

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL



**Microorganismos eficientes y cal agrícola en la elaboración de
compost con cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.),
Pichari - 2023**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Agroforestal

Presentado por:

Bach. Gilber Cahuana Ccoscco

Asesor:

M.Sc. Juan Aníbal Galindo Galindo

Ayacucho - Perú

2024

*A mi padre Rodolfo Cahuana por su apoyo incondicional,
a mi madre Teresa Ccoscco por haberme dado la vida,
educación y todo su apoyo ilimitado e incondicional en mi
formación profesional.*

*A mis hermanos, hermanas y amigos de los que
siempre recibí su apoyo y quienes pusieron toda su
confianza en mí.*

Gilber Cahuana Ccoscco.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal, alma mater de mi formación profesional.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal por sus valiosas enseñanzas que aportaron en mi formación profesional.

Al M.Sc. Juan Aníbal Galindo Galindo, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal gestor y asesor en el proceso de ejecución y culminación de la presente tesis.

A todos mis compañeros de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal por el compañerismo y amistad que compartimos, durante las prácticas y actividades académicas universitarias.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	viii
Índice de anexos.....	ix
Resumen.....	1
Introducción	2

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO	4
1.1. ANTECEDENTES	4
1.2. DEL CACAO	6
1.2.1. Condiciones edafoclimáticas del cultivo de cacao en el VRAEM	6
1.2.2. Mazorca de cacao	6
1.2.3. Extracción de nutrientes de cacao	7
1.2.4. Fertilización del cacao	8
1.2.5. Restos de cáscara de cacao	8
1.3. DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	9
1.3.1. Clasificación de los residuos sólidos orgánicos	10
1.4. DE LOS ABONOS ORGÁNICOS	10
1.4.1. Tipos de abonos orgánicos	11
1.5. DEL COMPOSTAJE	12
1.5.1. Proceso de elaboración de compost.....	13
1.5.2. Fases del proceso de elaboración de compost	13
1.5.3. Utilidad de compost.....	14
1.5.4. Calidad del compost	14
1.6. DE LOS MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM)	15
1.6.1. Compost con microorganismos eficientes.....	16
1.6.2. Importancia de los microorganismos eficientes (EM).....	16
1.6.3. Usos de los microorganismos eficientes (EM).....	17
1.6.4. Microorganismos eficientes activo (EM-1).....	18

1.6.5. Tipos de microorganismos eficientes	19
1.6.6. EM – compost.....	20
1.7. DE LA CAL AGRÍCOLA.....	21
1.7.1. Cal en el suelo	22

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA.....	24
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	24
2.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL DISTRITO DE PICHARI.....	24
2.3. MATERIALES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EMPLEADOS	26
2.3.1. Materiales orgánicos.....	26
2.3.2. Recursos inorgánicos	26
2.3.3. Equipos	26
2.4. TRATAMIENTOS	26
2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	27
2.6. DESCRIPCIÓN DE UNIDADES EXPERIMENTALES.....	27
2.6.1. Medidas de unidades experimentales	27
2.6.2. Ubicación de unidades experimentales.....	27
2.7. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	28
2.7.1. Procedencia de los microorganismos eficientes	28
2.7.2. Activación de microorganismos eficientes (EM)	28
2.7.3. Ubicación y limpieza del terreno.....	29
2.7.4. Recolección de cáscaras de cacao	29
2.7.5. Instalación de composteras en la parcela.....	29
2.7.6. Apilado y dosificación de los tratamientos.....	30
2.7.7. Volteo de compost	30
2.7.8. Cosecha del compost	30
2.8. EVALUACIÓN DE VARIABLES	30
2.8.1. pH y temperatura durante el proceso de compostaje.....	30
2.8.2. Rendimiento del compost	31
2.8.3. Características físico-químicas del compost.....	31
2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1. pH Y TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	32
3.1.1. pH.....	32
3.1.2. Temperatura	34
3.2. RENDIMIENTO DE COMPOST	36
3.2.1. Contenido de humedad y materia seca de mazorcas.....	36
3.2.2. Rendimiento del compost	37
3.3. DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL COMPOST	38
3.3.1. pH.....	38
3.3.2. Conductividad eléctrica en el compost	39
3.3.3. Materia orgánica en el compost	40
3.3.4. Nitrógeno en el compost	41
3.3.5. Óxido de fósforo y potasio.....	42
3.3.6. Humedad en el compost.....	43
3.3.7. C/N en el compost.....	44
3.3.8. Óxido de calcio y magnesio	45
CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. <i>Extracción de nutrientes por el cultivo de cacao</i>	7
Tabla 1.2. <i>Recomendaciones de fertilización por planta de cacao</i>	8
Tabla 1.3. <i>Composición química de la cáscara de cacao</i>	9
Tabla 1.4. <i>Parámetros del compostaje</i>	15
Tabla 2.1. <i>Datos climatológicos correspondientes a la campaña agrícola 2021</i>	25
Tabla 2.2. <i>Composición de los tratamientos</i>	27
Tabla 2.3. <i>Insumos para la activación de microorganismos eficientes</i>	29
Tabla 3.1. <i>Del rendimiento de compost</i>	37
Tabla 3.2. <i>Análisis de varianza del rendimiento del compost</i>	37
Tabla 3.3. <i>Prueba de Duncan del rendimiento de compost</i>	38

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. <i>Temperatura y precipitación de 2021 - 2022, DRAC - Pichari</i>	24
Figura 2.2. <i>Distribución de las unidades experimentales</i>	28
Figura 3.1. <i>pH durante el compostaje</i>	32
Figura 3.2. <i>Temperatura durante el compostaje</i>	34
Figura 3.3. <i>Contenido de humedad y materia seca de mazorcas de cacao</i>	36
Figura 3.4. <i>pH en el compost</i>	38
Figura 3.5. <i>Conductividad eléctrica en el compost</i>	39
Figura 3.6. <i>Contenido de materia orgánica en el compost</i>	40
Figura 3.7. <i>Contenido de nitrógeno total en el compost</i>	41
Figura 3.8. <i>Contenido de fósforo y potasio en el compost</i>	42
Figura 3.9. <i>Contenido de humedad en el compost</i>	43
Figura 3.10. <i>Relación de C/N en el compost</i>	44
Figura 3.11. <i>Contenido de óxido de calcio y magnesio en el compost</i>	45

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Composición química del compost	55
Anexo 2. pH durante el proceso de compostaje.....	56
Anexo 3. Temperatura durante el proceso de compostaje	57
Anexo 4. Rendimiento del compost (%).....	58
Anexo 5. Contenido de humedad y materia seca en las mazorcas	59
Anexo 6. Resultados del análisis del compost.....	60
Anexo 7. Ubicación geográfica	61
Anexo 8. Distribución de unidad experimental por bloques	62
Anexo 9. Panel fotográfico	63

RESUMEN

El trabajo de investigación se ejecutó en el sector platanal, distrito de Pichari, provincia La Convención, región Cusco, ubicado a una altitud de 585 msnm; con el objetivo de evaluar el efecto de microorganismos eficientes y cal agrícola en la producción de compost a base de cáscaras de cacao. Se instaló un total de 16 composteras bajo cubierta plástica tipo invernadero, distribuidas en el Diseño de Bloque Completos al Azar, se evaluaron el pH y temperatura durante el proceso de compostaje, el rendimiento del compost al final del proceso, así como los parámetros de calidad. Los resultados muestran que tanto el pH como la temperatura no obtuvo diferencia estadística significativa durante el proceso de compostaje, mientras tanto en el rendimiento del compost existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos, el tratamiento T4 (con cal y EM) obtuvo el mayor rendimiento (39.9 %), siendo superior respecto a los demás tratamientos evaluados. En relación a la calidad del compost obtenido, la adición de 10 kg de microorganismos eficientes en 100 kg de cáscara de cacao durante el proceso de compostaje en los tratamientos T3 y T4 optimizaron el mayor rendimiento de compost en el T4 con (39.9%), incrementando los contenidos de materia orgánica T3 (52.92%), nitrógeno T4 (1.82%), óxido de fósforo T4 (0.68%), óxido de potasio T3 (3.38%), óxido de magnesio T3 (1.24%) y la adición de 10 kg de cal en 100 kg de cáscara de cacao durante el proceso de compostaje en los tratamientos T2 y T4, incrementaron el contenido de calcio en el T3 (8.26%) y el valor de pH (8.9) unidades.

Palabras clave: Microorganismos eficientes, cal agrícola, compost de cacao.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao en el Valle del Río Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM) es la principal fuente de ingreso económico de los agricultores, es un cultivo alternativo al cultivo de coca debido a la rentabilidad y la adaptabilidad en la zona. Se conoce que la producción anual por hectárea del cultivo de cacao genera un promedio de 9 toneladas de residuos de cáscaras de cacao, a partir del cual se estima que la producción de abono alcanzaría obtener 2 toneladas de compost de forma tradicional, a lo que DEVIDA (2021) refiere que con el fin de promover el cuidado del medio ambiente, productores cacaoteros producen compost con sus residuos de cosecha en el norte, centro y sur del Valle de los Ríos Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM), produciendo aproximadamente 48 toneladas de compost por año (p. 2). La producción del cacao que genera residuos agrícolas como la cáscara de cacao al no ser tratados, son hospederos de plagas y enfermedades como la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), mazorca negra (*Phytophthora palmivora*) y el mazorquero (*Carmenta foraseminis*), generando pérdidas económicas al agricultor, por ello la producción del compost resulta una alternativa adecuada, al respecto Osorno (2012) manifiesta que “una producción de compost a base de cáscaras de cacao es factible utilizar los microorganismos eficientes que ayudará a aumentar la calidad del compost mejorando la textura, las características físicas, contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio” (p. 52). Entre los microorganismos que en su mayoría participan en el proceso se conocen a las bacterias, hongos y actinomicetos que tienen la capacidad de degradar los residuos de las plantas como la celulosa y quitina; liberando los minerales contenidos en los desechos orgánicos y no afectan al medio ambiente en consecuencia consumen las sustancias que generan malos olores (Farrel, 2009, p. 12).

Otro recurso importante factible de emplear es la cal, con el objetivo de mejorar las condiciones del compost para la acción microbiana, además de mejorar algunos componentes nutritivos que aportaría la fuente, razón por la cual Vila (2019) refiere que “la incorporación de cal agrícola en el proceso del compost mejora las condiciones de

calcio y magnesio” (p.33). En tal sentido, en este trabajo se planteó hacer uso de microorganismos eficientes y cal agrícola en la elaboración de compost a base de cáscaras de cacao.

Objetivo general

Evaluar el efecto de los microorganismos eficientes y cal agrícola en la elaboración de compost con cáscaras de cacao.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de los microorganismos eficientes en la elaboración de compost con cáscaras de cacao.
2. Evaluar el efecto de cal agrícola en la elaboración de compost con cáscaras de cacao.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

Vila (2019) en la investigación “efecto de la Cuyaza en la elaboración de compost a partir de cáscara de mazorca de cacao (*Theobroma Cacao* L.) mediante el sistema de pilas con volteo en la comunidad de Malvinas-Kimbiri-VRAEM”, donde menciona que:

Realizó en la Estación Experimental Perla del VRAEM (INIA), mediante un sistema de apilamiento con volteo para ello se utilizó diferentes concentraciones de cuyaza donde el objetivo principal para la obtención de compost fue evaluar el efecto de cuyaza sobre CMC. Se dispuso la masa un total de 300 kg de residuos de CMC y 150 kg de cuyaza, para lo cual utilizó un diseño completamente al azar de un solo factor, con 5 tratamientos y 3 repeticiones (T1-20kg de CMC con 0 kg de cuyaza, T2-20kg de CMC con 5kg de cuyaza, T3-20kg de CMC con 10kg de cuyaza, T4-20kg de CMC con 15kg de cuyaza y T5-20 kg de CMC con 20 kg de cuyaza), a los 76 días se demostraron que existe diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que se demostró que la cuyaza influye significativamente en la cáscara de mazorca de cacao para la obtención de compost. (p. 11)

De la Cruz (2018) en su trabajo de investigación “determinación de dosificación de los Microorganismos Eficientes para compost a partir de la cáscara de *Theobroma Cacao* L. cacao Naranjos - Pardo Miguel - Rioja”, manifiesta que:

Se trata de determinar una dosis de aplicación óptima de los microorganismos eficientes (EM) para compost a partir de la cáscara de “*Theobroma cacao* L”, para ello se trabajó en el distrito de Naranjos-Pardo Miguel, se ensayaron cuatro dosis de EM en los tratamientos: al 0% el T0, 5% el T1, 15% el T2 y 20% el T3, dispuestos en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, utilizando 25 kg, residuo de la cáscara de cacao por unidad experimental. Las variables evaluadas fueron el contenido de: nitrógeno, fósforo,

potasio, relación carbono/nitrógeno, pH, temperatura y otros. En el resultado final del nitrógeno dentro de los tratamientos varían entre 1.35% a 1.49%, siendo el T1 con mayor concentración. El potasio en el T3 presenta mayor concentración con 2.25% y el más bajo de 1.9% el T0. Para el fósforo el T3 y T1, son similares y de mayor concentración. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza. El tratamiento 3 (dosis de EM al 20%) según la prueba de comparación de Duncan, resultó el más óptimo por que presentó el mayor valor numérico en las variables evaluadas. Los tratamientos 2 y 1, demostraron superioridad numérica y estadística frente al tratamiento testigo (T0). (p. 10)

Ortiz (2015) en el estudio “influencia de diferentes dosis de estiércol de ganado vacuno en la producción de compost a partir de cáscara de "cacao" (*Theobroma cacao* L.)", indica:

Que la aplicación de diferentes dosis de estiércol de ganado vacuno en la producción de compost a partir de la cáscara de “cacao” (*Theobroma cacao* L.), no influye significativamente respecto a la concentración de nitrógeno, es decir no existe tratamiento óptimo. En relación al fósforo el tratamiento que contiene dosis de 8 kg de estiércol es el más óptimo con mayor concentración promedio de 52.42 ppm. Asimismo, en el caso de potasio el tratamiento óptimo es el que no contiene estiércol de ganado con un nivel promedio de 1911.05 ppm. En cuanto a la relación carbono/nitrógeno tampoco existe un tratamiento óptimo. En cuanto al pH el tratamiento con 8 kg de estiércol es el más óptimo con un nivel de pH promedio 7,84 que se considera neutro por tanto se encuentra dentro de las condiciones óptimas de un buen compost. (p. 13)

Cabrera (2016) en la investigación “Propuesta para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores”, manifiesta que:

Con la presente propuesta, se buscó dar una solución sustentable a la gestión actual de los residuos orgánicos de las actividades de poda, evitando su disposición final en los insuficientes rellenos sanitarios de la ciudad de Lima, logrando su reintegración a las áreas verdes del distrito. La investigación se inició en agosto del 2012, en la Universidad Nacional Agraria La Molina, siendo desarrollada en el taller de conservación de suelos y agricultura sostenible (CONSAS); los análisis

físico-químicos y microbiológicos del producto final fueron realizados en los laboratorios de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (LASPAF) y Marino Tabusso, respectivamente. La propuesta piloto contempló desde la caracterización y pre tratamiento de los residuos, la comparación de cuatro distintas formulaciones para su tratamiento, el monitoreo y registro de parámetros durante el proceso de compostaje, el análisis cualitativo del compost final y su comparación con normativa internacional, la evaluación de la fitotoxicidad del compost en semillas de rabanito (*Crimson giant*) mediante la adaptación de la prueba Zucconi, la propuesta de distribución de una planta de compostaje acorde al requerimiento de compost del distrito y finalmente, la evaluación de rentabilidad de la propuesta de gestión. Los resultados obtenidos demostraron que el compost obtenido podría ser tipificado en la clase B según la norma chilena (NCh2880.Of2004). Se demostró la viabilidad económica y técnica de la producción n de compost, evitando enviar 230 Mg mensuales de residuos al relleno sanitario permitiendo ahorrar en valor presente S/. 5,106.22 nuevos soles al implementar la presente propuesta de gestión. (p. 14)

1.2. DEL CACAO

1.2.1. Condiciones edafoclimáticas del cultivo de cacao en el VRAEM

En relación a las exigencias edáficas y climáticas del cultivo de cacao Oblitas (2015), manifiesta que:

Las condiciones edafoclimáticas son favorables tales como suelo profundo, pH muy ácidos (pH: 4.5 – 5.5), con contenido ligeramente alto de M.O. (4.4%); de textura franca a franco-arcillosa y en algunos lugares cierto nivel de pedregosidad. El cultivo del cacao prospera desde los 400 msnm hasta los 1,200 msnm, actualmente se tiene una extensión de producción total de aproximadamente 10 mil toneladas al año cosechadas de unas 19,000 hectáreas plantadas, el cacao tiene un rendimiento de 850 kg/ha/año en la zona del VRAEM han sido clasificados en tres grandes grupos: criollos, forasteros y trinitarios. (pp. 75-76)

1.2.2. Mazorca de cacao

Respecto a las características morfológicas de la mazorca del cultivo de cacao Fernández (2016), describe que:

Los frutos son de tamaño, color y formas variables, pero generalmente tienen forma de baya, de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro, siendo lisos o acostillados, de forma elíptica y de color rojo, amarillo, morado o café. La pared del fruto es gruesa, dura o suave y de consistencia como de cuero. (p. 3)

Según Alsivar (2013), “los restos de mazorca de cacao son descompuestas dentro de la plantación con la finalidad de devolver al suelo los nutrientes extraídos en cada cosecha” (p. 46).

