiones pudo reducir la actividad microbiana y el proceso de descomposición⁶.

En cuanto al tiempo de descomposición, el tratamiento jora fue el más corto (47,7 días), seguido del EM (52,3 días), y el testigo (59,3 días); sin diferencias significativas entre ellos. Este resultado coincide con Quishpe¹³, quien indica que la incorporación de jora al 9%, redujo el tiempo de compostaje a 50 días, a comparación del tratamiento con melaza con el que tardó 65 días. Sin embargo, De La Cruz¹⁹, que consiguió compost entre 54 a 64 días, obtuvo mejores resultados con inoculantes a base de suero de leche y con microorganismos aislados de composteras, a comparación del EM comercial y levaduras

comerciales. Del mismo modo, para Loayza las vísceras de pescado fueron más efectivas como aceleradores biológicos a comparación de la bazofia de camal y EM comercial, incluso Vich⁸ determinó que la incorporación de estructurante previamente descompuesto fue suficiente para reducir el tiempo en 21 días, al compostar residuos de comida y viruta en contenedores de 10L, esto debido a que en ella se establecieron microorganismos durante el proceso de descomposición previo. En contraposición, Fan¹⁴ señala que el EM comercial redujo el tiempo de 32 días (testigo) a 25 días, considerando una materia inicial de 4Kg. Cabe mencionar que la frecuencia de inoculación fueron diversas, es decir algunos incorporan al realizar los volteos durante la fase termófila, mientras que otros lo aplican por única vez al inicio del proceso, pudiendo ser más eficiente la primera forma. Por otro lado, la relación C/N también influye en el tiempo de descomposición e incluso podría ser mucho más determinante que el uso de algunos inóculos^{18,22}.

Con respecto al rendimiento de compost, tomando como base la NCh 2880, que sugiere un compost con partículas menores a 16 mm, el mayor rendimiento siguió correspondiendo al tratamiento jora (24,68%) sin diferencias significativas con los otros tratamientos, estos valores totales están por debajo del rango 30 – 40% señalado por Sepúlveda²⁹ y los rendimientos obtenidos por Aveiga¹⁵ y Loayza¹⁷ que estuvieron entre 48 y 65%; en contraste, fueron superiores a los reportados por Cervantes, quien obtuvo rendimientos finales (<16 mm) entre 10,2 y 15,5% con respecto a la masa inicial. Este bajo rendimiento obtenido probablemente se debió a las pérdidas de CO₂ y nitrógeno al inicio del proceso.

Las características fisicoquímicas del compost final, con partículas menores a 2 mm x 2 mm, se muestran en la Tabla 5. En cuanto al porcentaje de humedad, el compost del testigo es menor de 45% y califica como compost de calidad B según la Nch 2880, y en la clase III, según la norma mexicana; a diferencia de los compost de los tratamientos jora y EM, los cuales se encontraron por encima del valor máximo, sin embargo, este parámetro considerado para facilitar la comercialización del producto puede ser modificado de manera sencilla⁸. Los resultados en cuanto a humedad son muy diversos, por ejemplo Vich⁸ reportó entre 50 y 60%, mientras que Cervantes¹⁶ entre 35,12% y 39,14%.

Con respecto al pH, los valores estuvieron entre 7,72 y 7,80 y se encontraron en el rango establecido por ambas normas referenciales, clasificando como calidad A y tipo I según la norma chilena y mexicana respectivamente. Algunos valores

en los que se usaron residuos orgánicos domésticos y aserrín fueron cercanos a 7¹⁴, otros entre 6,1 y 7,9^{8,9}, esta variación puede deberse al tiempo de compostaje y la estabilización de la mezcla, pero también se ve influenciada por la composición del material inicial⁶.

En cuanto a la conductividad eléctrica, los valores fueron elevados y estuvieron en el rango de 6,74 a 7,40, todos ellos correspondieron a un compost de Calidad B y tipo II según la norma chilena y la norma mexicana respectivamente. Estos resultados fueron superiores a los encontrados en estudios previos: 0,7 - 3,3 dS/m⁹, 2 dS/m¹⁴ y 4 dS/m⁷, esto se debe a la ausencia de lixiviados en este estudio, lo que permitió que los nutrientes no fueran lavados y se obtuvieran altos valores de conductividad eléctrica⁹; sin embargo, fueron menores a 7 y 10mS/cm reportados por Cervantes¹⁶, debido a que este parámetro también depende del material inicial.

La relación C/N de los tratamientos se encuentran entre 15,82 y 16,52, ajustándose a la Calidad A y Tipo I de las normas referenciales, cercanos a 15, valor sugerido por Sepúlveda²⁹ y a los reportados por Aveiga¹⁵ (14,5 y 22,3); sin embargo difieren a lo hallado por Fan¹⁴ (9,16 y 8,60) y por Vich⁸ (> 25). Cabe mencionar que esta relación C/N depende de la composición de los materiales iniciales⁶.

En relación al porcentaje de materia orgánica, oscilaron entre 74,04% y 75,95%, encontrándose por encima de los mínimos establecidos por la norma chilena (45%) y la mexicana (50%) para la calidad A y tipo I respectivamente. Estos resultados concuerdan con Vich⁸, quien reportó valores finales de 83,9% a 87,9%, para un porcentaje inicial de 92%, y superan a los obtenidos por Aveiga¹⁵ y De la Cruz¹⁹.

En la misma tabla se muestra el contenido de nutrientes. En cuanto al nitrógeno, el compost inoculado con EM mostró el mayor porcentaje (2,72%), seguido del inoculado con *qoncho* de jora (2,67%), y finalmente el testigo (2,62%), todos ellos superiores a 0,5%, mínimo establecido por la norma chilena para ambas clases, mientras que, según la norma mexicana, calificarían como tipo I (cercano a 3%). Estos resultados obtenidos fueron superiores al 1,42% de nitrógeno total obtenido en el compost inoculado con microorganismos nativos, por Aveiga¹⁵, asimismo a los reportados por otros autores que se encuentran entre 1,0% - 1,8%⁸, 1,07%-2,13%¹⁶ y 1,57% - 1,65%, con estiércol¹⁹; por el contrario, Fan obtuvo 3,5% en el compost con EM, que además fue

estadísticamente superior al contenido del control (2,0%). Con respecto al fósforo, P_2O_5 , y potasio, K_2O , estos variaron entre 0,77% - 0,88% y 2,72% - 3,05% respectivamente, valores que fueron ligeramente superiores en el compost del tratamiento jora. Estos resultados obtenidos, a excepción del fósforo, fueron mayores a los obtenidos por el Instituto Nacional de Investigación en Ciencias y Tecnologías para el Medio Ambiente y la Agricultura, citada por Ansorena (2014)³¹, quienes determinaron valores menores a 1% en muestras de compost provenientes de compostaje doméstico y comunitario, así como de otros estudios en los que se reportaron los siguientes contenidos: 0,3 - 0,4% de fósforo y 1,5% de potasio¹⁴, 0,24 - 0,28% de P_2O_5 y 2,63 - 2,78% de K_2O ¹⁹, 0,5-0,7% de P_2O_5 y 1,0% - 1,3% K_2O ¹⁶, investigaciones en las que se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento EM y el control.

Considerando la suma de los nutrientes primarios (NPK), los compost obtenidos no superan el 7%, por lo que, según la norma mexicana, este sería considerado como enmienda, sin embargo, el tratamiento jora (6,57%) fue ligeramente mayor que los tratamientos EM (6,11%) y testigo (6,10%), asimismo todos estos fueron superiores a los obtenidos por Fan¹⁴ con la aplicación de EM (5,5%), y a los de Loayza¹⁷, quien evidenció que las vísceras de pescado usado como acelerador contribuyó a obtener mayor concentración de nutrientes a comparación de otros aceleradores (3,55%), incluido el EM (2,43%), debido al aporte nutritivo del mismo.

El porcentaje de óxido de calcio (CaO) también fue mayor en el compost del tratamiento jora, y los valores estuvieron en el rango de 2,20% y 2,53%, lo cual coincide con lo reportado por De la Cruz¹⁹, entre 2,39% y 2,49%, pero son menores que los valores obtenidos por Cervantes, 5,6% - 7,5%; en el caso del óxido de magnesio (MgO), los valores oscilaron entre 0,46 y 0,50, los cuales fueron menores a 2,5 - 2,8%, también reportados por Cervantes¹⁶.

El empleo de chicha de jora muestra un potencial sustentado en las características fisicoquímicas determinadas, confirmando los hallazgos de diferentes investigadores quienes afirman que los microorganismos autóctonos fueron eficientes en este proceso^{15,16,19}.

Por último, al analizar el índice de germinación, establecido por Tiquia, citado por Varnero³⁰, el tratamiento jora (IG = 63,6%) y el testigo (IG = 51,4%) indican que dichos compost generarían fitotoxicidad moderada en la germinación de semillas de *L. sativa* var. *espirando*; mientras que, el compost con EM que presentó un IG

de 43,9%, presentaría una elevada concentración de fitotoxinas capaces de influenciar negativamente en el proceso de germinación, debido a que aún contienen metabolitos fitotóxicos como amonio, ácidos orgánicos volátiles u otros⁶, por lo que requieren un mayor tiempo de maduración para reducir el grado de fitotoxicidad¹⁵. Contrariamente a los resultados obtenidos, Fan¹⁴, con un compost de 2 meses, obtuvo IG de semillas de *Raphanus sativus* “rábano” mayores a 100%.