1.2.3. Extracción de nutrientes de cacao

En la cosecha y postcosecha de cacao una cantidad de nutrientes son extraídos en todo el proceso, pero todo depende del estado nutricional en el que se encuentren los cultivos; para un rendimiento de 1000 kg de mazorcas de cacao, se pierde un total de 30 kg de nitrógeno, 13 kg de calcio, 10 kg de magnesio y 8 kg de fósforo (Hernández, 2014, p. 12).

Desde la posición de Barrantes (2010), para un rendimiento de 1000 kg de mazorca se extrae “77 kg K₂O, 44 kg N y 10 kg P₂O₅, de los cuales retornarían al suelo 24 kg K₂O, 5 kg P₂O₅ y 2 kg de N, todo esto compensaría, si las cáscaras de cacao extraídas retornaran al suelo” (p. 8).

En tal sentido Giménez (2019) indica que “el cultivo de cacao para formar las estructuras externas de la mazorca realiza muchos gastos de nutrientes ya que todo cultivo utiliza en grandes cantidades de los nutrientes para la formación de frutos” (p. 24).

Tabla 1.1

Extracción de nutrientes por el cultivo de cacao

Estado de la planta	Edad de la planta	Requerimiento nutricional en kg/ha				
		N	P	K	Ca	Mg
Vivero	2 a 6	2.4	0.6	2.4	2.3	1.1
Crecimiento	28	136	14	151	113	47
Producción	50	438	48	633	373	129

Nota. Adaptado de *Desarrollos en la nutrición del cacao en los años setenta* (p. 24), revisión de la literatura. Birmingham Inglaterra

1.2.4. Fertilización del cacao

Según análisis de suelo y foliar se sabe en qué proporciones se encuentran los macronutrientes y micronutrientes consigo el nivel de pH que tiene, una vez analizado se pasa a interpretar, para realizar una buena dosificación de abonamiento y obtener una producción óptima, finalmente se recomienda abonar el suelo con productos orgánicos, como la roca fosfórica (P_2O_5), compost entre otros (Borrero, 2009, p. 2).

Tabla 1.2

Recomendaciones de fertilización por planta de cacao

Tiempo	Triple 15 o 12-24-12
1 año	(75 – 100) granos/planta/año
2 años	(150 – 225) granos/planta/año
3 años	(225 – 337) granos/planta/año
4 años	(375 – 562) granos/planta/año
5 años	(375 – 562) granos/planta/año
6 años en adelante	(562) granos/planta/año

Nota. Reproducido de *fertilización del cultivo de cacao en sitio definitivo* (p. 7), Borrero 2009.

La dosis que se muestran en la tabla 1.2 es establecido por planta en un año se debe aplicar por lo menos dos dosis y tres como máximo, aplicadas en temporadas de lluvia entre marzo – septiembre, la fertilización se debe realizar de forma circular al contorno de la planta una vez abonado se debe tapar ligeramente con hojarasca (Borrero, 2009, p. 7).

1.2.5. Restos de cáscara de cacao

En la opinión de Teneda (2019) a nivel de nuestro país, el cultivo de cacao está considerado entre los productos bandera ya que se:

Produce 46 mil toneladas de grano de cacao al año, el 1,2% de la producción mundial y aproximadamente, 140 mil toneladas de cáscara es desperdiciada cada año, la cáscara de cacao constituye el 80% del fruto y que su cáscara más que residuo puede convertirse en un insumo productivo muy rentable, ya que uno de los principales descubrimientos en la cáscara ha sido la pectina (p. 48).

Tabla 1.3

Composición química de la cáscara de cacao

Componente	%
Humedad	85
Proteína	1.07
Minerales	1.41
Grasa	0.02
Fibra	5.45
Carbohidratos	7.05
N	0.171
P	0.026
K	0.545
Pectinas	0.89

Nota: Extraído de *Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (P. 4), Mejía, 2011.*

1.3. DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Respecto al concepto de los residuos sólidos orgánicos, Flores (2001) manifiesta lo siguiente:

Son aquellos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente), se desintegran o degradan rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica como son los restos de comida, frutas, verduras, carne, huevos u otros que pueden tener un tiempo de degradación más lento, como el cartón y el papel. Se exceptúan de estas propiedades al plástico, porque a pesar de tener su origen orgánico, posee una estructura molecular más complicada. (p. 8)

De la misma forma, en la concepción de Meléndrez y Sánchez (2019), los residuos sólidos orgánicos son:

Los sedimentos biodegradables de los animales y las plantas, a menudo, son reutilizables, cómo los restos de verduras y frutas, estos desechos se pueden recuperar y hacer uso para la elaboración de abonos orgánicos que contribuyan al cuidado y protección del medio ambiente. (p. 21)

1.3.1. Clasificación de los residuos sólidos orgánicos

Respecto al origen y la clasificación de los residuos sólidos orgánicos, Córdova (2016) manifiesta que:

Los orígenes de los residuos sólidos están relacionados con el uso del suelo (residencial, comercial, industrial, entre otros) y varían según la localización donde se generen; también dependen del nivel tecnológico y cultural de las sociedades. En nuestro territorio, la clasificación que se realiza a los residuos sólidos se encuentra tipificado en el artículo 15 de la Ley General de Residuos sólidos (Ley N° 27314 – Perú) y está basada en su origen:

- Residuo domiciliario
- Residuo comercial
- Residuo de limpieza de espacios públicos
- Residuo de establecimiento de atención de salud
- Residuo industrial
- Residuo de las actividades de construcción
- Residuo agropecuario
- Residuo de instalación o actividades especiales. (p. 6)

1.4. DE LOS ABONOS ORGÁNICOS

En relación al concepto de abono orgánico y el proceso de formación, Ramos (2014), manifiesta que el:

Abono orgánico es el resultado de la descomposición natural de los materiales orgánicos por acción de los microorganismos que se encuentran presentes en el medio, estos digieren los materiales, transformándolos en otros benéficos que aportan nutrientes al suelo y por consiguiente, a las plantas que crecen en él. Es un proceso controlado y acelerado de descomposición de los residuos, que puede ser tanto aeróbico o anaeróbico, obteniendo un producto estable de un alto valor que actuará como mejorador del suelo. (p. 15)

Por su parte, Iparraguirre (2007) respecto los “abonos orgánicos se clasifican según su fuente principal de nutrientes, los mismos que son liberados gracias a la actividad microbiana. Se subdividen en abonos orgánicos procesados (materia prima estabilizada) y no procesados (aplicación directa sin previa descomposición)” (p. 115).

1.4.1. Tipos de abonos orgánicos

a) El compost

El compost, es una enmienda orgánica obtenida a partir de “tratamiento aerobio y termófilo de residuos biodegradables de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes y establecimientos de consumo al por menor y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos, recogidos separadamente” (Ansorena, 2016, p. 4).

b) El bokashi

Según manifiestan Ramos y Terry (2014), el bokashi es un abono orgánico que ha sido utilizado por los:

Agricultores japoneses desde hace ya muchos años, bokashi es una palabra japonesa que significa “materia orgánica fermentada”, este abono se deja descomponer en un proceso aeróbico de materiales de origen animal o vegetal. Su uso activa y aumenta la cantidad de microorganismos en el suelo, así como mejora sus características físicas y suple a las plantas con nutrimentos manifiesta. (p. 3)

c) Lombricompost

Según Ruíz (2011), el lombricompost, es una enmienda orgánica obtenida a partir de un proceso de la:

Acción conjunta de microorganismos y lombrices para procesar material orgánico y obtener un producto comercializable, así mismo manifiesta que es un material similar a la tierra, producido a partir de residuos orgánicos, alto en nutrientes y utilizado comúnmente como mejorador de suelos o sustituto de fertilizantes. (p. 6)

d) Los abonos verdes

Según manifiestan Castro (2018), el abono verde es un abono orgánico que viene siendo utilizado en las:

Últimas décadas en Latinoamérica, y se han evaluado distintas especies de leguminosas como abonos verdes y cultivos de cobertura en diferentes sistemas de producción, por ejemplo, el fríjol terciopelo (*Mucuna spp.*) en sistemas de maíz, otros ejemplos de leguminosas evaluadas son: *Dolichos lablab*, *Vicia faba* y *Phaseolus coccineus*. También hay una serie de leguminosas de clima cálido

(*Canavalia ensiformis*, *Centrosema pubescens*, *Clitoria ternatea*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Desmanthus virgatus*, *Indigofera tinctoria*, *Lablab purpureus*, *Macroptilium atropurpureum*, *Mucuna aterrima*, *Mucuna pruriens*, *Stylosanthes guianensis*, *Teramnus uncinatus*, *Vigna mungo*, *Vigna radiata* y *Vigna unguiculata*) que han sido evaluadas como abono verde, con aportes de N entre 60 y 300 kg/ha. (p. 7)

e) Extractos húmicos y fúlvicos

En relación a los ácidos húmicos y fúlvicos, Smart Agriculture (2020) manifiesta que son un grupo de:

Moléculas heterogéneas presentes en los suelos, siendo la parte activa de la materia orgánica, los ácidos húmicos están compuestos por una mezcla de moléculas carbónicas complejas que se forman por descomposición y oxidación de materia orgánica, las sustancias húmicas representan hasta el 80% del COT (carbono orgánico total) del suelo, así manifiesta que son compuestos orgánicos disueltos en aguas naturales y están formados por la degradación microbiana de la materia vegetal muerta, como la lignina y el carbón, un proceso similar a la humificación. (p. 2)

f) Abonos líquidos

En relación a los abonos líquidos, Calvo (2020) manifiesta que, como en todos los abonos orgánicos, en los:

Fertilizantes líquidos también podemos distinguir entre fertilizantes de fondo o NPK y fertilizantes nitrogenados líquidos o de cobertera, pueden llevar también micronutrientes como el azufre, boro, molibdeno, etc., es importante remarcar que podemos encontrar casi cualquier combinación de nutrientes en este tipo de fertilizantes, por lo que tienen gran versatilidad. (p 3)

1.5. DEL COMPOSTAJE

Según la Organización Mundial de la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2013), el compostaje se:

Trata de un proceso controlado que libera calor, se lleva a cabo en presencia de oxígeno (aeróbico) y humedad y degrada la materia orgánica hasta convertirla en un material estable y útil como fertilizante o como sustrato, en realidad, el

compostaje imita la degradación natural de la materia orgánica, pero lo hace de forma más eficiente y controlada. (p. 21)

1.5.1. Proceso de elaboración de compost

El compostaje “es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas” (FAO, 2013, p. 23)

1.5.2. Fases del proceso de elaboración de compost

Las fases del proceso de elaboración del compost son:

a) Fase mesofílica

La FAO (2013), respecto a la fase mesofílica del proceso de elaboración del compost, manifiesta que:

El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días). (p. 23)

b) Fase termofílica o de higienización

La FAO (2013), respecto a la fase termofílica del proceso de elaboración del compost, manifiesta que:

Cuando el material alcanza temperaturas mayores a los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina, esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores. Esta fase también recibe el nombre de fase

de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* (p. 23)

c) Fase de enfriamiento o mesófila II

La FAO (2013), respecto a la fase mesófila del proceso de elaboración del compost, manifiesta que:

En esta etapa, los polímeros como la celulosa continúan descomponiéndose, revelando hongos que son visibles a simple vista, cuando la temperatura desciende por debajo de los 40 °C, los organismos mesófilos reanudan su actividad y el pH del medio desciende ligeramente, pero generalmente el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta etapa de enfriamiento dura varias semanas y puede confundirse con la etapa de maduración. (p. 24).

d) Fase de maduración

La FAO (2013), respecto a la fase de maduración del proceso de elaboración del compost, manifiesta que es el “período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos” (p. 24).

1.5.3. Utilidad de compost

La FAO (2013), respecto a la utilización del abono orgánico denominado compost, manifiesta que se:

Puede aplicar semimaduro (en fase mesófila II) o ya maduro, el compost semimaduro tiene una elevada actividad biológica y el porcentaje de nutrientes fácilmente asimilables por las plantas es mayor que en el compost maduro de tal forma al tener un pH no estable aún (tendiendo a la acidez), puede afectar negativamente a la germinación, por lo que este compost no se usa para germinar semillas, ni en plantas delicadas. La aplicación del compost semimaduro de 4 – 5 kg/m² en el terreno previamente labrado, en cultivos extensivos, la aplicación es de 7 – 10 t/ha de compost. (p. 42)

1.5.4. Calidad del compost

Según manifiesta Soliva (2014), la calidad del compost está “determinada por la suma de las distintas propiedades y características. Los criterios relevantes en la

evaluación de la calidad son: destino del producto, protección del entorno, requerimientos del mercado” (p.2).

Bautista (2018), menciona que “la calidad de los materiales compostados se puede evaluar de varias técnicas, pero existen dos aspectos fundamentales que deben ser considerados para el uso agrícola: su estabilidad y madurez” (p. 38).

Tabla 1.4

Parámetros del compostaje

Parámetros	Rango ideal del compost maduro
C/N	10:1 - 15:1
% Humedad	30 – 40
pH	6.5 - 8.5
%Materia orgánica	>20
% Nitrógeno	0.3 - 1.5
% Fósforo	0.1 - 1.0
% Potasio	0.3 - 1.0

Nota: Manual de compostaje del agricultor, FAO, 2013 (p.33).

Una enmienda orgánica es de calidad cuando reúne las características como aspecto y olor aceptable, higienización correcta, las impurezas y los contaminantes deben estar a nivel de trazas, por ello, los factores que se consideran están contemplados en las propiedades física, químicas y biológicas de los productos, todo ello, con la única finalidad de conocer el comportamiento general del compost. Si muestran que el producto de una planta de compostaje que se ha realizado tiene más del 75% de las muestras analizadas y se ubican dentro de las márgenes indicadas se dirá que ese compost es de una buena calidad y es bueno como fertilizante. Pero si el compost está bajo de nutrientes este será descartado como fertilizante (FAO, 2013, p. 25).

1.6. DE LOS MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM)

Los EM surgen desde la década de los años 60, aunque los mayores avances comienzan con los estudios del profesor de horticultura Teruo Higa, de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa aproximadamente en 1970, deduciéndose que los EM es una mezcla de varios microorganismos benéficos, este

investigador se motivó por la búsqueda de algunas alternativas que puedan remplazar los fertilizantes y pesticidas, al inicio los EM se ha utilizado como adicionador de suelo, hoy en día es usado para el manejo de desechos sólidos y con esto, la producción de compost en tiempos más cortos (Quispe & Chávez, 2017, p. 3).

1.6.1. Compost con microorganismos eficientes

Respecto a la composición del compost con microorganismos eficientes, Fundases (2006), manifiesta que:

Los (EM – Compost) tiene la ventaja con respecto al compost común que los usos de los microorganismos efectivos aceleran la descomposición de la materia orgánica y neutralizan los malos olores generados en el proceso. Además, los microorganismos eficientes se reproducen en esta materia orgánica por lo que al aplicarlo al suelo estamos haciendo una inoculación de microorganismos beneficiosos. (p. 9)

Por su parte, Alvarado (2016), en relación al proceso de preparación de compost-microorganismos eficientes, manifiesta que:

Consiste en la descomposición de los residuos orgánicos (cáscaras de cacao, pulpa de café, residuos de cocina, excremento de animales) introduciendo microorganismos eficientes como bacterias, ácido– lácticas, levaduras y hongos, acelerando el proceso de descomposición obteniendo así abonos orgánicos como compost y biol en 25 a 45 días dependiendo de su manejo. (p. 32)

1.6.2. Importancia de los microorganismos eficientes (EM)

Según Tanya (2019), el fundamento de la importancia de los microorganismos eficientes se sustenta porque son:

Inoculantes microbianos, reestablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas, incrementando la producción de los cultivos y su protección; además, conserva los recursos naturales, generando una agricultura sostenible. Entre los efectos sobre el desarrollo de los cultivos se pueden encontrar:

- Aumento de la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas, por su efecto hormonal, similar al del ácido giberélico.

- Aumento del vigor y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia de las plántulas, por su efecto como rizo bacterias promotoras del crecimiento vegetal.
 - Incremento de las probabilidades de supervivencia de las plántulas.
 - Genera un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades en las plantas, donde pueden inducir la resistencia sistémica de los cultivos a enfermedades.
 - Consume los exudados de raíces, hojas, flores y frutos, evitando la propagación de organismos patógenos y desarrollo de enfermedades.
 - Incrementa el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos.
 - Promueven la floración, fructificación y maduración por sus efectos hormonales en zonas meristemáticas.
 - Incrementa la capacidad fotosintética por medio de un mayor desarrollo foliar.
- (p.43)

A nivel del suelo, los microorganismos eficientes que se encuentran en el suelo presentan un mejoramiento de las características físicas en su estructura, reduciendo la compactación, aumentando los espacios porosos, mejorando la infiltración de agua; también presentan efectos microbiológicos ya que reduce y controla la reproducción de microorganismos patógenos, aumenta la biodiversidad microbiana generando condiciones favorables para que los microorganismos benéficos nativos se propaguen, actuando también como un controlador de enfermedades (Ibáñez, 2011, p. 112).

1.6.3. Usos de los microorganismos eficientes (EM)

Una manera de usar los microorganismos eficientes en la agricultura depende mucho de la zona, la calidad de los suelos, el clima, el tipo de cultivo, por ello, con la aplicación de microorganismos eficientes, el suelo tendrá la capacidad de retener más agua, esto mejora que los cultivos incrementen su resistencia al estrés hídrico en tiempos de sequía, esto debido a que se incrementa la materia orgánica al suelo, se reduce la porosidad por la actividad microbiana (Leiva, 2012, p. 22).

a) En semilleros

Según Leiva (2012) “existe aumento de la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas por su efecto hormonal, similar al del ácido giberélico, aumento del vigor

y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia de las plántulas” (p. 24).

b) En las plantas

En relación a la trascendencia de los microorganismos eficientes en las plantas, Leiva (2012) manifiesta que:

Genera un mecanismo donde empieza a suprimir insectos y enfermedades en las plantas, por ello pueden inducir la resistencia sistémica de los cultivos a ciertas enfermedades, actúan consumiendo los exudados de raíces, hojas, flores y frutos, evitando así la propagación de organismos patógenos y el desarrollo de enfermedades, favoreciendo al crecimiento, calidad y productividad de los cultivos, promueve la floración, fructificación y maduración; aparte de ello, incrementan la capacidad fotosintética (Leiva, 2012, p. 26).

c) En los suelos

Según Leiva (2012) “los efectos de los microorganismos en el suelo, están enmarcados en el mejoramiento de las características físicas, químicas, biológicas y supresión de enfermedades” (p. 26).

1.6.4. Microorganismos eficientes activo (EM-1)

Los microorganismos eficientes se encuentran inactivos, por ello, antes de usarse se debe activar, ya que contiene más población de microorganismos benéficos. Para activarlo se debe adicionar 5% de EM-1 (contiene microorganismos útiles y seguros) y 5% de melaza diluido en un 90% de agua en un recipiente cerrado enseguida se deja fermentar durante una o dos semanas.

Cuando el proceso de activación esté completo empezaremos a notar un olor agridulce y un pH de 3.5, esta activación solo se debe realizar una sola vez y utilizar los mismos materiales y el volumen mencionado, ya que si no se realiza una buena activación afectará en la calidad por consiguiente no trabajará ni actuará las bacterias en el sitio (Higa, 2013, p. 36).

1.6.5. Tipos de microorganismos eficientes

Cuando el pH esta debajo de 3 disminuye el crecimiento bacteriano progresivamente y el tipo de bacterias que dominan son los hongos. En ambientes de pH bajo, dominan bacterias fermentativas, como las lácticas, las anaerobias. Cuando el pH está alto por arriba de 6 dominan las bacterias (Cervantes, 2017, p. 23).

a) Las bacterias ácido lácticas (BAL) (*Lactobacillus casei* y *Lactobacillus plantarum*)

En relación a la utilización de las bacterias ácido lácticas (BAL), Higa (2013) manifiesta que son microorganismos que:

Tienen diversas aplicaciones, siendo una de ellas la fermentación de alimentos, aparte de ello, promueven la degradación de la lignina y la celulosa, acelera la descomposición alimentándose de la materia orgánica siendo resistentes a condiciones de acidez bajando el pH del sustrato e inhibiendo competidores. (p. 9)

b) Levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*)

Según Hernández (2019) “Las levaduras son microorganismos con los que comúnmente estamos en contacto, encontrándolas en plantas, animales e insectos e incluso, algunas especies pueden considerarse patógenas” (p. 9).

c) Bacterias fototróficas (fotosintéticas) (*Rhodospseudomonas palustris*)

En relación a la utilización de las bacterias fototróficas, Higa (2013) manifiesta que son microorganismos que:

Crece con o sin oxígeno, puede utilizar la luz, compuestos inorgánicos o compuestos orgánicos para obtener energía, obtiene carbono de cualquier compuesto derivado, también pueden fijar el nitrógeno; además, sintetizan azúcares de cadenas simples que sirven de alimento a otros microorganismos (entre otros las levaduras y las bacterias ácido lácticas). (p. 9).

d) Actinomicetos

Cervantes (2017), los actinomicetos son “bacterias lamentosas con cierta similitud con los hongos, solubilizan la pared celular o componentes de las plantas, tienen gran

importancia en el compostaje y en la formación de suelos. Algunas especies de actinomicetes pueden ser endótos en tejidos vegetales” (p. 12).

e) Hongos

En relación a la importancia que tiene los hongos, Cervantes (2017) manifiesta que son microorganismos que:

Poseen requerimientos relativamente bajos de nitrógeno, esto les brinda una ventaja competitiva al momento de la descomposición de materiales como la paja y la madera.

Los hongos contribuyen en los procesos de mineralización del carbono orgánico del suelo; además, una cierta cantidad de los hongos son antagónicos de especies patógenas, por otro lado, estos poseen la capacidad de reproducirse tanto sexual como asexualmente. (p. 12)

1.6.6. EM – compost

Respecto a los microorganismos eficientes EM–compost, el Laboratorio BIOEM (s.f.) manifiesta que:

El EM-compost es el nombre comercial del producto: Concentrado de microorganismos eficientes que acelera y enriquece el proceso de compostaje de residuos orgánicos de producción agrícola, animal e industrial.

Enriquece el compost u otros abonos orgánicos con microorganismos benéficos y sustancias como aminoácidos, enzimas, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles.

Incrementa la eficiencia como fertilizante, aumenta la disponibilidad de los nutrientes presentes en los residuos orgánicos, principalmente nitrógeno y fósforo. Refuerza el proceso fermentativo (y no oxidativo) que no es apto para el desarrollo de patógeno ni malos olores y por tanto disminuye plagas como moscas.

Acelera la degradación de materia orgánica (ahorro en tiempo, espacio y mano de obra) disminuyendo el uso de maquinarias y los costos de infraestructura.

Baja los niveles de C.E. (conductividad eléctrica) y metales pesados. (p. 1)

a) Activación

Respecto a la activación de los microorganismos eficientes EM–compost, el Laboratorio BIOEM (s.f.) manifiesta que:

El EM-compost está en latencia (inactivo), para conservar a largo plazo, por lo tanto, antes de usarlo hay que activarlo. El activado consiste en diluir 5% de EM-compost y 5% de melaza en 90% de agua limpia en un recipiente herméticamente cerrado. Se deja reposar la mezcla durante siete días. Un olor agrídulce y un pH de 3.5 o menos indican que el proceso de activación está completo. (p. 1)

b) Dosis de aplicación

Respecto a la dosis de aplicación de los microorganismos eficientes EM-compost, el Laboratorio BIOEM (s.f.) manifiesta que se “recomienda usar 20 litros microorganismos eficientes activado por cada 10 toneladas de materia orgánica a compostar. 20 litros microorganismos eficientes activado por hectárea vía sistema de riego. (p. 1)

1.7. DE LA CAL AGRÍCOLA

Según Dungla (2020) la cal agrícola “genera un efecto positivo para que vuelvan a estar los nutrientes que tiene disponibles, un suelo al estar demasiado ácido o muy alcalino las raíces no crecen adecuadamente, por ello, debe haber un equilibrio del pH” (p. 3).

En relación a los beneficios que ofrece la cal agrícola, Dungla (2020) manifiesta que un programa de encalado:

- Mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.
- Mejora la fijación simbiótica del nitrógeno (N) en las leguminosas.
- Influye en la disponibilidad de nutrientes para la planta.
- Reduce la toxicidad de algunos elementos minerales.
- Mejora la efectividad de ciertos herbicidas.
- Aporta calcio (Ca), magnesio (Mg), y otros nutrientes minerales. (p. 3)

La cal agrícola es como un protector para el suelo y está elaborado de piedra caliza que se encuentra triturada, esta cal funciona cuando se disuelve con el suelo liberando su potencial haciendo que disminuya la acidez del suelo. Cuando el pH del suelo esté neutro, el cultivo se desarrollará adecuadamente, dándole buenos beneficios al hermano agricultor (Fernández, 2016, p. 12).

1.7.1. Cal en el suelo

Castellano (2014) manifiesta que cuando realizamos el análisis de nuestro suelo y obtenemos que tiene un pH de 5.5 o menor, hace que el suelo no absorbe algunos de los minerales esenciales que necesitan las plantas como el magnesio y el hierro, por ello, para solucionar ese problema de acidez es recomendable encalar (p. 35).

a) Encalar

Encalar es la acción de adicionar cal a un suelo cultivable y para hacerlo se pueden utilizar diferentes tipos de materiales, entre los cuales destacan: carbonato de calcio, carbonato de calcio y magnesio (dolomita), óxido de calcio dependiendo de las demandas nutricionales y condiciones del suelo, el tipo de cultivo o disponibilidad es que se puede emplear cada uno de ellos (Dungla, 2020, p. 29).

b) Carbonato de calcio

Dungla (2020) menciona que el carbonato de calcio, el principal componente de la piedra caliza, es una enmienda muy utilizada para neutralizar la acidez del suelo y suministrar calcio (Ca) para la nutrición de las plantas. El término “cal” puede referirse a varios productos, pero en el uso agrícola generalmente se refiere a la piedra caliza molida (p. 30).

c) Dolomita

Dungla (2020) menciona que la dolomita es un carbonato doble de calcio y magnesio, su fórmula química es $(Ca Mg (CO_3)_2)$; contiene el 30.41% de CaO, 21.86% de MgO y el 47.73% de CO₂, es más que una simple variante de la caliza, en su forma más pura, por lo general se presenta en cristales romboédricos y, por lo tanto, estos cristales son de hábito deformado, muy aplastados en formas masivas como curvos en forma de silla de montar (compactadas) o bien en forma de pequeñas geodas (en dolomías). Como impurezas puede contener hierro y manganeso, su color varía entre blanco, gris rosado, rojizo, negro, a veces, con matices amarillento, parduzco o verdusco, predominando el incoloro o blanco grisáceo (p. 31).

d) Óxido de calcio

Dungla (2020), manifiesta que el óxido de calcio o Cal viva es el resultado de la selección y calcinación en hornos del carbonato de calcio crudo escogido en las minas; el

resultado es una cal viva usada como fuente de calcio, es un producto el cual reacciona inmediatamente al contacto del agua, calentándose rápidamente y formando un hidróxido de calcio o cal apagada (p. 33).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

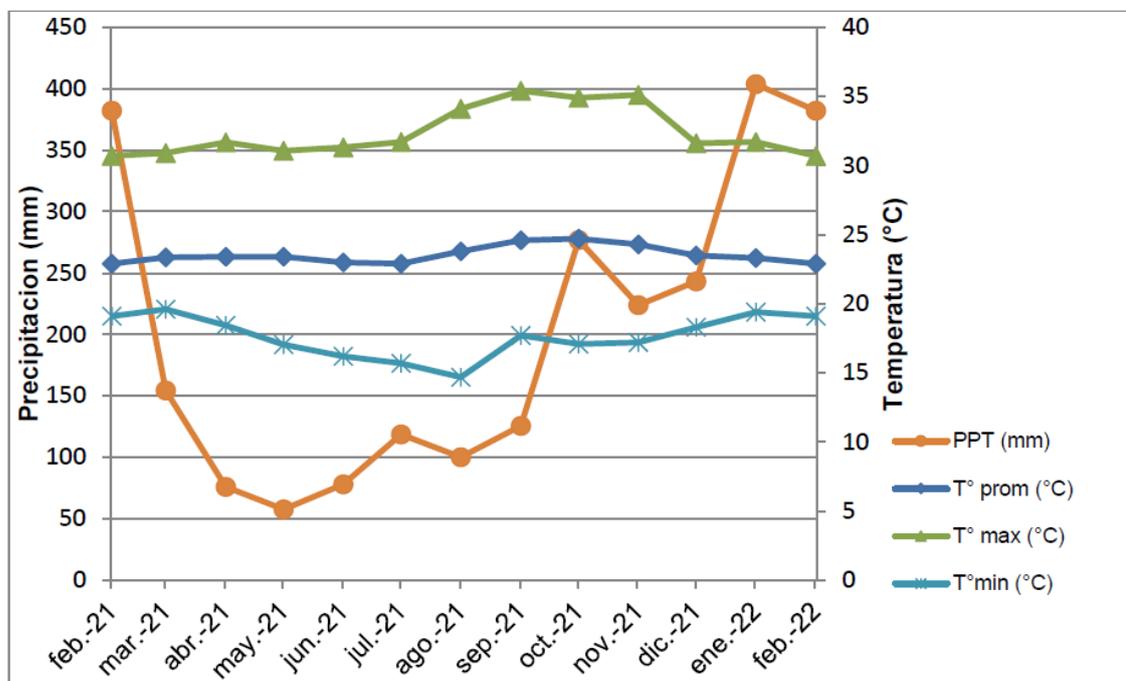
El trabajo de investigación se realizó en el sector denominado platanal, ubicado en el distrito de Pichari, provincia de La Convención, departamento Cusco a una altitud de 585 msnm, que geográficamente se ubica a 628785.92 E, 8612927.66 N.

2.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL DISTRITO DE PICHARI

Las condiciones climatológicas del distrito de Pichari, se resumen en la figura 2.1 y tabla 2.1.

Figura 2.1

Temperatura y precipitación de 2021 - 2022, DRAC – Pichari



Nota: Estación Meteorológica Pichari – Perlas del VRAEM.

Tabla 2.1

Datos climatológicos correspondientes a la campaña agrícola 2021

Estación meteorológica	: Pichari	Altitud	: 585 msnm
Distrito	: Pichari	Latitud	: 12°13' LS
Provincia	: La Convención	Longitud	: 73°49'30 LW
Departamento	: Cusco		

DATOS CLIMÁTICOS	AÑO 2021												TOTAL ANUAL	TEMP MED
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC		
T° Max med-men (°C.)	29	29.5	30	31.1	30	30.3	32	33.2	34.8	34.6	34.9	30		30.7
T° Min med-men (°C.)	17	18	18.5	17	16.6	16.5	16.3	14.8	17.5	17.9	17.9	18.5		17.25
T° Med-men (°C.)	24	24.5	24.5	24.8	24.5	24	24	25	25.3	25.5	24.8	24.5		24.5
Precipitación total (mm)	307.8	383.5	356.5	438.8	108.5	126.6	40.5	140	75.6	222.2	109.8	238.6	2164.9	
Precipitación efectiva (mm)	104.95	104.95	104.95	104.95	75.56	85.8	17.73	89.3	46.58	104.15	74.25	104.15	1017.32	
Evapotranspiración potencial (mm)	345.18	299.9	301.4	258.68	225.12	195.12	208.45	246.08	269	322.54	326.25	345.2	3342.92	
Fc (corrección)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32		
Evapotranspiración corregida (mm)	104.58	91.48	91.48	79.82	69.8	59.82	63.12	75.56	81.82	98.89	99.12	105.65		
Humedad del suelo (mm)	-0.01	12.31	11.12	26.12	6.25	27.12	-49.36	19.85	-32.2	4.25	-30.02	-0.12		
Exeso de humedad (mm)		12.31	11.12	26.12	6.25	27.12		19.85		4.25				
Deficit de humedad (mm)+B1:P13	0.01						49.36		32.2		30.02	0.12		

Nota: Estación Meteorológica Pichari – Perlas del VRAEM.

En la tabla 2.1, reporta el comportamiento climático registrado durante la producción del compost, observándose las siguientes características; las temperaturas máximas media mensuales, correspondiente a los meses de junio, julio y agosto, meses en que se realizó la investigación fluctuó entre 30°C y 33.2°C, iniciándose el periodo donde resultaron los mayores incrementos, siendo la máxima media anual de 30.7°C. Con relación a la temperatura mínima media mensual osciló entre 14.8°C y 16.3°C, la temperatura media anual fue de 24.5°C; la precipitación pluvial durante el año 2021 fue de 2164 mm; mientras que la precipitación efectiva registra 1017.32 mm.

Durante el periodo de investigación, el inicio de los incrementos de la temperatura máxima media mensual, favoreció en el incremento de la temperatura en los tratamientos durante el proceso de compostaje; en cuanto a la precipitación pluvial se mantuvo de manera óptima ya que no hubo la necesidad de regar las camas compostadas, se observó la humedad por encima de 50% durante el proceso de compostaje.

2.3. MATERIALES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EMPLEADOS

2.3.1. Materiales orgánicos

- Microorganismos eficientes (EM)
- Restos de cacao
- Melaza

2.3.2. Recursos inorgánicos

- Cal agrícola

2.3.3. Equipos

- Peachímetro digital
- Termómetro digital
- Cámara digital
- Laptop

2.4. TRATAMIENTOS

Los tratamientos resultan de la combinación de dos factores (EM: sin y con; cal: sin y con) y los mismos se describen en la tabla 2.2

Tabla 2.2

Composición de los tratamientos

Tratamientos	Composición
T1	100 kg de cáscara de cacao (testigo)
T2	100 kg de cáscara de cacao + 10 kg de cal agrícola
T3	100 kg de cáscaras de cacao + 10 kg de microorganismos eficientes.
T4	100 kg de cáscara de cacao + 10 kg de cal agrícola + 10 kg de microorganismos eficientes.

2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos descritos en la tabla 2.2 se distribuyeron en cuatro lugares (bloques), por lo que el diseño experimental corresponde a un diseño de bloques completos al azar (DBCA).

El modelo aditivo lineal (MAL) es:

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la observación realizada en la unidad experimental que recibió el tratamiento.

U: Es la media general.

B_j : Efecto del j-esimo bloque

T_i : Efecto del i-esimo tratamiento

E_{ij} : Error experimental (la prueba de hipótesis se realizó mediante el análisis de varianza).