VI. CONCLUSIONES

1. La variación de la temperatura, pH y humedad relativa durante el proceso de compostaje fueron similares en todos los tratamientos, siguieron las tendencias típicas descritas teóricamente y se consiguieron temperatura de sanitización a pequeña escala.
2. El tiempo de descomposición fue ligeramente menor en el tratamiento jora (47,7 d) y tratamiento EM (52,3 d) a comparación del testigo (59,3 d), pero sin diferencias estadísticamente significativas.
3. El rendimiento de compost por tratamiento varió entre 23,71% y 24,68%, valores relativamente bajos y sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos.
4. El pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, relación C/N, porcentaje de nitrógeno en todos los tratamientos se encontraron en la clase A y tipo I de la norma chilena y mexicana respectivamente. Por su contenido en NPK, los compost pueden ser considerados como mejoradores de suelo.
5. El extracto de compost del tratamiento con EM presentó mayor fitotoxicidad en la germinación de semillas de *L. sativa*. var. espirando, con diferencia estadísticamente significativa a comparación del tratamiento con jora y testigo (fitotoxicidad moderada).

VII. RECOMENDACIONES

1. Llevar a cabo estudios de compostaje en contenedores de dimensiones relativamente mayores a la de la presente investigación, a nivel doméstico o comunitario, con el fin de conseguir temperaturas más elevadas que permitan la eliminación de otros patógenos, además de *E. coli* y *Salmonella sp.*
2. Incrementar las frecuencias de aplicación del inóculo nativo (*qoncho*) para acelerar el proceso de compostaje
3. Investigar variables como diseño de compostador, estructurante y otros aspectos técnicos que influyen en el rendimiento del compost
4. En posteriores investigaciones, realizar un análisis microbiológico para corroborar la ausencia de patógenos.
5. Investigar la influencia de otros microorganismos benéficos locales en el proceso de compostaje a pequeña escala en la ciudad de Ayacucho y los efectos de los mismos en el crecimiento y desarrollo vegetal mediante ensayos agronómicos.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena NCh 2880. Compost - Requisitos de Calidad y clasificación: INN; 2004.
2. Norma Oficial Mexicana que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad. NMX-AA-180-SCFI-2018; 2018
3. Ministerio del Ambiente. Ayacucho: estadísticas ambientales, diciembre 2019. Lima: SINIA; 2019.
4. sinia.minam.gob.pe, Minam: 70% de los residuos que generamos pueden convertirse en nuevos productos [sede web]. Lima: MINAM; 2019 - [acceso 8 de julio de 2020]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/>
5. Frioni L. Microbiología: Básica, ambiental y agrícola. Montevideo: Universidad de la República; 2006.
6. Román P, Martínez MM, Pantoja A. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile: FAO; 2013.
7. Storino F. Compostaje descentralizado de residuos orgánicos domiciliarios a pequeña escala: Estudio del proceso y del producto obtenido. [tesis doctoral]. Navarra: Universidad Pública de Navarra; 2017.
8. Vich DV, Miyamoto HP, Queiroz LM y Zanta VM. Compostaje de residuos de comida usando compostador de pequeña escala. Rev. Ambient. e Agua. 2017; 12, 445–458.
9. Arrigoni JP. Optimización Del Proceso De Compostaje De Pequeña Escala. [tesis doctoral]. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba; 2016.
10. Defensoría del Pueblo. Informe Defensorial N° 181- 2019-DP ¿Dónde va nuestra basura?: Recomendaciones para mejorar la gestión de los residuos sólidos municipales. Lima: Defensoría del Pueblo; 2019.
11. Bassi D, Orrù L, Cabanillas Vasquez J, Cocconcelli PS y Fontana C. Peruvian chicha: A Focus on the Microbial Populations of This Ancient Maize-Based Fermented Beverage. Microorganisms. 2020; 8 (1): 93
12. Chaves-López, C., Rossi, C., Maggio, F., Paparella, A. & Serio, A. Changes Occurring in Spontaneous Maize Fermentation: An Overview. Fermentation. 2020; 6 (1): 36
13. Quishpe M. Elaboración de compost a partir del estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) y su aplicación en la comuna Lumbisí (sector Cumbayá). [tesis de pregrado]. Quito: Universidad Central del Ecuador; 2017.
14. Van Fan Y, Lee CT, Klemeš, JJ, Chua LS, Sarmidi MR y Leow CW. Evaluation of Effective Microorganisms on home scale organic waste composting. Journal of Environmental Management. 2018; 216: 41-48.
15. Aveiga E, Alcívar R, Cañarte F y Vera H. Uso de biopreparados en el compostaje de residuos orgánicos urbanos. Rev. Espamciencia. 2016; 7: 135-142.
16. Cervantes J. Compostaje doméstico: Estudio comparativo entre vermicompostaje e inóculo de microorganismos autóctonos. [tesis de pregrado]. Navarra: Universidad Pública de Navarra; 2014.
17. Loayza R y Gallegos R. Efecto del uso de tres tipos de aceleradores biológicos en el compostaje de residuos orgánicos de mercados, parques y jardines de Arequipa. Ñawparisun - Rev. Investig. Científica. 2020; 3, 23-36.
18. Pillco K. Evaluación del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficientes. [tesis de pregrado]. Puno: Universidad Nacional del Altiplano; 2020.
19. De La Cruz M. Fuentes de microorganismos en el compostaje de residuos

- de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, Canaán 2735 msnm - Ayacucho. [tesis de pregrado]. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga; 2018.
20. Arias A. Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. J. Cienc. E Ing.2010; 2: 42-45
 21. Medina MS, Quintero R, Espinoza D, Alarcón A, Etchevers JD, Trinidad A et al. Generación de un inoculante acelerador del compostaje. Rev. Argent. Microbiol. 2018; 50: 206-210.
 22. Yanasupo K. Compostaje de proporciones de residuos de cosecha de maíz y estiércol de vacuno, con y sin microorganismos eficientes. Ayacucho 2017. [tesis de pregrado]. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2017.
 23. Tinco J. Compostaje con residuos de cosecha de pallar (*Phaseolus lunatus*) usando tres tipos de estiércol y microorganismos caseros efectivos. [tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2016.
 24. Olave J. Tratamiento de los residuos sólidos domiciliarios generados en el asentamiento humano Villa Alejandro Etapa III distrito de Iurín, utilizando la técnica de compostaje y generación de microorganismos benéficos como aceleradores de descomposición. [tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur; 2019.
 25. Vallejo JA, Miranda P, Flores-Félix JD, Sánchez-Juanes F, Ageitos JM, Gonzáles-Buitrago KM et al. Atypical yeasts identified as *Saccharomyces cerevisiae* by MALDI-TOF MS and gene sequencing are the main responsible of fermentation of chicha, a traditional beverage from Peru. Syst. Appl. Microbiol. 2013; 36, 560-564.
 26. Decreto Supremo N°014-2017-MINAM que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos - DL 1278/21 de diciembre de 2017. Diario Oficial El Peruano (21/12/2017).
 27. Jara F. Determinación de la eficiencia de los microorganismos (*Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus sp.*) en la producción del compost a partir de los residuos sólidos orgánicos en el centro poblado de Jancao distrito de Amarilis, provincia y departamento de Hu. [tesis de pregrado]. Huánuco: Univesidad de Huánuco; 2019.
 28. Rodríguez M. y Córdova A. Manual de compostaje municipal Tratamiento de residuos sólidos urbanos. México D.F.: Semarnat; 2006.
 29. Sepúlveda L, Alvarado J. Manual de Compostaje. Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá. Medellín: ACODAL; 2013.
 30. Varnero M, Rojas C. y Orellana R. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. J. Soil Sci. Plant Nutr. 2007; 7: 28-37
 31. Ansorena J. y Merino EBD. Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos , enmiendas y abonos orgánicos. Esc. Agrar. Fraisoro 2014: 1–67
 32. Vargas Y. Calidad del compost producidos a partid de residuos sólidos orgánicos municipales en el centro de protección ambiental 'Santa Cruz', ciudad de Concepción. [tesis doctoral]. Huancayo: Universidad Nacional Del Centro, 2016.
 33. Instituto Nacional de Calidad. Norma Técnica Peruana 311.557:2013. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo.
 34. Garcia XP. Tratamiento de los residuos sólidos generados en sanitarios ecológicos mediante el uso de microorganismos eficientes en un proceso de compostaje. [tesis de maestría]. Lima: Universidad Nacional Agraria La