2.6. DESCRIPCIÓN DE UNIDADES EXPERIMENTALES

2.6.1. Medidas de unidades experimentales

Largo : 3 m

Ancho : 3 m

Área : 9 m² (con capacidad de producir 120 kg de compost por cama)

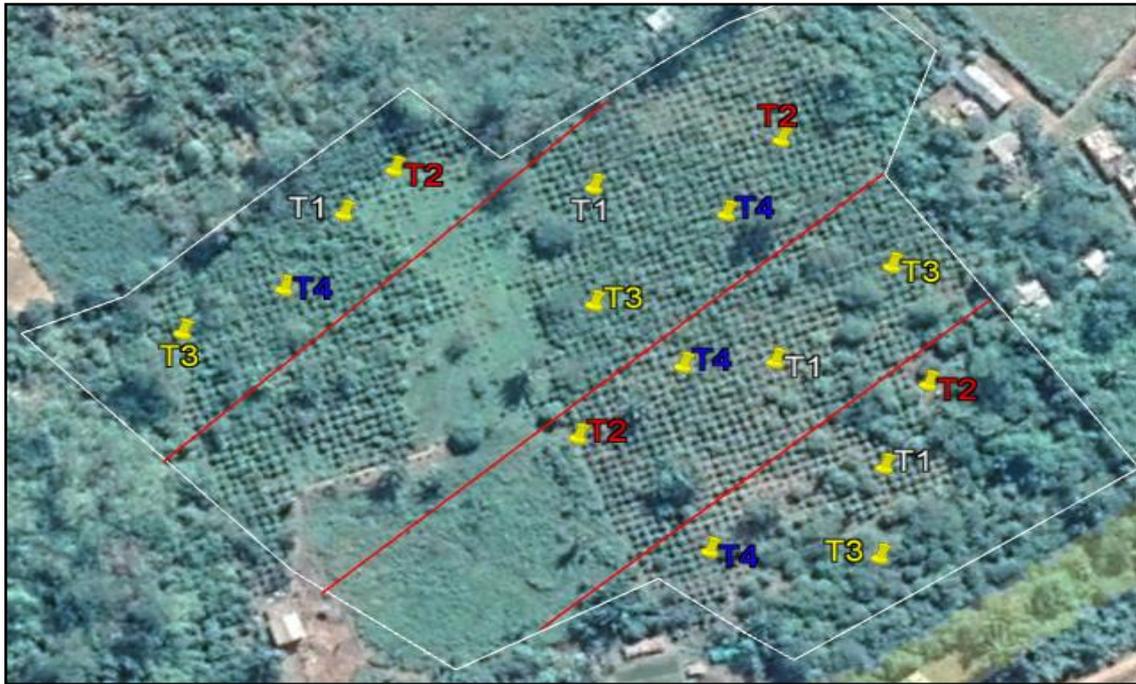
La distribución de unidades experimentales se observa en la figura 2.2

2.6.2. Ubicación de unidades experimentales

Número de unidades experimentales por bloque: 4

Figura 2.2

Distribución de las unidades experimentales



2.7. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

2.7.1. Procedencia de los microorganismos eficientes

Los microorganismos eficientes se adquirieron en tiendas de agroquímicos en su presentación de “EM – compost” en solución líquida que es un inoculante biológico elaborado a base de microorganismos con acción simbiótica en donde su función principal es acelerar la descomposición de la materia orgánica, reduciendo los malos olores y la presencia de moscas, además de incrementar la calidad nutricional y biológica del compost.

La recomendación de dosis de aplicación según su ficha técnica es emplear 20 litros EM-compost activado por cada 10 toneladas de materia orgánica a compostar.

2.7.2. Activación de microorganismos eficientes (EM)

Para el uso de los microorganismos eficientes en la dosificación de los tratamientos se realizó el proceso de activación, para lo cual, se emplearon los insumos que figuran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3*Insumos para la activación de microorganismos eficientes*

Componentes	Cantidad
EM (microorganismos eficientes)	4 l
Agua	36 l
Aserrín	80 kg
Melaza	4 kg

Para la activación de microorganismos eficientes se preparó la mezcla de 4 l de EM más los 36 l de agua natural del riachuelo del centro poblado de Omayá y 4 kg de melaza, una vez realizada la mezcla se dispuso en baldes de 18 l y se dejó reposar por un tiempo de seis días para que los microorganismos se activen en forma anaeróbica, culminando se realizó el mezclado de 2 l de microorganismos eficientes activado más 2 kg de aserrín con la finalidad de obtener mayor tiempo de vida a los microorganismos para la dosificación según los tratamientos.

2.7.3. Ubicación y limpieza del terreno

La parcela está ubicada en el sector platanal del distrito de Pichari, donde se procedió con la ubicación para la instalación de 16 camas composteras de manera estratégica en lugares que ayuden en la recolección y quiebre de las mazorcas después de la cosecha del cultivo de cacao, luego se prosiguió con la limpieza de las áreas elegidas.

2.7.4. Recolección de cáscaras de cacao

Se recolectaron las cáscaras de cacao en áreas de cultivo donde realizaron la cosecha, amontonamiento, quiebre, extracción de grano y limpieza del terreno. Se obtuvo 100 kg de cáscara de cacao en cada lugar identificado con un promedio de 46 % de humedad, sumando un total de 1600 kg de cáscara de cacao para las 16 camas composteras.

2.7.5. Instalación de composteras en la parcela

Se instaló 16 composteras bajo cobertura a manera de invernadero, utilizando plásticos dobles y tablas de madera que son materiales propios de la zona, las medidas consideradas fueron de 3 x 3 m y se colocaron 100 kg de cáscara de cacao en cada unidad experimental con sus respectivas dosificaciones indicadas en la tabla 2.2.

2.7.6. Apilado y dosificación de los tratamientos

Una vez recolectado las cáscaras de cacao se realizó el apilado a cada cama instalada utilizando las tablas de 3 m de largo y 3 m de ancho, la dosificación de los tratamientos se realizó al momento de apilar a las camas por cada tratamiento de forma aleatoria por bloques según la tabla 2.2.

2.7.7. Volteo de compost

Esta actividad de volteado se realizó cada 7 días (previa evaluación de temperatura y pH), utilizando una pala tipo cuchara, con la finalidad de homogenizar y facilitar la oxigenación de la materia orgánica para que los microorganismos actúen eficazmente en la descomposición.

2.7.8. Cosecha del compost

Una vez culminada con el proceso de compostaje que duró 10 semanas (70 días), se realizó la cosecha del compost, se realizó el zarandeo por cada bloque y tratamientos, culminando la actividad del zarandeo se extrajo la muestra de las 16 camas composteras, se extrajo una muestra de 0.5 kg por cada cama compostada sumando un total de 2 kg por bloque de donde se realizó el mezclado por cada tratamiento con la finalidad de homogenizar y enviar 0.5 kg de muestra por cada bloque al laboratorio para el análisis, cabe mencionar que los compost restantes se dispuso en costales para su almacenamiento.

2.8. EVALUACIÓN DE VARIABLES

2.8.1. pH y temperatura durante el proceso de compostaje

La evaluación de las variables de pH y temperatura se desarrolló cada semana (7 días), iniciándose el 14 de junio del 2021 y culminando el 23 de agosto del 2021 con un total de 70 días, consolidando 10 registros de datos.

pH

Se pesó 10 g de compost y se puso en un vaso de precipitado de 25 ml, se agregó 10 ml de agua destilada, se agitó y dejó reposar 10 minutos, luego se prosiguió con la calibración del peachímetro con las soluciones amortiguadoras y finalmente pasados los 10 minutos se dio la lectura del pH con el peachímetro y se registró en el cuaderno de apuntes.

Temperatura

Se prosiguió realizando la introducción del termómetro a una profundidad de 20 centímetros de la compostera y pasado los 3 minutos se realizó la lectura y luego el registro correspondiente en °C.

2.8.2. Rendimiento del compost

El rendimiento del compost consistió en determinar la cantidad de compost (base seca) obtenido a partir de los insumos empleados (base seca), para este efecto se tomaron muestras al inicio y final del proceso con lo que se determinó la cantidad de humedad para luego representar a base seca, la relación del peso final entre el peso inicial, multiplicado por 100, corresponde el rendimiento del compost; esta se expresa:

$$\text{Rendimiento } C(\%) = \frac{(PI)}{(PF)} \times 100$$

Donde:

Rdto. C: Rendimiento del compost

PI : Peso inicial

PF : Peso final

2.8.3. Características físico-químicas del compost

Se determinó mediante el análisis del compost en el laboratorio, evaluando las siguientes variables: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, óxido de fósforo, óxido de potasio, C/N, humedad, óxido de calcio y óxido de magnesio.

2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico para el rendimiento del compost consistió en realizar el análisis de varianza y la prueba de Duncan correspondiente para el caso de la composición química del compost así mismo se realizó comparación numérica entre los tratamientos.

CAPÍTULO III

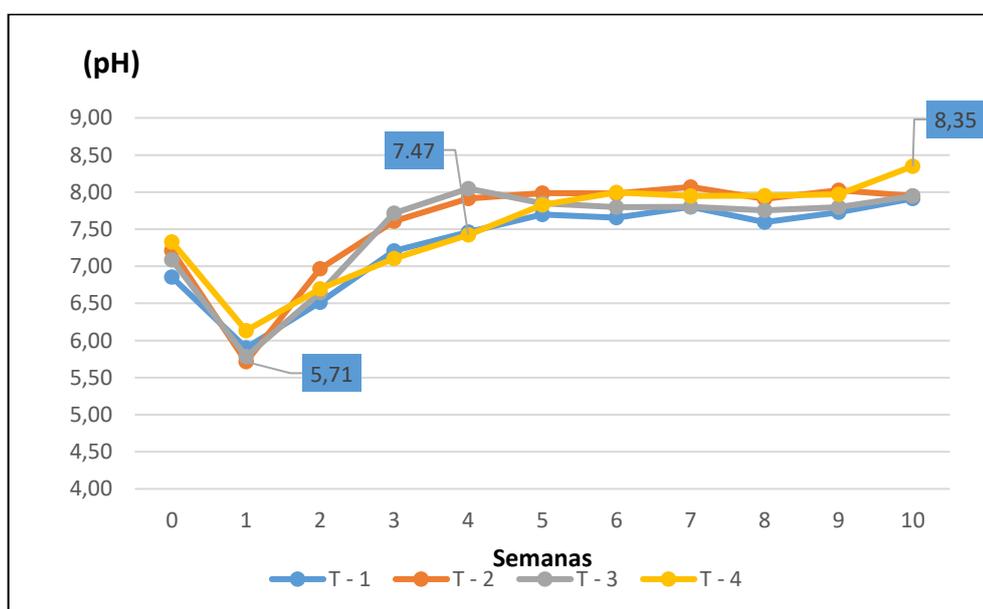
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. pH Y TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

3.1.1. pH

Figura 3.1

pH durante el compostaje



En la figura 3.1 se muestra una variación donde el comportamiento de pH a inicio del proceso es neutro en general, para luego disminuir a nivel de 5.71, en la etapa mesofílica, la misma que en opinión de Ordóñez (2014) “es de un periodo en el cual existe una producción intensa de dióxido de carbono, producto del ataque de compuestos orgánicos de elevado contenido de carbono como la lignina y celulosa dominante en las cáscaras de cacao” (p. 4). En esta etapa existe liberación paralela de ácidos orgánicos que provocan la disminución de la reacción, además de la limitación de oxígeno provocada por la fermentación que contribuye con la disminución del pH al inicio del proceso, en tal sentido Onwosi (2017) indica que la disminución del pH se debe a la producción de

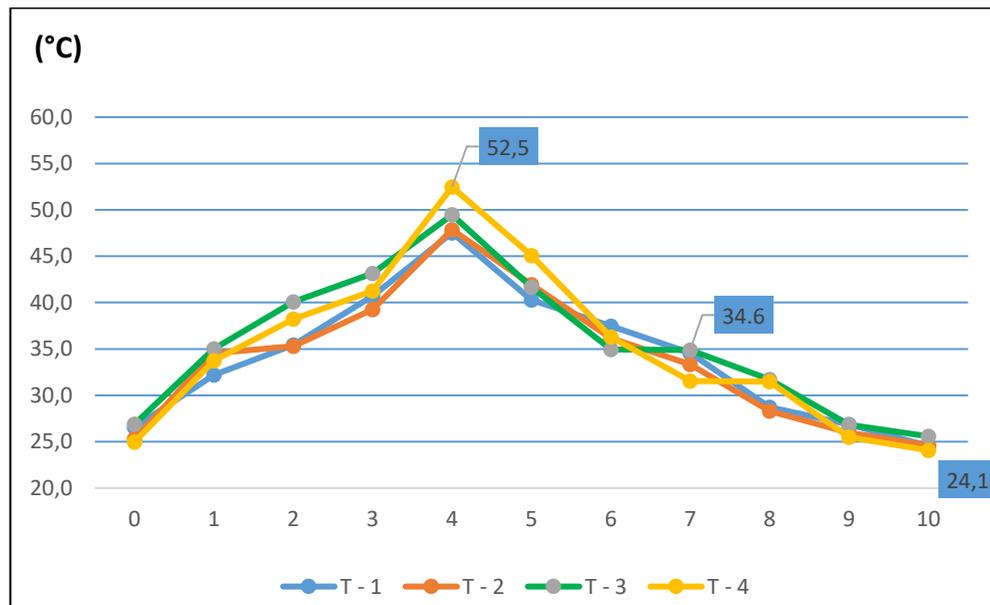
H^+ durante el proceso de nitrificación, la materia orgánica de alto peso molecular degradada a ácido orgánico e inorgánico, la volatilización de NH_3 y la mineralización de nitrógeno y fósforo; de tal forma coincidiendo en el comportamiento de pH en el proceso de compostaje, por su parte (García, 2022, p. 6). Indica que consecuentemente se favorece el crecimiento de hongos, se trata de organismos como los mohos y levaduras, expertos en descomponer desechos difíciles, permitiendo la siguiente etapa, durante el cual las reacciones físico químicas y biológicas acceden al crecimiento y multiplicación de las bacterias, quienes continúan en el proceso de descomposición, dado que paralelamente se produce el incremento de temperatura (etapa mesofílica), donde las bacterias mesofílicas descomponen la materia orgánica en proteínas y carbohidratos, generando constantemente calor mientras descomponen. Durante la segunda semana se inicia el incremento de la reacción del compost, donde la cal aplicada junto a los microorganismos eficientes parece mostrar una reacción óptima con pH de 6.69 en el tratamiento T4, similar al testigo (6.51) y en la cuarta semana se registra alrededor de 7.47 de pH, todos ellos menores a los obtenidos cuando se aplica solo cal (T2) y microorganismos eficientes (T3) con los que se obtienen pH desde (6.97, 7.61, 7.91) y (6.69, 7.71 y 8.05) durante la segunda, tercera y cuarta semana, siendo estos superiores a los tratamientos anteriores, dejando entrever que la cal incorporada se disuelve en este periodo contribuyendo con la subida del pH un poco más que cuando se aplica junto con los microorganismos eficientes, de igual forma, la sola presencia de los microorganismos eficientes en su efecto sobre el pH es similar cuando se aplica cal, dejando entrever que la liberación de los amonios y amoniacos son elevados subiendo de este modo el pH, a diferencia de lo que ocurre en los otros tratamientos. En este periodo o etapa termofílica donde se alcanza el nivel máximo de pH, para mantenerse prácticamente constante, desde la quinta semana la multiplicación de las bacterias son muy grandes, dado que la temperatura es alta, favoreciendo a las bacteria termófilas, amantes del calor, quienes descomponen la materia orgánica de forma muy rápida, acelerando la descomposición de proteínas, grasa y carbohidratos complejos, liberando consecuentemente, amonio, amoniaco, provocando el incremento de la reacción (Azura 2017). Luego de la quinta semana el pH, se mantiene con ligeras variaciones, hasta agotar el suministro de energía en la cual se puede observar una disminución de la relación C/N del compost, además de dominar nuevamente bacterias mesófilas en la maduración. Sin duda, las variaciones de pH serán ligeras dependiendo de la zona, de los materiales y manejo que se dé durante el proceso de compostaje (frecuencia de volteo), así nuestros resultados son concordantes con lo

hallado por (Azura 2017), quienes compostaron lodos de curtiduría con estiércol de pollo y salvado de arroz, donde la fluctuación de pH reportado fue de 6 a 9, durante las etapas del proceso.