- Molina; 2017
35. Leiva BF. Elaboración de biofertilizante a partir de estiércol de ganado vacuno y efluente del proceso de fermentación cervecera mediante fermentación homoláctica. [tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2018.
 36. Cruz-Hernández J, Acevedo-Alcalá P. y Baéz-Cruz C. Fitotoxicidad de abonos orgánicos líquidos en especies hortícolas. Rev. Biológico Agropecu. 2015; 3: 964-971.
 37. Moreno J y Moral R. Compostaje. Madrid: Mundi-Presa; 2008.
 38. Villar I. Estudio de la dinámica microbiana durante la fase de maduración del compostaje de residuos orgánicos. Vermicompostaje como alternativa de tratamiento. [tesis doctoral]. Vigo: Universidad de Vigo; 2017.
 39. Lee Y. Various microorganisms' roles in composting: A review. APEC Youth Sci. J. 2016; 8: 11-15
 40. Laich F. El papel de los microorganismos en la elaboración del vino. Jorn. Técnica Fertil. y Calid. del Suelo. 2011; 2, 174-183.
 41. López-González JA, Suárez-Estrella F, Vargas-García MC, López MJ, Jurado MM y Moreno J. Dynamics of bacterial microbiota during lignocellulosic waste composting: Studies upon its structure, functionality and biodiversity. Bioresour. Technol. 2015; 175: 406-416
 42. Tanya M. y Leiva-Mora M. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. Cent. Agrícola. 2019; 46: 93-103
 43. Camacho AD, Martínez L, Saad HR. Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. Terra Latinoam. 2014; 32: 291-300.
 44. Rabb O. Estudio del impacto del uso de digestato anaerobio y microorganismos eficientes en el proceso de compostaje de residuos de feria. [tesis de pregrado]. Santiago de Chile: Universidad Andrés Bello; 2017.
 45. Banco Interamericano de Desarrollo. Manual práctico de uso de EM. BID; 2009.
 46. EMPROTEC. Guía de la Tecnología de EM. San Juan de Tibás: EMPROTEC; 2010.
 47. De Florio E. Elaboración tradicional de chicha de jora. Cienc. Desarro. 1995; 1: 92-96.
 48. Pacheco J. Aislamiento de una cepa nativa *Saccharomyces sp.* y determinación de parámetros en la fermentación de la chicha de jora. [tesis de pregrado]. Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac; 2010.
 49. Ley General del Ambiente - Ley N°28611 de 13 de diciembre de 2005. Diario oficial El Peruano 15/10/2005.
 50. Ministerio del Ambiente. Plan Nacional De Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024. Lima: MINAM; 2016.
 51. Soriano JA. Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces - Concepción. [tesis de pregrado]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú; 2016.
 52. Ramos CG, Martínez F, Chávez N, Hernández M, Dantín JM, Pascual JA. Prueba de fitotoxicidad para evaluar el grado de madurez en abonos orgánicos. Agrotec. Cuba. 2016; 40: 47-52.

ANEXOS

Anexo 1. Registro de temperaturas (°C) obtenidas en las composteras con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.

Día	TRATAMIENTO								
	TESTIGO			JORA			EM - COMERCIAL		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9
2	42,7	43,9	44,3	44,0	43,7	44,4	42,9	40,7	40,2
3	44,5	43,8	41,9	45,5	42,2	43,1	42,9	45,2	45,4
4	44,1	43,4	44,5	44,5	42,6	44,1	43,4	44,6	43,4
5	48,9	50,0	48,9	49,2	47,4	50,3	46,2	47,2	54,1
6	55,8	56,7	54,1	52,6	52,4	57,6	53,3	53,9	56,6
7	56,1	56,5	56,2	51,1	56,0	56,1	54,9	52,5	58,4
8	50,5	54,2	53,4	56,4	53,8	55,4	54,7	55,3	55,8
9	45,6	51,7	44,0	51,0	45,4	49,1	50,1	46,3	46,2
10	38,7	46,0	40,1	37,2	39,1	41,7	39,9	37,9	42,0
11	31,9	40,9	36,0	35,3	35,0	38,5	35,2	35,5	38,5
15	33,0	29,7	31,9	29,5	31,1	38,3	33,3	34,7	31,3
23	29,9	27,9	28,9	27,7	29,6	29,8	30,5	28,5	30,1
29	24,9	24,8	25,4	21,7	27,5	25,8	24,8	23,4	24,2
36	23,2	24,8	25,5	21,8	24,3	25,2	24,1	25,4	25,9
43	22,9	23,2	24,8	24,3	20,7	21,9	24,3	21,9	22,9
50	22,6	21,6	24,1	19,6	20,8	21,0	19,6	20,3	22,0
57	21,2	20,6	20,7	19,9	21,6	21,2	19,9	20,4	20,1
64	19,7	19,6	19,8	18,9	19,1	21,1	18,9	20,2	19,0
71	20,4	19,6	20,5	19,0	19,7	20,0	19,0	20,5	19,7
78	20,3	18,8	20,4	18,7	19,6	19,8	18,8	20,0	19,6
85	20,4	19,0	20,5						

Anexo 2. Registro de pH obtenidos en las composteras con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.

Día	TRATAMIENTO								
	TESTIGO			JORA			EM - COMERCIAL		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64	5,64
2	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54
8	7,60	7,97	7,66	7,44	7,49	7,48	7,83	7,58	7,45
15	9,26	9,25	9,24	9,27	9,26	9,19	9,26	9,25	9,24
23	8,89	8,90	8,78	8,92	8,99	8,94	8,79	8,82	8,87
29	9,10	9,15	9,06	9,22	9,24	9,29	9,22	9,19	9,28
36	8,93	9,07	9,05	9,08	9,03	9,15	8,96	9,13	9,02
43	9,03	9,21	9,06	8,85	9,02	9,06	9,15	9,12	8,98
50	8,95	9,15	9,07	8,81	9,02	9,09	9,10	9,01	8,92
57	8,87	9,09	9,08	8,77	9,02	9,11	9,04	8,89	8,85
64	8,85	9,00	9,04	8,99	9,11	9,16	9,01	9,05	8,87
71	8,80	9,10	9,00	9,00	9,05	9,10	8,97	9,00	8,79
78	8,71	8,80	8,87	8,92	8,99	9,01	8,88	8,91	8,73
85	8,72	8,76	8,82	-	-	-	-	-	-

Anexo 3. Tiempo de obtención de compost (días) con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	TIEMPO DE OBTENCIÓN DE COMPOST (Días)
TESTIGO	R1	64
	R2	57
	R3	57
JORA	R1	50
	R2	43
	R3	50
EM - COMERCIAL	R1	50
	R2	50
	R3	57

Anexo 4. Rendimiento del compost obtenido con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.

TRATAMIENTO	REPLICA	PESO INICIAL (Kg)	< 2mmx2mm (%)	< 16mmx16mm (%)	TOTAL (%)
TESTIGO	R1	25,50	14,47	23,41	29,10
	R2	25,50	15,65	24,78	31,63
	R3	25,50	16,98	25,25	29,77
JORA	R1	25,50	18,55	27,02	34,25
	R2	25,50	16,90	24,75	31,72
	R3	25,50	20,82	22,27	29,96
EM - COMERCIAL	R1	25,50	13,49	22,12	28,20
	R2	25,50	16,00	23,69	32,59
	R3	25,50	16,67	25,33	32,98

Anexo 5. Registro de la longitud de la radícula del ensayo de fitotoxicidad con el compost obtenido con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.

TRATAMIENTOS											
TESTIGO			SIN INÓCULO			JORA			EM - COMERCIAL		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
3,5	1,5	1,2	1,2	1,0	1,3	1,9	1,6	2,6	1,5	2,1	2,4
3,5	3,5	1,7	1,7	1,0	0,2	1,4	2,8	2,1	0,7	2,3	2,2
4,2	4,5	3,3	3,3	1,5	1,3	1,2	1,7	1,4	0,6	1,4	1,5
2,5	5,1	1,6	1,6	1,4	2,8	1,2	2,0	1,9	0,5	1,9	1,2
3,0	3,2	1,5	1,5	1,1	1,1	2,4	1,7	2,0	1,2	1,0	2,0
2,5	3,2	1,3	1,3	2,0	0,8	1,5	1,9	2,2	1,1	1,4	1,4
2,9	4,7	2,5	2,5	3,3	0,7	1,3	1,6	1,3	1,0	1,1	1,6
3,0	4,0	1,6	1,6	1,0	1,5	1,8	1,8	2,3	1,5	1,5	0,8
3,5	3,5	1,2	1,2	1,9	1,2	1,6	2,2	3,0	2,2	1,2	-
2,8	5,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,9	1,8	1,1	0,7	-	-

Anexo 6. Informe del análisis de laboratorio elaborado por la Universidad Nacional Agraria la Molina del compost obtenido con la aplicación de EM comercial y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora, Ayacucho. 2020.



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



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : LUCERO GERALDINA AGUILAR LÓPEZ
 PROCEDENCIA : AYACUCHO/ HUAMANGA/ HUAMANGA
 MUESTRA DE : COMPOST
 REFERENCIA : H.R. 73773
 BOLETA : 4445
 FECHA : 18/02/2021

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
047	CLAVE: EM-COMPOST	7.72	7.40	74.07	2.72	0.80	2.59
048	CLAVE: JORA	7.76	6.98	75.91	2.67	0.85	3.05
049	CLAVE: TESTIGO	7.80	6.74	74.44	2.62	0.77	2.72

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %	Relación C/N
047	CLAVE: EM-COMPOST	2.20	0.50	41.76	0.16	15.82
048	CLAVE: JORA	2.53	0.49	46.95	0.18	16.52
049	CLAVE: TESTIGO	2.44	0.46	41.00	0.18	16.51



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

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
 Celular: 946 - 505 - 254
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 7. Análisis estadístico de valores de temperatura.