3.1.2. Temperatura

Figura 3.2

Temperatura durante el compostaje



En la figura 3.2 se muestra una variación donde el comportamiento de la temperatura a inicio del proceso, el compost se encuentra a temperatura ambiente y la flora mesófila que se encuentra en los materiales orgánicos empezaron a desarrollarse utilizando hidratos de carbono y proteínas que son fácilmente asimilables, los tratamientos T3 y T4 sobresalen desde la segunda hasta la quinta semana presentando mayor actividad microbiana. La hidrólisis y la asimilación de los polímeros por microorganismos es un proceso lento, por ello, la generación de calor es pausado que llega a alcanzar la temperatura ambiente entre los 40 °C, para luego aumentar la temperatura en la etapa mesofílica donde los microorganismos mesofílicos como los hongos, actinomicetos, bacterias mesófilas continúan su actividad; esta intensa actividad metabólica hace que la temperatura se eleve; desde la posición de Tortasa (2018) se trata de un periodo donde la temperatura es un claro indicador de que hay actividad microbiana, por lo que se suele usar como parámetro de control del proceso en la actividad microbiana. Al aumentar gradualmente la temperatura se empezará a proliferar bacterias

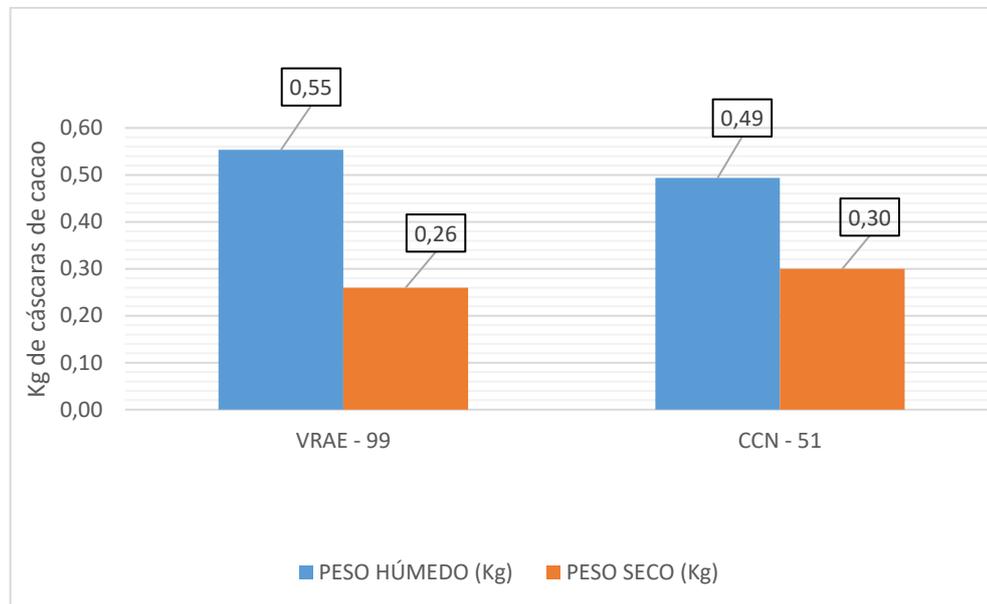
y hongos termófilos, estos empezarán a degradar la celulosa y de manera parcial la lignina, registrando de esta manera la tercera semana donde tiende a elevarse de forma gradual y se observará la aparición de actinomicetos y bacterias formadoras de esporas; se registró los datos más altos en la cuarta semana, llegando hasta los 52 °C para luego descender de manera gradual desde la quinta semana que comprende la etapa termofílica. Nuñez (2019), considera que, a partir de los 60 °C, los hongos termófilos tienden a cesar su actividad y a su vez, la reacción se lleva a cabo por las bacterias formadoras de esporas y actinomicetos. En esta etapa la generación de calor se iguala a la velocidad de pérdida de calor en la superficie de las pilas, marcando el final de la fase termófila (p. 6). Desde el punto de vista de Cajusol y Moisupe (2018), durante el proceso de compostado las temperaturas mayores a 55 °C optimizan la sanidad, entre 45 y 55 °C maximizan la biodegradación y entre 35 y 40 °C favorecen la diversidad microbiana. Se observa que desde la sexta semana el comportamiento de la temperatura tienda a disminuir llegando hasta la octava semana (etapa enfriamiento); la misma que en opinión de García (2022), es una fase donde los microorganismos mesófilos vuelven a aparecer y seguirán degradando polímeros como la celulosa y lignina, cuando se reinicia la actividad, el pH de la mezcla desciende de una forma ligera, de esta manera, pudiendo ser visibles a simple vista la aparición de los hongos (p. 5). Finalmente, desde la octava semana en adelante se observa una temperatura del ambiente con ligeras variaciones (etapa de maduración); por consiguiente, García (2022), indica que en esta fase la temperatura tiene un periodo más largo con respecto a las otras, que tienen una duración de meses, por ello, la fermentación es lenta, donde las partes que han sido menos biodegradables de la materia orgánica será degradada. La mezcla se enfría hasta llegar a una temperatura ambiente, al llegar a este punto se producen nuevas reacciones químicas de condensación y polimerización de compuestos con carbono; resultando en la formación de ácidos y la consolidación de nuevas moléculas.

3.2. RENDIMIENTO DE COMPOST

3.2.1. Contenido de humedad y materia seca de mazorcas

Figura 3.3

Contenido de humedad y materia seca de mazorcas de cacao



En la figura 3.3 se muestra los resultados del contenido de materia seca de las cáscaras de cacao, la variedad CCN – 51 muestra mayor materia seca, respecto de la variedad VRAE – 99, se deduce que la variedad con menor contenido de humedad y mayor contenido de materia seca es la variedad de CCN - 51, cabe indicar que el cultivo de cacao en la parcela de investigación está instalada con un promedio de 50% de CCN – 51 y 50% de VRAE – 99, estos datos evaluados indican que la cáscara de cacao presenta 46 % de humedad como promedio, con este dato de referencia se evaluará el % del rendimiento del compost.

3.2.2. Rendimiento del compost

Tabla 3.1

Del rendimiento de compost

Tratamientos	Peso inicial (kg)		Peso final (kg)			Peso de residuos sólidos gruesos en zarandeo (kg)	Relación (PI/PF) (kg)	Rend. del compost (%)
	Material con 46% de H ^o	Seco	Humedad	% de humedad	Seco			
T1 (testigo)	110	54	31	59.3	12.6	5	4.6	23.3
T2 (con cal)	110	64	43	59.8	17.9	6	3.6	28
T3 (con EM)	110	59	45	55.9	19.8	7	3.0	33.6
T4 (con cal y EM)	120	69	56	50.9	27.5	6	2.5	39.9

En la tabla 3.1 se muestra el peso inicial (húmedo y seco), peso final (húmedo y seco) que ayudan a determinar el rendimiento del compost, el tiempo de la descomposición de las mazorcas duró 10 semanas (2 meses y 9 días), resultando que los tratamientos varían desde 23.3 % a 39.9 % correspondiendo el mayor valor al tratamiento T4 (con cal y ME) respecto al resto, el menor rendimiento del compost resulta para testigo indicando que en condiciones normales el rendimiento del compost resulta menor, sin duda el periodo del compostaje también influye, no obstante la incorporación de los microorganismos eficientes y cal influyeron en el rendimiento del compost generado.

Tabla 3.2

Análisis de varianza del rendimiento del compost

Fuentes	GL	SC	CM	Fc	Pr>F	Sig.
Tratamientos	3	619.28	206.43	53.96	0.0000045	**
Bloques	3	7.82	2.61	0.68	0.58	NS
Error	9	34.43	3.83			
Total	15	661.53				
$\bar{X} = 31.22$		% CV =		6.27		

En la tabla 3.2 se muestra el ANVA del rendimiento del compost, donde se observa que presenta una diferencia estadística significativa entre los tratamientos, esto se atribuye el efecto positivo de la incorporación de los microorganismos eficientes y la cal en la descomposición de la cáscara de cacao, con un coeficiente de variabilidad de 6.27 %, indicando la confiabilidad de los datos obtenidos.

Tabla 3.3

Prueba de Duncan del rendimiento de compost

Tratamientos	Promedios	Grupo Duncan
T4 (con cal y EM)	39.9 %	a
T3 (con EM)	33.6 %	b
T2 (con cal)	28 %	c
T1 (testigo)	23.3 %	d

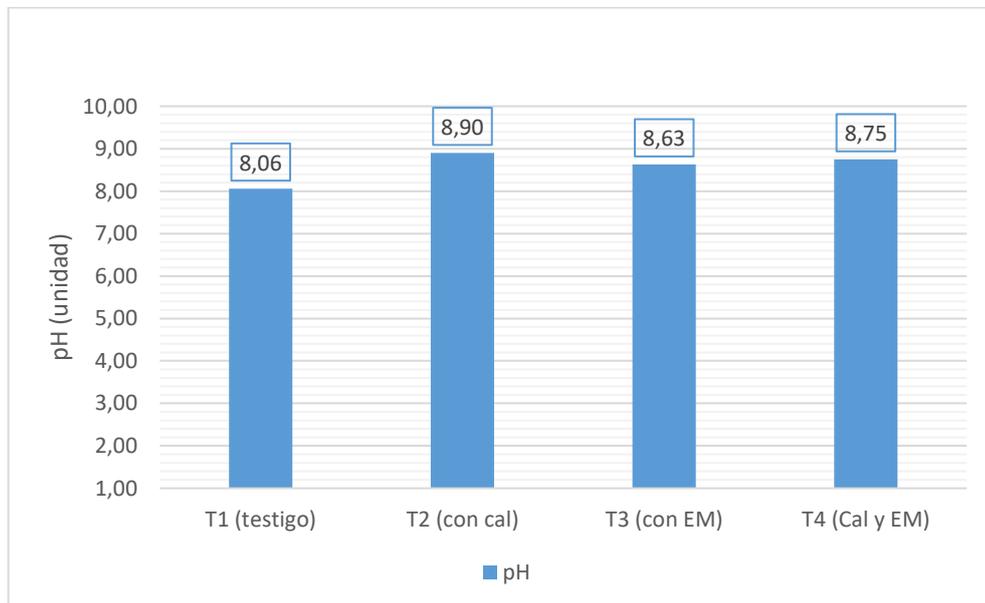
La prueba de Duncan en la tabla 3.3 demuestra que el tratamiento 4 es el mejor en el rendimiento del compost, superando estadísticamente a los otros tratamientos, gracias a la incorporación de los microorganismos eficientes y la cal resultan favorables a comparación de los demás tratamientos incluido el testigo que muestra diferencia significativa entre los tratamientos.

3.3. DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL COMPOST

3.3.1. pH

Figura 3.4

pH en el compost



La figura 3.4 muestra las unidades de pH en el compost resultante, donde el pH en todos los tratamientos con adición de microorganismos eficientes, cal ó ambos, muestran en el compost obtenido un mayor pH respecto al testigo, datos que son coherente con lo obtenido por Rich y Bharti (2015) quienes informan resultados similares, donde la

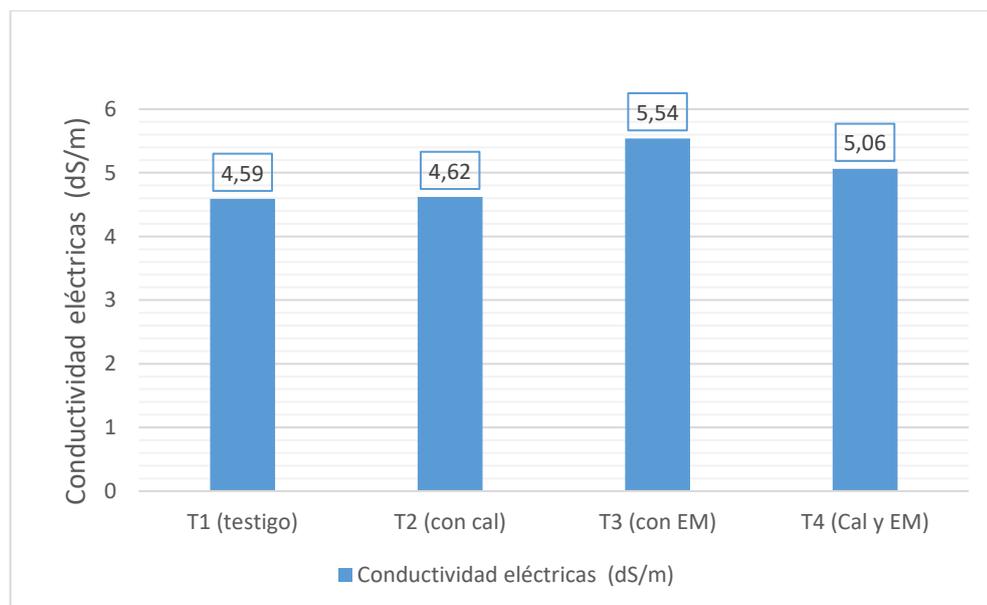
buena actividad microbiana se desarrolla en pH entre 6, 7 y 9. Mino (2020) indica que “la cal, los restos verdes de cocina o de jardín y las cenizas de madera o materiales leñosos pueden incrementar el pH, puesto que estos liberan compuestos alcalinos” (p. 3). Además, la adición de cal durante el periodo de compostaje podría acelerar el proceso de compostaje (Awasthi, 2016, p. 4).

El compost obtenido tendrá un comportamiento adecuado en los suelos ácidos como los que existen en el VRAEM mejorando sus condiciones microbiológicas, disponibilidad de nutrientes por lo que en la mayoría de los casos es utilizado como enmienda o mejorador.

3.3.2. Conductividad eléctrica en el compost

Figura 3.5

Conductividad eléctrica en el compost



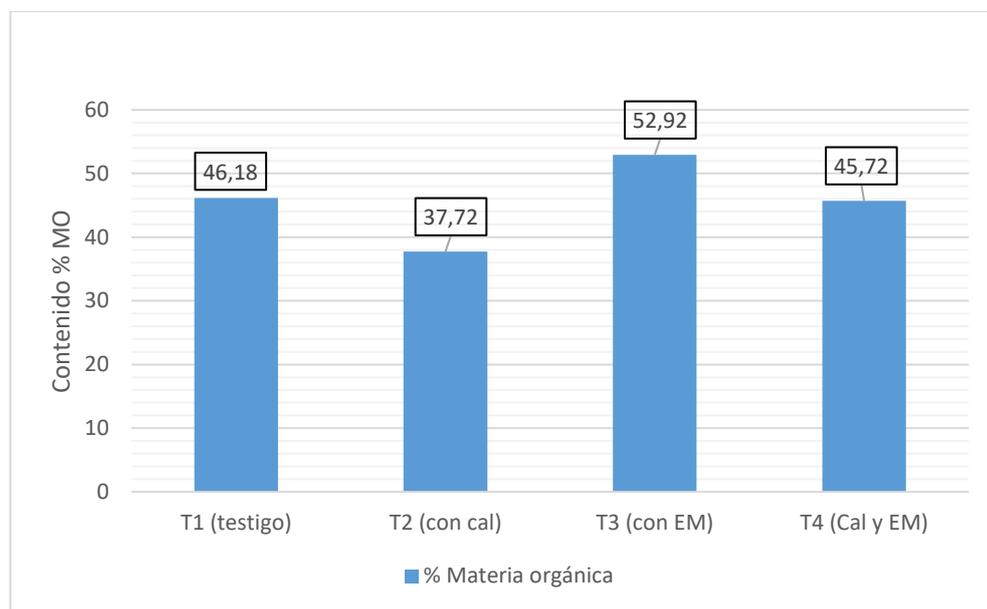
La figura 3.5 muestra las unidades de conductividad eléctrica en el compost resultante; esta resulta con ligero incremento, no obstante está considerado dentro del rango normal; la incorporación de cal y los microorganismos eficientes ayudaron a la liberación de potasio, calcio y sodio que provoca mayor concentración en la evolución de la conductividad eléctrica del abono compostado; por ello López (2016) indica que “la conductividad eléctrica proporciona información de la presencia de sales solubles”. La aplicación de sólo cal (tratamiento T3); mantiene la conductividad eléctrica similar al

testigo, coincidiendo con lo reportado por Wang (2016) quienes señalaron que la cal redujo la salinidad e influyó positivamente en la madurez del compost de residuos de alimentos. Los valores obtenidos se encuentran en el rango normal del compost tal como refiere Insuasti (2017) que la conductividad eléctrica se encuentra reflejada en la salinidad de varios sustratos e indica la madurez del compost, debido a que es inevitable que la concentración de sales solubles aumente por la degradación de la materia orgánica.

3.3.3. Materia orgánica en el compost

Figura 3.6

Contenido de materia orgánica en el compost



La figura 3.6, se muestra los contenidos de materia orgánica en el compost resultante, se observa que el tratamiento T3 (con ME) presenta mayor contenido de materia orgánica con (52.92 %) siendo esto mayor al testigo la calidad del compost producido que proviene de la descomposición de cáscaras de cacao, aserrín y la cal.

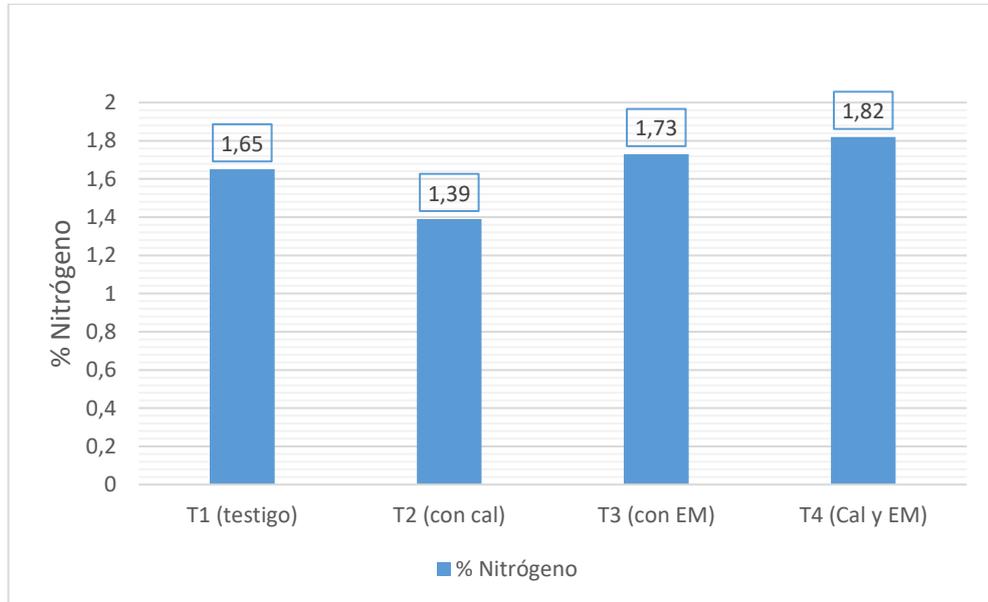
Al respecto Soliva (2014) menciona que “el contenido final será la consecuencia del valor inicial de materia orgánica, de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el tratamiento” (p. 8) simultáneamente, Pérez (2009) menciona que “la degradación de la materia orgánica es llevada a cabo, debido a que los microorganismos que se encuentran presentes en el proceso utilizan el carbono orgánico como fuente de energía” (p. 8), la materia orgánica obtenida en los tratamientos se

encuentran en niveles superiores según las especificaciones de la norma Chilena del compost (Nch2880) siendo por tanto un compost de clase A.

3.3.4. Nitrógeno en el compost

Figura 3.7

Contenido de nitrógeno total en el compost

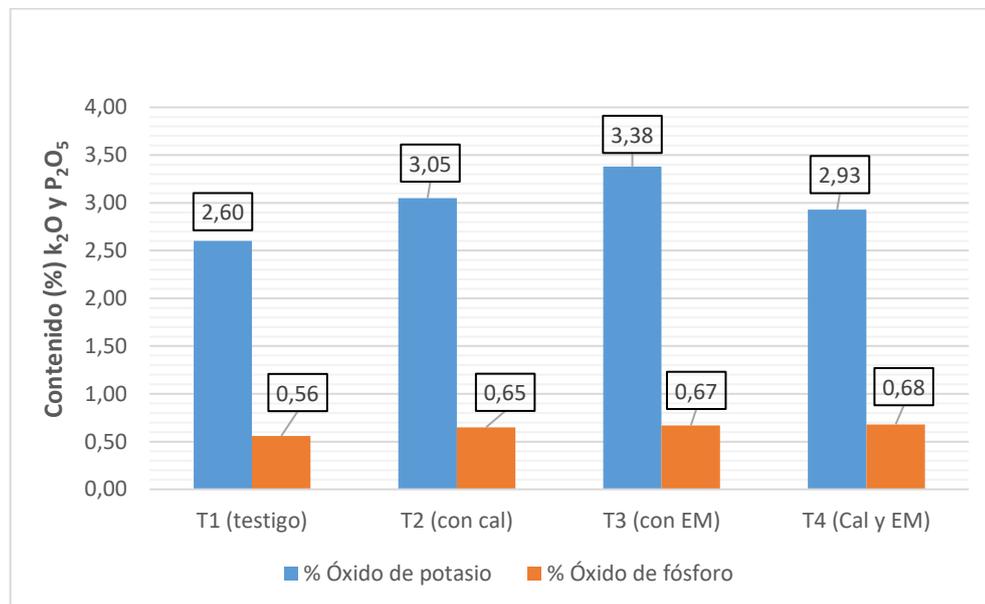


La figura 3.7, se muestra los contenidos de nitrógeno en el compost resultante, el tratamiento T4 (con cal y EM) presenta la concentración más alta con (1.82%) siendo ligeramente mayor inclusive al tratamiento T3 (con EM), la incorporación de los microorganismos eficientes junto a cal favorecen a la actividad de los microorganismos, efecto que podría ser consecuente con lo hallado por Chung (2021) quienes reportaron que la cal aplicada durante el compostaje de estiércol resulta como material corrector adecuado y puede acelerar la transición de la materia orgánica debido a la regulación de pH del compost. En tal sentido, Pacheco (2009) explica que las enzimas más importantes que intervienen en el proceso de compostaje son: las celulasas, despolimerasa celulasa, B-glucosidasa que hidroliza glucósidos, ureasa que participan en la mineralización del nitrógeno, fosfatasas y arylsulfatasa que eliminan los grupos de fosfato y sulfatos de los compuestos orgánicos (p. 18). Los niveles de nitrógeno en los cuatro tratamientos varía de 1,39% a 1,82% niveles de rango adecuado y concuerdan con lo indicado por Martínez (2013) que “el contenido de nitrógeno de buen compost debe estar entre 0,3% – 1,5% de nitrógeno para aplicar compost como fertilizante orgánico” (p. 6).

3.3.5. Óxido de fósforo y potasio

Figura 3.8

Contenido de fósforo y potasio en el compost



La figura 3.8 muestra los contenidos de óxido de fósforo y potasio en el compost resultante, donde se observa que el tratamiento T4 (con cal y ME) posee un contenido mayor y alcanza a 0.68 % de óxido de fósforo, la incorporación de los microorganismos eficientes mejoran el contenido de óxido de fósforo ya que la cáscara de cacao es rico en tal nutriente por lo tanto la incorporación de los microorganismos ayudan a mineralizarlos, al respecto Navia (2013) menciona que el porcentaje de óxido de fósforo debe estar entre 0,1 a 1,6%, atribuyéndose en cierta medida que el contenido de fósforo depende de la descomposición de materia orgánica y el nivel óptimo de pH en el compostaje, en tal sentido Álvarez (2009) indica que “el contenido de fósforo en el compost puede ser entre 0.3% y 3.5% en forma de óxido fosfórico (P₂O₅), y varía en función del tipo de materiales que hayan sido utilizados en el proceso de compostaje” (p. 2). Se puede afirmar que los cuatro tratamientos de óxido de fósforo se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la FAO (2013), por lo tanto, cumplen para un compost maduro con buen contenido de óxido de fósforo que al ser incorporados al suelo influirían favorablemente en la producción de mazorcas de cacao u otros cultivos.

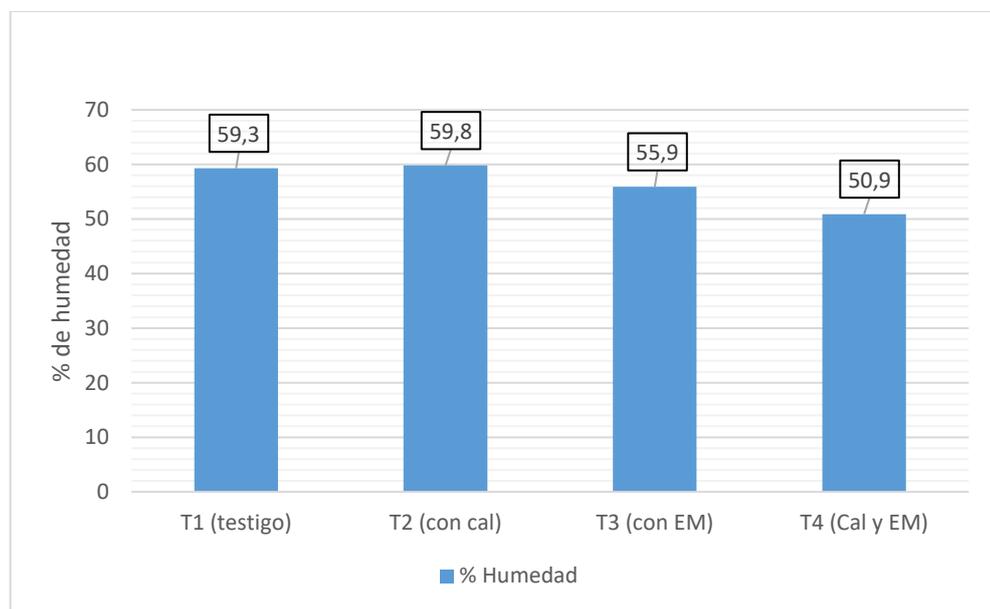
En relación al contenido de potasio se aprecia que el tratamiento T3 (con EM) tuvo el mayor contenido con 3.38 %, siendo el más alto a comparación de los demás

tratamientos; desde la posición de FAO (2013), manifiesta que para la toma de decisiones a la hora de aplicar compost como fertilizante orgánico, así como para aplicarlo en nutrición integrada con fertilizantes minerales, se debe tener en cuenta que el contenido en el compost varía entre 0.3% a 1%; por lo tanto los contenidos de potasio en los resultados de nuestro trabajo superan y se encuentra dentro del rango de calidad propuesto por la FAO.

3.3.6. Humedad en el compost

Figura 3.9

Contenido de humedad en el compost

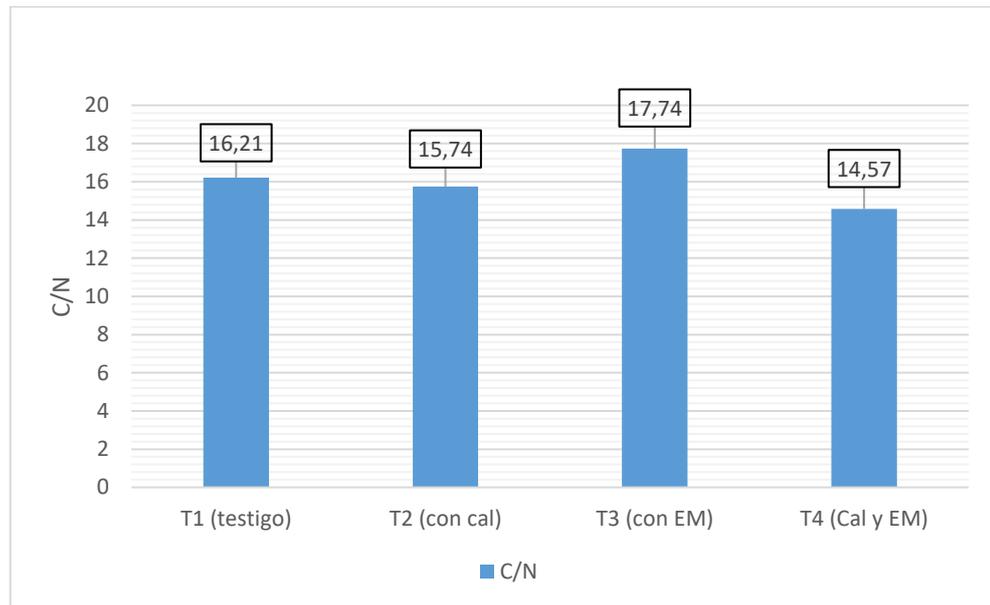


La figura 3.9 muestra los resultados del contenido de humedad en el compost resultante, los resultados del contenido de humedad en el análisis del compost superan lo establecido por FAO (2013) que indica que se debe almacenar el compost con una humedad entre 30 – 40 % al final del proceso, para mantener en equilibrio la actividad microbiana de lo contrario con demasiada humedad se desplaza el espacio para el aire y el compost puede comenzar a pudrirse, por lo tanto se observa que los cuatro tratamientos se encuentran fuera del rango establecido, cabe mencionar que la humedad se puede manejar a las condiciones óptimas.

3.3.7. C/N en el compost

Figura 3.10

Relación de C/N en el compost

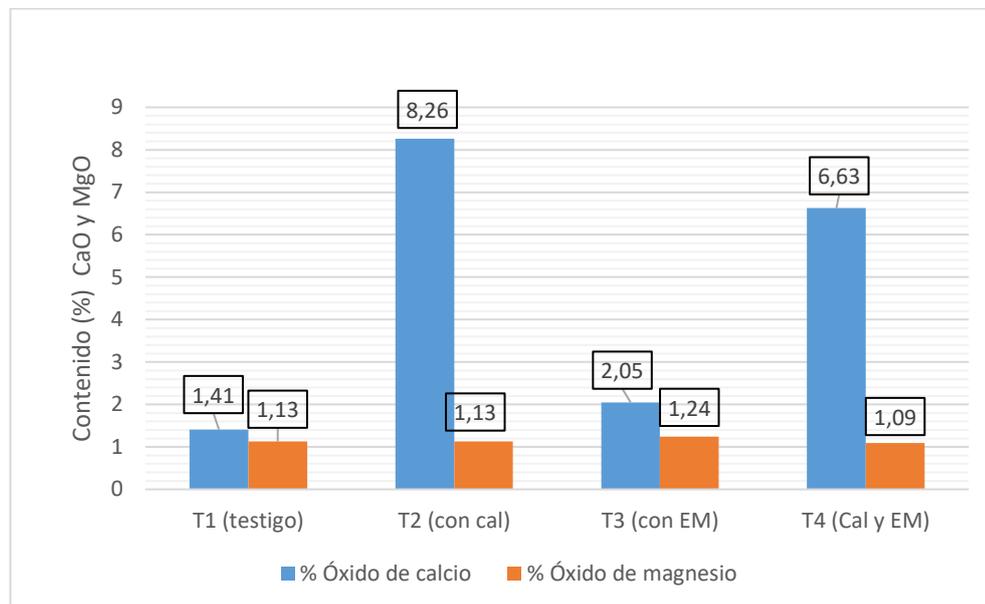


La figura 3.10 muestra los resultados de la relación C/N en el compost, el tratamiento T4 (con cal y ME) registra 14.57; estos son resultados de una buena relación que existe entre el carbono y nitrógeno esto debido a la aplicación de 10 kg de microorganismos eficientes activados con aserrín (carbono) y cáscara de cacao fresco (nitrógeno); Valencia (1995) manifiesta que se necesitan dos tipos de materiales para una pila de compost; aquellos con buenos contenidos de carbono y aquellos buenos contenidos de nitrógeno. Los microorganismos durante el proceso de la producción de compost usan carbono (como fuente de energía) y nitrógeno (síntesis de proteínas). Una buena relación C/N es de 30:1, se requiere más carbono que nitrógeno en el proceso de compostaje.

3.3.8. Óxido de calcio y magnesio

Figura 3.11

Contenido de óxido de calcio y magnesio en el compost



La figura 3.11 muestra los resultados del contenido del óxido de calcio y magnesio en el compost resultante, el buen contenido de óxido de calcio se registra en el tratamiento T2 (con cal) 8.26 % y el tratamiento 4 (con cal y ME) 6.63 %, estos resultados confirman que la aplicación de la cal en el proceso de compost mejora el contenido de calcio en el compost final, la misma que en opinión de Bravo (2017), en su investigación de “propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de caña de azúcar, en una mezcla de bagazo, ceniza, el contenido de calcio registró 3% de óxido de calcio” (p. 8); son similares nuestros resultados obtenidos del compost a base de microorganismos eficientes y cal; la aplicación del compost obtenido como abono en el cultivo de cacao mejorarían las condiciones del suelo; Según el trabajo realizado por Ruíz (2019) “los niveles de calcio en el compost incrementa con diferentes dosis de gallinaza en la elaboración de compost, este no se pierde en el proceso de producción de compost ya que es insoluble en gran cantidad de componentes” (p. 70-74).

En relación al contenido de óxido de magnesio resulta más alto es en el tratamiento 3T (con ME) con 1.24 %, diferenciándose de forma numérica de los demás tratamientos; la misma que en opinión de Casas (2012), el magnesio es esencial en consecuencia estos resultados indican que la concentración de magnesio es muy alta en nuestro compost

mientras tanto; Suquilada (2016) indica que “el compost producido a base de estiércoles es una excelente fuente de magnesio, el compost orgánico es rico en magnesio” (p. 32).

CONCLUSIONES

1. La adición de 10 kg de microorganismos eficientes en 100 kg de cáscara de cacao durante el proceso de compostaje en los tratamientos T3 y T4 optimizaron el mayor rendimiento de compost en el T4 con (39.9%), incrementando los contenidos de materia orgánica T3 (52.92%), nitrógeno T4 (1.82%), óxido de fósforo T4 (0.68%), óxido de potasio T3 (3.38%) y óxido de magnesio T3 (1.24%).
2. La adición de 10 kg de cal en 100 kg de cáscara de cacao durante el proceso de compostaje en los tratamientos T2 y T4, incrementaron el contenido de calcio en el T3 (8.26%) y el valor de pH (8.9) unidades.

RECOMENDACIONES

1. Emplear 10 kg de microorganismos eficientes (activados con melaza de caña y aserrín) en 100 kg de cáscaras de cacao fresco para la producción de compost con la finalidad de acelerar la descomposición e incrementar los macro y micro nutrientes.
2. Emplear 10 kg de cal en 100 kg de cáscara de cacao fresco para enriquecer el compost de calcio e incrementar el nivel de pH con la finalidad de usar como una enmienda en el abonamiento de los cultivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alsivar, W. (2013). *Procesos del cultivo de cacao a la cosecha*. Agropecuarios, pág. 3 y 4.
- Alvarado, A. (2016). *Producción de abono orgánico a través de microorganismos eficientes*. Soluciones Prácticas, pág. 4 y 5.
- Ansorena Miner, J. (2016). *El compost de bioresiduos*. España-Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Awasthi, M. K. (2016). *Efecto de la enmienda de biocarbón sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y la biodisponibilidad de metales pesados durante el co-compostaje de lodos de depuradora*. Revista de Producción Más Limpia, pág. 4.
- Azura Zakarya, I. (2017). *Efecto del pH, la temperatura y el contenido de humedad durante el compostaje de la quema de paja de arroz a diferentes temperaturas con residuos de alimentos y microorganismos efectivos*. CENVIRON, pág. 8.
- Baena, L. (2012). *Obtención y caracterización de fibra dietética a partir de cascarilla de las semillas tostadas de Theobroma cacao L. de una industria chocolatera colombiana*. Pereira.
- Barrantes, L. (2010). *Cadena productiva de cacao políticas y acciones*. Sepsa, pág. 8 y 9.
- Bautista, M. (2018). *Evaluación de eficiencia de tres métodos para la obtención de compostaje a partir de residuos orgánicos*. UPC, pág. 2 y 3.
- Bobadilla Henao, C. (2008). *Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido de residuos de plaza*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Borrero, C. A. (2009). *Fertilización del cultivo de cacao en sitio definido*. San José del Guaviare.
- Bravo, E. (2017). *Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña*. Santa Clara - Cuba.
- Cajusol Piscoya, F., & Moisupe Lluén, L. (2018). *Caracterización físico-química y biológica del compost obtenido con residuos sólidos agropecuarios en Lambayeque, septiembre a diciembre de 2016*. Lambayeque - Perú.
- Calvo, A. (2020). *Tipos de fertilizantes líquidos*. Agroptima.
- Casas Flores, R. (2012). *El suelo del cultivo y las condiciones climáticas*. España.