Pruebas de normalidad

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
N° días T°>45	Testigo	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Jora	,385	3	.	,750	3	,000
	EM	,385	3	.	,750	3	,000
N° días T°>55	Testigo	,385	3	.	,750	3	,000
	Jora	,385	3	.	,750	3	,000
	EM	,253	3	.	,964	3	,637
T° d43	Testigo	,331	3	.	,865	3	,281
	Jora	,253	3	.	,964	3	,637
	EM	,211	3	.	,991	3	,817
T° d50	Testigo	,219	3	.	,987	3	,780
	Jora	,337	3	.	,855	3	,253
	EM	,273	3	.	,945	3	,549

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
T° d43	,683	2	6	,541
T° d50	,417	2	6	,677

ANOVA de un factor

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
T° d43	Inter-grupos	2,676	2	1,338	,685
	Intra-grupos	11,713	6	1,952	
	Total	14,389	8		
T° d50	Inter-grupos	9,869	2	4,934	4,023
	Intra-grupos	7,360	6	1,227	
	Total	17,229	8		

Estadísticos de contraste^{a,b}

	N° días T°>45	N° días T°>55
Chi-cuadrado	1,147	,321
gl	2	2
Sig. asintót.	,564	,852

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Tratamiento

Anexo 8. Análisis estadístico del tiempo de descomposición.

Pruebas de normalidad

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Var. altura	Testigo	,234	3	.	,979	3	,720
	Jora	,346	3	.	,837	3	,206
	EM	,300	3	.	,913	3	,430
Tiem. desc.	Testigo	,385	3	.	,750	3	,000
	Jora	,385	3	.	,750	3	,000
	EM	,385	3	.	,750	3	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de homogeneidad de varianzas

Var. altura

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1,019	2	6	,416

ANOVA de un factor

Var. altura

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,916	2	,458	,171	,847
Intra-grupos	16,100	6	2,683		
Total	17,016	8			

Rangos

	Tratamiento	N	Rango promedio
Tiem. desc.	Testigo	3	7,67
	Jora	3	2,67
	EM	3	4,67
	Total	9	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Tiem. desc.
Chi-cuadrado	5,736
gl	2
Sig. asintót.	,057

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación:

Tratamiento

Anexo 9. Análisis estadístico de datos de rendimiento.

Pruebas de normalidad

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% Rend tot.	Testigo	,286	3	.	,931	3	,494
	Jora	,214	3	.	,989	3	,803
	EM	,359	3	.	,811	3	,140
% Rend <16	Testigo	,290	3	.	,926	3	,474
	Jora	,178	3	.	,999	3	,951
	EM	,176	3	.	1,000	3	,976
% Rend < 2	Testigo	,183	3	.	,999	3	,934
	Jora	,208	3	.	,992	3	,826
	EM	,309	3	.	,900	3	,384

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
% Rend tot.	1,098	2	6	,392
% Rend <16	,659	2	6	,551
% Rend < 2	,353	2	6	,717

ANOVA de un factor

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
% Rend tot.	Inter-grupos	4,983	2	2,491	,557	,600
	Intra-grupos	26,828	6	4,471		
	Total	31,811	8			
% Rend <16	Inter-grupos	1,562	2	,781	,257	,782
	Intra-grupos	18,269	6	3,045		
	Total	19,831	8			
% Rend < 2	Inter-grupos	20,798	2	10,399	3,777	,087
	Intra-grupos	16,522	6	2,754		
	Total	37,320	8			

Anexo 10. Análisis estadístico de datos del bioensayo de fitotoxicidad.

Pruebas de normalidad^{a,b}

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^c			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
IG	Testigo	,296	3	.	,919	3	,449
	Jora	,312	3	.	,896	3	,372
	EM	,279	3	.	,939	3	,525

a. PGR es una constante cuando Tratamiento = Testigo y se ha desestimado.

b. PGR es una constante cuando Tratamiento = Jora y se ha desestimado.

c. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
IG	,807	2	6	,489

ANOVA de un factor

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
IG	Inter-grupos	591,056	2	295,528	5,793	,040
	Intra-grupos	306,093	6	51,016		
	Total	897,149	8			

Comparaciones múltiples

t de Dunnett (bilateral)^a

Variable dependiente	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
PGR	Testigo	EM	10,00000	4,71405	,132	-3,4951	23,4951
	Jora	EM	10,00000	4,71405	,132	-3,4951	23,4951
CRR	Testigo	EM	1,90000	7,07620	,949	-18,3574	22,1574
	Jora	EM	14,06667	7,07620	,158	-6,1907	34,3241
IG	Testigo	EM	7,50000	5,83184	,388	-9,1951	24,1951
	Jora	EM	19,66667	5,83184	,026	2,9716	36,3618

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como control y lo comparan con todos los demás grupos.

Anexo 11. Panel fotográfico.