- Castellano. (2014). *Disponibilidad de nutrientes y el pH en el suelo*. INTAGRI, pág. 2 Y 3.
- Castro Rincon, E. (2018). *Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico*. Colombia.
- Cervantes Martínez, J. (2017). *Acerca del desarrollo y control de microorganismos en la fabricación de papel*. Conciencia tecnológica, pág. 5.
- Cherres R., N. (2013). *Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost*. Ambato - Ecuador.
- Chung, W. J. (2021). *Efecto de la enmienda de biocarbón sobre la calidad del compost, las emisiones gaseosas y la reducción de patógenos durante el compostaje de estiércol de pollo en recipientes*. Chemosphere, pág. 5.
- Constante Ibarra, T. (2021). *Inoculación de microorganismos en el proceso de compostaje*. Cevallos - Ecuador: Repositorio Universidad Técnica de Ambato.
- Córdova, V. C. (2016). *Propuestas para la elaboración de compost a partir de desechos agrícolas*. Lima - Perú.
- De La Cruz, C. (2018). *Determinación de Dosificación de los Microorganismos Eficientes para compost a partir de la cáscara de Teobroma Cacao L. "cacao" Naranjos - Pardo Miguel*. Moyobamba - Perú.
- De La Peña Nolberto, C. (2019). *Microorganismos eficientes en la producción de compost con pollinaza en Río Negro*. Satipo - Perú.
- DEVIDA. (2021). *Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (Devida)*. AGRO-PERÚ, pág 1-2.
- Dungla F, A. (2020). *Uso de la cal agrícola para el mejoramiento del suelo de cultivo*. Fundación tortilla, pág.3.
- Dungla, A. (2020). *Uso de cal agrícola para el mejoramiento del suelo del cultivo*. Fundación tortilla, pág. 29.
- FAO. (2013). *Manual del compostaje del agricultor*. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago - Chile.
- Farrel, M. (2009). *Evaluación crítica del compostaje de residuos sólidos municipales y mercados potenciales de compost*. Biorrecurso, tecnología.
- Fernández Schwank, J. (2016). *Cultivo de cacao*. Anacafé, pág. 3.
- Fernández, M. (2016). *Abonos orgánicos*. InfoAgro, pág. 2.

- Flores, D. (2001). *Guía Práctica No. 2. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos*. Quito Ecuador.
- Fundases. (2006). *Boletín Técnico: Compostaje con la tecnología EM*.
- García Galdeano, J. (2022). *Efecto en el crecimiento de patógenos de transmisión alimentaria, y su relación con el contenido en minerales esenciales, de condimentos y verduras de la dieta mediterránea*. España: Universidad de Granada.
- García Severí, J. (2022). *Compostaje industrial: fases del proceso*. AIMPLAS, pág. 6.
- Giménez, A. (2019). *La investigación en cacao y el desarrollo económico de su cadena de valor*. Costa Rica: 1ª ed.
- González, S. (2016). *Evaluación de influencia de la granulometría de piedra caliza, concentración de carbonato, tiempo de residencia y temperatura de calcinación para mejorar el rendimiento en la obtención del óxido de calcio (cal viva)*. Arequipa: 1ª ed.
- Hernández Saavedra, N. (2019). *Las levaduras y su ecología*. California Sur, México: Dr. Eduardo Balart Páez.
- Hernández, M. (2014). *Niveles referenciales de nutrientes en la solución del suelo*. Idesia Árida: 1ª ed.
- Higa, T. (2013). *Producción de microorganismos de montaña para el desarrollo de una agricultura orgánica*. CONACIN, pág. 01.
- INIA. (2022). *INIA caracteriza nivel de calidad de suelos agrarios en los cultivos de cacao y café*. AGRO-PERÚ, pág. 2 Y 3.
- Insuasti Benítez, J. (2017). *Efecto de los fertilizantes triple 20 y nitrato de potasio en pH, conductividad eléctrica en el sustrato y crecimiento de plántulas de lechuga, tomate y chile*. Zamorano, Honduras.
- Iparraguirre, R. (2007). *Tipos de excretas y degradación aeróbica del estiércol en el compostaje. Tesis Ingeniero Zootecnista*. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria - La Molina, pág. 115.
- Leiva, E. (2012). *Aspectos para la nutrición del cacao (Theobroma cacao L.)*. Argentina: 1ª ed.
- López Sotelo, J. (2016). *Tratamiento y revalorización de sandach procedente del sector productivo de la avicultura de puesta mediante compostaje*. .

- Mejía, L. (2011). *Nutrición del cacao. En: Tecnología para el Mejoramiento del Sistema de Producción de Cacao. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*. Colombia: Corpoica Bucaramanga.
- Melendrez Moreto, N. A., & Sánchez Delgado, J. (2019). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos utilizando microorganismos eficientes en el distrito de Cacatachi*. Tarapoto.
- Mino, F. (2020). *Análisis de las características físico-químico de las etapas de la producción de compost utilizando residuos de poda de jardinería del centro poblado callanca*. Lambayeque - Perú: Universidad de Lambayeque.
- Miyashiro Noborikawa, I. (2014). *Calidad de seis formulaciones de compost enriquecido con guano de islas*. Lima – Perú.
- Monsalve C., O. I., & Gutiérrez D., J. S. (2018). *Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo*. Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia, pág. 13.
- Naranjo Pacha, E. I. (2013). *Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost*. Ambato - Ecuador: 1ª ed.
- Núñez Velez De Villa, J. (2019). *Relación de los microorganismos del aire interno del mercado de Paucarbamba con los procesos infecciosos que alteran el estado de salud de los trabajadores*. Huánuco.
- Ordóñez, G. M. (2014). *Transformación de los lados generados en el camal municipal en compost para uso en el cultivo vicia*. Ambato – Ecuador: 1ª ed.
- Ortiz. (2015). *Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (Theobroma cacao L.)*. Colombia: 1ª ed.
- Ortiz. (2015). *Determinación de la influencia de la aplicación de diferentes dosis de estiércol de ganado vacuno en la producción de compost a partir de cáscara de "cacao" (Theobroma cacao L.)*. Universidad Nacional de San Martín. Moyobamba- Perú. Moyobamba - Perú.
- Osorno Henao, H. (2012). *El uso de las cales o enmiendas en los suelos*. Lombricultura de tenjo, pág. 1,2 y 3.
- Quispe, H., & Chávez, C. (2017). *Evaluación del efecto que tienen los microorganismos eficientes (EM), en el cultivo de pepinillo (Cucumis sativus L.)*. Municipio de Achocalla.

- Ramos Agüero, D. (2014). *Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), pág. 15.
- Ramos Agüero, D., & Terry Alfonso, E. (2014). *Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas*. MI SCIELO, pág. 3.
- Rojas, B. (2021). *Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco*. ENFOQUE UTE, pág. 8.
- Ruiz Martínez, A. (2011). *Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente*. Valencia.
- Ruiz Morales, M. (2011). *Taller de elaboración de lombricomposta*. Colombia - Lomas de Santa Fe.
- Servindi. (2011). *Recomiendan usar cáscara de cacao en la lucha contra la desnutrición*. Perú.
- Siavosh Sadeghian, K. (2008). *Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia*. Colombia.
- Smart Agriculture. (2020). *Información Técnica Ácidos Húmicos y Fúlvicos*. Artal, 2.
- Soliva, M. (2014). *Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso*. Barcelona: CENEAM/MIMAM.
- Tanya, E. (2019). *Centro Agrícola*. Huaráz: 1ª ed.
- Teneda Llerena, W. F. (2019). *Exploración de la intención de consumo de la Cascarilla de cacao (Theobroma cacao L.) como infusión*. Ecuador.
- Tortasa, G. (2018). *Temperatura en el compost*. compostando ciencia, pág. 2.
- Vega Jara, L., & Abad Castro, A. J. (2021). *Potencial de mineralización de nitrógeno de suelos degradados*. Manglar, pág. 139.
- Vila, A. S. (2019). *Efecto de la Cuyaza en la elaboración de compost a partir de cáscara de mazorca de cacao (Theobroma Cacao L.) mediante el sistema de Pilascon Volteo en la comunidad de Malvinas-Kimbiri-VRAEM*. Kimbiri - Perú: 1ª ed.
- Wang, Q. (2016). *Efecto de la enmienda de biocarbón sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y la biodisponibilidad de metales pesados durante el co-compostaje de lodos de depuradora*. Revista de Producción Más Limpia, pág. 4.

ANEXOS

Anexo 1. Composición química del compost

Tratamientos	N (%)	P₂O₅ (%)	K₂O (%)	CaO (%)	MgO (%)	MO (%)	PH (1:5)	C.E. Ds/m (1:5)	HH (%)
T1 (Testigo)	1.65	0.56	2.60	1.41	1.13	46.18	8.06	4.59	18.01
T2 (con cal)	1.39	0.65	3.05	8.26	1.13	37.72	8.90	4.62	17.35
T3 (con EM)	1.73	0.67	3.38	2.05	1.24	52.92	8.63	5.54	18.11
T4 (con Cal y EM)	1.82	0.68	2.93	6.63	1.09	45.72	8.75	5.06	17.49

Anexo 2. pH durante el proceso de compostaje

Tratamientos	Bloques	Variación semanal de pH (unidades)										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T1 (testigo)	I	6.62	5.10	6.52	7.31	8.12	7.51	7.51	8.01	7.41	7.76	8.17
	II	7.27	5.36	6.74	7.55	8.52	7.81	7.79	7.94	7.67	7.73	7.73
	III	7.37	5.96	6.52	7.74	7.98	7.89	7.80	7.75	7.77	7.69	7.85
	IV	7.12	6.23	6.39	7.81	8.01	8.02	7.86	7.74	7.84	7.67	7.85
T2 (con cal)	I	6.71	5.67	6.75	7.71	7.75	7.71	7.72	7.74	7.72	7.86	8.17
	II	6.86	6.20	6.27	7.74	8.31	8.08	7.88	7.77	7.81	7.83	7.80
	III	6.93	5.78	6.86	7.82	8.12	7.91	7.90	7.93	7.86	8.38	7.89
	IV	7.75	6.21	6.89	8.05	8.39	8.22	8.14	8.11	8.09	8.02	7.69
T3 (con EM)	I	7.23	5.93	6.27	7.60	8.11	7.88	7.73	7.66	7.66	7.77	7.94
	II	7.51	5.58	7.89	8.24	8.37	8.06	8.27	8.50	8.25	7.91	8.01
	III	6.96	5.61	6.55	7.58	8.04	7.74	7.70	7.72	7.64	7.71	7.89
	IV	7.11	5.96	6.80	7.88	8.31	8.05	7.99	8.00	7.93	7.80	7.76
T4 (con cal y EM)	I	6.67	5.57	6.51	7.54	7.99	7.70	7.65	7.68	7.60	7.80	8.51
	II	7.12	5.71	6.97	7.84	8.40	7.98	7.98	8.07	7.91	8.12	8.40
	III	6.80	5.78	6.64	7.71	8.05	7.85	7.80	7.80	7.76	7.99	8.14
	IV	7.31	6.13	6.69	7.91	8.24	8.09	7.99	7.95	7.95	7.97	7.90

Anexo 3. Temperatura durante el proceso de compostaje

Tratamientos	Bloques	Variación semanal de temperatura (°C)										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T1 (testigo)	I	27.8	33.7	37.8	40.7	48.3	36.2	36.6	35.8	29.8	28.6	26.0
	II	24.7	36.2	38.8	37.8	50.0	42.8	35.1	32.7	29.7	24.3	23.7
	III	30.7	36.5	41.5	41.1	48.7	43.6	36.2	38.7	31.3	29.3	23.9
	IV	26.0	33.8	38.4	40.2	51.3	43.7	33.1	29.7	30.8	25.8	25.1
T2 (con cal)	I	25.30	31.13	34.60	40.80	46.40	42.00	38.50	33.30	28.10	26.7	24.4
	II	26.60	34.20	34.70	39.30	46.20	41.50	36.60	34.60	27.57	26.8	25.2
	III	24.20	34.57	39.70	42.70	49.60	42.25	34.50	33.80	31.50	24.5	24.2
	IV	24.20	33.70	37.60	40.70	53.70	45.30	38.30	32.20	31.50	26.3	24.5
T3 (con EM)	I	26.60	31.83	33.90	40.60	47.90	42.70	37.30	34.60	28.30	25.3	28.2
	II	24.70	33.20	32.40	40.70	47.40	41.53	36.80	32.70	27.67	26.8	24.3
	III	25.80	34.57	39.70	42.70	49.60	42.25	34.50	33.80	31.50	24.5	24.3
	IV	24.70	33.80	38.70	42.90	52.40	46.20	37.50	32.70	32.17	24.4	25.9
T4 (con cal y EM)	I	26.57	32.21	35.43	40.70	47.53	40.30	38.70	34.57	28.72	28.6	24.5
	II	25.33	34.53	35.30	40.43	47.87	43.94	38.67	33.33	28.70	25.7	24.1
	III	26.90	35.02	40.10	43.83	49.47	39.68	36.63	34.90	31.97	27.8	23.6
	IV	24.97	33.76	38.23	39.93	52.47	45.07	36.30	32.97	31.04	25.9	24.2

Anexo 4. Rendimiento del compost (%)

Tratamientos	Repeticiones				Promedio (%)
	I	II	III	IV	
T1 (testigo)	20.75	22.94	25.14	24.34	23.3
T2 (con cal)	29.01	28.18	27.24	27.68	28.0
T3 (con EM)	33.69	37.53	31.74	31.58	33.6
T4 (con cal y EM)	40.05	40.79	37.83	41.07	39.9

Anexo 5. Contenido de humedad y materia seca en las mazorcas

Peso de mazorcas de cacao				
Variedad	Peso inicial (Kg)	Peso final a la estufa (Kg)	Humedad (%)	Materia seca (%)
VRAE - 99	0.58	0.24	58.6	47.7
	0.45	0.25	44.4	
	0.63	0.29	54	
CCN - 51	0.49	0.3	38.8	61
	0.53	0.3	43.4	
	0.46	0.3	34.8	
Promedio	0.52	0.28	45.67	54.35

Anexo 6. Resultados del análisis del compost



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS. - INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS. - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MATERIAL ORGÁNICO

N° 1250043

Solicitante: Sr. Gilber Cahuana Ccoscco

Proyecto: "Efecto de microorganismos eficaces y cal agrícola en la producción de compost de mazorcas de cacao, Pichari- 2020"

Muestra: Compost

Departamento: Cusco

Provincia: La Convención

Distrito: Pichari

Fecha: 17 - 01 -22

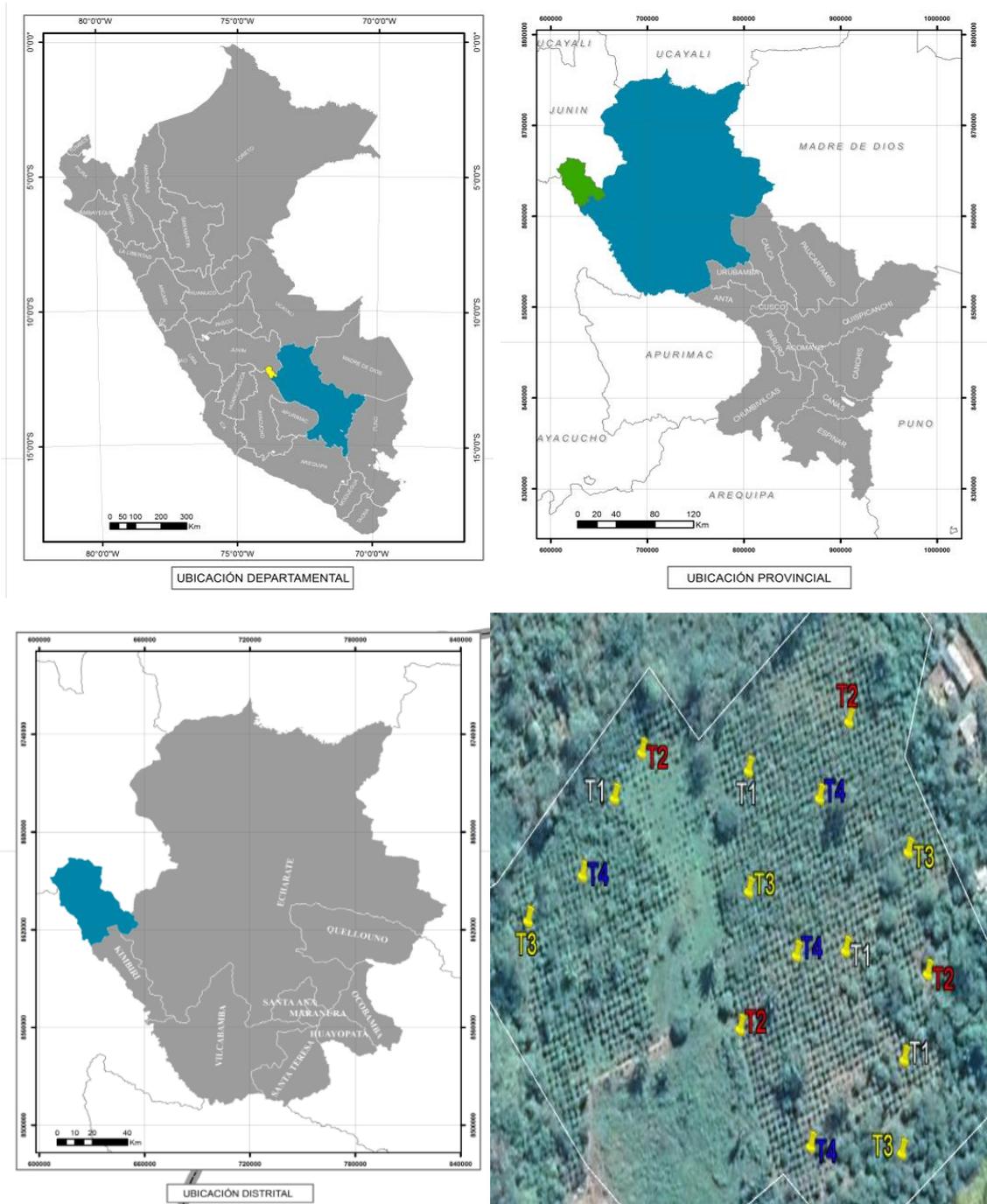
Nº Lab.	Muestra	pH (1:5)	C.E. dS/m (1:5)	MO %	N (%)	P2O5 (%)	K2O (%)	C/N	HH (%)
AAF 644	Compost-T1	8.06	4.59	46.18	1.65	0.56	2.60	16.21	18.01
AAF 645	Compost-T2	8.90	4.62	37.72	1.39	0.65	3.05	15.74	17.35
AAF 646	Compost-T3	8.63	5.54	52.92	1.73	0.67	3.38	17.74	18.11
AAF 647	Compost-T4	8.75	5.06	45.72	1.82	0.68	2.93	14.57	17.49

Nº Lab.	Muestra	CaO %	MgO %	Na %	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)
AAF 644	Compost-T1	1.41	1.13	0.07	12300	20	180	670
AAF 645	Compost-T2	8.26	1.13	0.12	13200	20	205	575
AAF 646	Compost-T3	2.05	1.24	0.14	8000	20	200	510
AAF 647	Compost-T4	6.63	1.09	0.10	12500	20	150	430


Ph. D. MARILENI CERDA GÓMEZ
Responsable de Laboratorio

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / ☎(066) 312049 - 📞966938028 - 966631889
📍 982781298 ✉ agrolab01@yahoo.es - agrolab107@gmail.com

Anexo 7. Ubicación geográfica



Nota: Zonificación Ecológica-Económica - ZEE (2014).