Vista interior de compostera



Distribución de composteras en el área experimental



Mezcla de componentes (agua, EM y melaza)



EM-compost activado



Recolección de residuos orgánicos



Picado de residuos orgánicos



Dilución de inoculantes



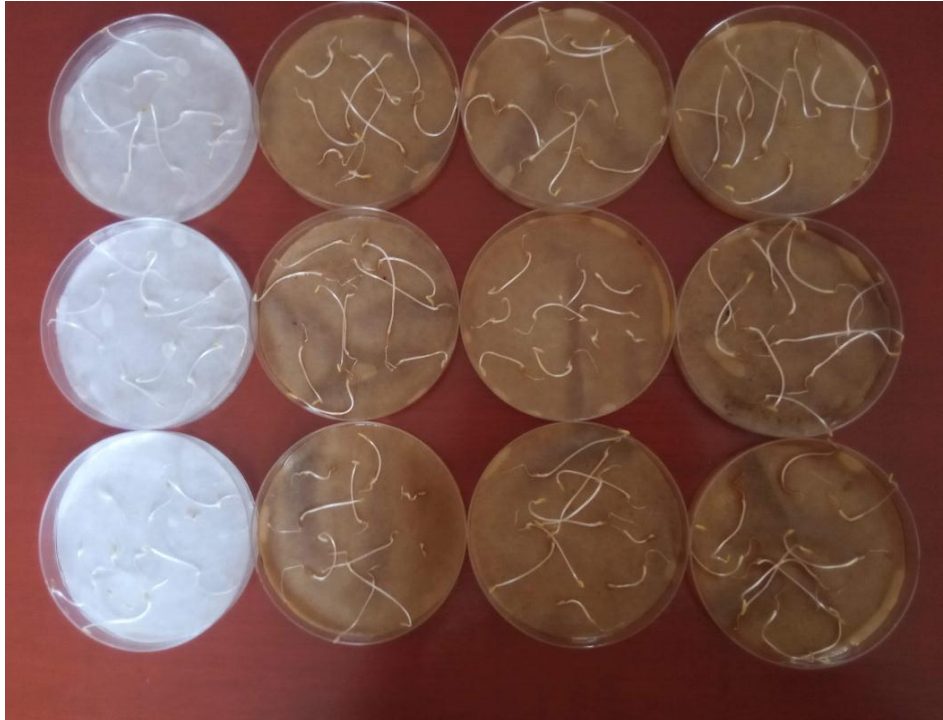
Aplicación de microorganismos al inicio del proceso



Medición de temperatura



Tamizado de compost



Unidades experimentales (placas Petri) con semillas de *Lactuca sativa* var. espirando a los 5 días (120h) de germinación

Anexo 12. Matriz de consistencia.

Título: Efecto de microorganismos eficientes comerciales y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora en el proceso de compostaje. Ayacucho. 2020
Autor: AGUILAR LÓPEZ, Lucero Geraldine **Asesor:** OCHOA YUPANQUI, Walter W.

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cuál es el efecto de microorganismos eficientes comerciales y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora en el proceso de compostaje en la ciudad de Ayacucho?	Los microorganismos eficientes comerciales y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora tienen efecto similar en el proceso de compostaje en la ciudad de Ayacucho.	<p>Objetivo general: Evaluar el efecto del EM-Compost y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora en el proceso de compostaje en la ciudad de Ayacucho.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar la temperatura, el pH y la humedad relativa durante el proceso de compostaje empleando microorganismos eficientes comerciales (EM-Compost) y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora. 2. Comparar el tiempo de descomposición de residuos orgánicos empleando microorganismos eficientes comerciales (EM-Compost) y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora. 3. Determinar el rendimiento del compost producido empleando microorganismos eficientes comerciales (EM-Compost) y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora. 4. Determinar la calidad del compost producido empleando microorganismos eficientes comerciales (EM-Compost) y microorganismos nativos provenientes de la chicha de jora. 5. Determinar el grado de fitotoxicidad del compost producido empleando microorganismos eficientes comerciales (EM-Compost) y microorganismos nativos provenientes de chicha de jora en semillas de L. sativa L. "lechuga" var. mantecosa. 	Antecedentes Marco conceptual Microorganismos eficientes Chicha de jora Compostaje Importancia del compostaje Calidad del compost Fitotoxicidad	<p>V. independiente: Microorganismos eficientes Indicador: procedencia de microorganismos</p> <p>V. dependiente: 1. Proceso de compostaje Indicadores: temperatura, humedad, pH, tiempo de descomposición, altura del material en descomposición 2. Rendimiento Indicador: Rendimiento (%) 3. Calidad del compost Indicadores: % Materia orgánica, % N, P, K, pH, conductividad eléctrica, relación C/N 4. Fitotoxicidad Indicador: Índice de germinación</p>	<p>Tipo de investigación: Experimental</p> <p>Diseño experimental: DCA con 2 tratamientos y 1 testigo, con 3 repeticiones cada uno. 9 unidades experimentales en total</p> <p>Análisis estadístico: Elaboración de tablas y figuras en Excel y ANVA y pruebas de comparación múltiple para los parámetros correspondientes en SPSS</p>