Anexo 8. Distribución de unidad experimental por bloques



Anexo 9. Panel fotográfico



Foto 1. Pesado de las mazorcas para obtener el contenido de humedad y materia seca



Foto 2. Recolección de cáscaras de mazorcas de cacao



Foto 3. Ubicación de las camas composteras en lugares estratégicos



Foto 4. Activación de EM



Foto 5. Dosificación de los tratamientos con cal agrícola



Foto 6. Activación de EM



Foto 7. Aplicación de EM en los tratamientos



Foto 8. Remoción del compost



Foto 9. Volteo semanal del compostaje



Foto 10. Registro de datos por cada unidad experimental de los tratamientos.



Foto 11. Toma de datos de la temperatura en los tratamientos



Foto 12. Toma de datos de pH en los tratamientos



Foto 13. Extracción de muestra del compost para el análisis en el laboratorio

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**
Bach. GILBER CAHUANA CCOSCCO**R.D. N° 452-2023-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho a los veintidós días del mes de enero del año dos mil veinticuatro, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del jurado conformado por el Ph.D. Marhleni Cerda Gómez, Mtro. Juan Aníbal Galindo Galindo como asesor, M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez y M.Sc. Fortunato Álvarez Aquise; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulada: **Efecto de microorganismos eficaces y cal agrícola en la producción de compost de mazorcas de cacao, Pichari - 2020.** para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroforestal presentado por la Bachiller **GILBER CAHUANA CCOSCCO.**

El señor Decano, previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ph.D. Marhleni Cerda Gómez	13	12	13	13
Mtro. Juan Aníbal Galindo Galindo	14	13	14	14
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	13	11	12	12
M.Sc. Fortunato Álvarez Aquise	13	13	14	13
PROMEDIO GENERAL				13

OBSERVACION: El título del trabajo de tesis según acuerdo de los miembros del jurado es: **Microorganismos eficientes y cal agrícola en la elaboración de compost con cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.), Pichari - 2023**

Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.



.....
Ph.D. Marhleni Cerda Gómez
Presidente



.....
Mtro. Juan Aníbal Galindo Galindo
Asesor



.....
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez
Jurado



.....
M.Sc. Fortunato Álvarez Aquise
Jurado



.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

Microorganismos eficientes y cal agrícola en la elaboración de compost con cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.), Pichari – 2023

Autor : Gilber Cahuana Ccoscco
Asesor : Juan Aníbal Galindo Galindo

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **dieciseis por ciento (16 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2305060860

Ayacucho, 26 de febrero de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agraria
Dr. Yuri Gálvez Gastelú
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de investigación y tesis - FCA

Microorganismos eficientes y cal agrícola en la elaboración de compost con cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.), Pichari – 2023

por Gilber Cahuana Ccoscco

Fecha de entrega: 26-feb-2024 11:16a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2305060860

Nombre del archivo: tesis_gilber_final.docx (7.11M)

Total de palabras: 14303

Total de caracteres: 75732

Microorganismos eficientes y cal agrícola en la elaboración de compost con cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.), Pichari – 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
2	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.redmujeres.org Fuente de Internet	1%
6	www.observatorioplastico.com Fuente de Internet	1%
7	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
8	docplayer.es Fuente de Internet	1%

9	dspace.utb.edu.ec Fuente de Internet	1 %
10	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
13	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	dolomita.co Fuente de Internet	<1 %
15	fundaciontortilla.org Fuente de Internet	<1 %
16	aprenderly.com Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
18	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
19	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.uts.edu.co:8080 Fuente de Internet	<1 %

21	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
22	www.scielo.org.ar Fuente de Internet	<1 %
23	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

MICROORGANISMOS EFICIENTES Y CAL AGRÍCOLA EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST CON CÁSCARAS DE CACAO (*Theobroma Cacao* L.), PICHARI – 2023

Gilber Cahuana Ccoscco

gilber.cahuana.28@unsch.edu.pe

Juan Aníbal Galindo Galindo

juan.galindo@unsch.edu.pe

Área de investigación: Medio ambiente

Línea de investigación: Sistemas de producción agrícola

RESUMEN

El trabajo de investigación se ejecutó en el sector platanal, distrito de Pichari, provincia La Convención, región Cusco, ubicado a una altitud de 585 msnm; con el objetivo de evaluar el efecto de microorganismos eficientes y cal agrícola en la producción de compost a base de cáscaras de cacao. Se instaló un total de 16 composteras bajo cubierta plástica tipo invernadero, distribuidas en el Diseño de Bloque Completos al Azar, se evaluaron el pH y temperatura durante el proceso de compostaje, el rendimiento del compost al final del proceso, así como los parámetros de calidad. Los resultados muestran que tanto el pH como la temperatura no obtuvieron diferencias estadísticas significativa durante el proceso de compostaje, mientras tanto en el rendimiento del compost existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos, el tratamiento T4 (con cal y EM) obtuvo el mayor rendimiento (39.9 %), siendo superior respecto a los demás tratamientos evaluados. En relación a la calidad del compost obtenido, la adición de 10 kg de microorganismos eficientes en 100 kg de cáscara de cacao durante el proceso de compostaje en los tratamientos T3 y T4 optimizaron el mayor rendimiento de compost en el T4 con (39.9%), incrementando los contenidos de materia orgánica T3 (52.92%), nitrógeno T4 (1.82%), óxido de fósforo T4 (0.68%), óxido de potasio T3 (3.38%), óxido de magnesio T3 (1.24%) y la adición de 10 kg de cal en 100 kg de cáscara de cacao durante el proceso de compostaje en los tratamientos T2 y T4, incrementaron el contenido de calcio en el T3 (8.26%) y el valor de pH (8.9) unidades.

Palabras clave: Microorganismos eficientes, cal agrícola, compost de cacao, VRAEM, Pichari.

**EFFICIENT MICROORGANISMS AND AGRICULTURAL LIME IN THE PRODUCTION
OF COMPOST WITH COCOA SHELLS (*Theobroma cacao* L.), PICHARI – 2023**

ABSTRACT

The research work was carried out in the banana sector, district of Pichari, province of La Convención, Cusco region, located at an altitude of 585 meters above sea level; with the aim of evaluating the effect of efficient microorganisms and agricultural lime on the production of compost based on cocoa shells. A total of 16 compost bins were installed under a greenhouse-type plastic cover, distributed in the Random Complete Block Design, the pH and temperature during the composting process, the yield of the compost at the end of the process, as well as the quality parameters were evaluated. The results show that both pH and temperature did not obtain a statistically significant difference during the composting process, while in the yield of the compost there is a statistically significant difference between the treatments, the T4 treatment (with lime and ME) obtained the highest yield (39.9%), being superior to the other treatments evaluated. In relation to the quality of the compost obtained, the addition of 10 kg of efficient microorganisms in 100 kg of cocoa husk during the composting process in the T3 and T4 treatments optimized the highest compost yield in the T4 with (39.9%), increasing the contents of organic matter T3 (52.92%), nitrogen T4 (1.82%), phosphorus oxide T4 (0.68%), potassium oxide T3 (3.38%), magnesium oxide T3 (1.24%) and the addition of 10 kg of lime in 100 kg of cocoa husk during the composting process in the T2 and T4 treatments, increased the calcium content in T3 (8.26%) and the pH value (8.9) units.

Keywords: Efficient microorganisms, agricultural lime, cocoa compost, VRAEM, Pichari.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao en el Valle del Río Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM) es la principal fuente de ingreso económico de los agricultores, es un cultivo alternativo al cultivo de coca debido a la rentabilidad y la adaptabilidad en la zona. Se conoce que la producción anual por hectárea del cultivo de cacao genera un promedio de 9 toneladas de residuos de cáscaras de cacao, a partir del cual se estima que la producción de abono alcanzaría obtener 2 toneladas de compost de forma tradicional, a lo que DEVIDA (2021) refiere que con el fin de promover el cuidado del medio ambiente, productores cacaoteros producen compost con sus residuos de cosecha en el norte, centro y sur del Valle de los Ríos Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM), produciendo aproximadamente 48 toneladas de compost por año (p. 2). La producción del cacao que genera residuos agrícolas como la cáscara de cacao al no ser tratados, son hospederos de plagas y enfermedades como la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), mazorca negra (*Phytophthora palmivora*) y el mazorquero (*Carmenta foraseminis*), generando pérdidas económicas al agricultor, por ello la producción del compost resulta una alternativa adecuada, al respecto Osorno (2012) manifiesta que “una producción de compost a base de cáscaras de cacao es factible utilizar los microorganismos eficientes que ayudará a aumentar la calidad del compost mejorando la textura, las características físicas, contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio” (p. 52). Entre los microorganismos que en su mayoría participan en el proceso se conocen a las bacterias, hongos y actinomicetos que tienen la capacidad de degradar los residuos de las plantas como la celulosa y quitina; liberando los minerales contenidos en los desechos orgánicos y no afectan al medio ambiente en consecuencia consumen las sustancias que generan malos olores (Farrel, 2009, p. 12).

Otro recurso importante factible de emplear es la cal, con el objetivo de mejorar las condiciones del compost para la acción microbiana, además de mejorar algunos componentes nutritivos que aportaría la fuente, razón por la cual Vila (2019) refiere que “la incorporación de cal agrícola en el proceso del compost mejora las condiciones de calcio y magnesio” (p.33). En tal sentido, en este trabajo se planteó hacer uso de microorganismos eficientes y cal agrícola en la elaboración de compost a base de cáscaras de cacao.

Objetivo general

Evaluar el efecto de los microorganismos eficientes y cal agrícola en la elaboración de compost con cáscaras de cacao.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de los microorganismos eficientes en la elaboración de compost con cáscaras de cacao.
2. Evaluar el efecto de cal agrícola en la elaboración de compost con cáscaras de cacao.

METODOLOGÍA

2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El trabajo de investigación se realizó en el sector denominado platanal, ubicado en el distrito de Pichari, provincia de La Convención, departamento Cusco a una altitud de 585 msnm, que geográficamente se ubica a 628785.92 E, 8612927.66 N.

2.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL DISTRITO DE PICHARI

En la tabla 2.1, reporta el comportamiento climático registrado durante la producción del compost, observándose las siguientes características; las temperaturas máximas media mensuales, correspondiente a los meses de junio, julio y agosto, meses en que se realizó la investigación fluctuó entre 30°C y 33.2°C, iniciándose el periodo donde resultaron los mayores incrementos, siendo la máxima media anual de 30.7°C. Con relación a la temperatura mínima media mensual osciló entre 14.8°C y 16.3°C, la temperatura media anual fue de 24.5°C; la precipitación pluvial durante el año 2021 fue de 2164 mm; mientras que la precipitación efectiva registra 1017.32 mm.

Durante el periodo de investigación, el inicio de los incrementos de la temperatura máxima media mensual, favoreció en el incremento de la temperatura en los tratamientos durante el proceso de compostaje; en cuanto a la precipitación pluvial se mantuvo de manera óptima ya que no hubo la necesidad de regar las camas compostadas, se observó la humedad por encima de 50% durante el proceso de compostaje.

Tabla 2.1. Datos climatológicos correspondientes a la campaña agrícola 2021

Estación meteorológica	: Pichari		
Distrito	: Pichari	Altitud	: 585 msnm
Provincia	: La Convención	Latitud	: 12°13' LS
Departamento	: Cusco	Longitud	: 73°49'30 LW

DATOS CLIMÁTICOS	AÑO 2021												TOTAL ANUAL	TEMP MED
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC		
T° Max med-men (°C.)	29	29.5	30	31.1	30	30.3	32	33.2	34.8	34.6	34.9	30		30.7
T° Min med-men (°C.)	17	18	18.5	17	16.6	16.5	16.3	14.8	17.5	17.9	17.9	18.5		17.25
T° Med-men (°C.)	24	24.5	24.5	24.8	24.5	24	24	25	25.3	25.5	24.8	24.5		24.5
Precipitación total (mm)	307.8	383.5	356.5	438.8	108.5	126.6	40.5	140	75.6	222.2	109.8	238.6		2164.9
Precipitación efectiva (mm)	104.95	104.95	104.95	104.95	75.56	85.8	17.73	89.3	46.58	104.15	74.25	104.15		1017.32
Evapotranspiración potencial (mm)	345.18	299.9	301.4	258.68	225.12	195.12	208.45	246.08	269	322.54	326.25	345.2		3342.92
Fe (corrección)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32		
Evapotranspiración corregida (mm)	104.58	91.48	91.48	79.82	69.8	59.82	63.12	75.56	81.82	98.89	99.12	105.65		
Humedad del suelo (mm)	-0.01	12.31	11.12	26.12	6.25	27.12	-49.36	19.85	-32.2	4.25	-30.02	-0.12		
Exceso de humedad (mm)		12.31	11.12	26.12	6.25	27.12		19.85		4.25				
Deficit de humedad (mm)-B1:P13	0.01						49.36		32.2		30.02	0.12		

Nota: Estación Meteorológica Pichari – Perlas del VRAEM.

2.3. MATERIALES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EMPLEADOS

2.3.1. Materiales orgánicos

- Microorganismos eficientes (EM)
- Restos de cacao
- Melaza

2.3.2. Recursos inorgánicos

- Cal agrícola

2.3.3. Equipos

- Peachímetro digital
- Termómetro digital
- Cámara digital
- Laptop

2.4. TRATAMIENTOS

Los tratamientos resultan de la combinación de dos factores (EM: sin y con; cal: sin y con) y los mismos se describen en la tabla 2.2

Tabla 2.2

Composición de los tratamientos

Trat.	Composición
T1	100 kg de cáscara de cacao (testigo)
T2	100 kg de cáscara de cacao + 10 kg de cal agrícola
T3	100 kg de cáscaras de cacao + 10 kg de microorganismos eficientes.
T4	100 kg de cáscara de cacao + 10 kg de cal agrícola + 10 kg de microorganismos eficientes.

2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos descritos en la tabla 2.2 se distribuyeron en cuatro lugares (bloques), por lo que el diseño experimental corresponde a un diseño de bloques completos al azar (DBCA).

El modelo aditivo lineal (MAL) es:

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la observación realizada en la unidad experimental que recibió el tratamiento.

U: Es la media general.

B_j : Efecto del j-esimo bloque

T_i : Efecto del i-esimo tratamiento

E_{ij} : Error experimental (la prueba de hipótesis se realizó mediante el análisis de varianza).

2.6. DESCRIPCIÓN DE UNIDADES EXPERIMENTALES

2.6.1. Medidas de unidades experimentales

Largo : 3 m

Ancho : 3 m

Área : 9 m² (con capacidad de producir 120 kg de compost por cama)

2.6.2. Ubicación de unidades experimentales

Número de unidades experimentales por bloque:

2.7. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

2.7.1. Procedencia de los microorganismos eficientes

Los microorganismos eficientes se adquirieron en tiendas de agroquímicos en su presentación de “EM – compost” en solución líquida que es un inoculante biológico elaborado a base de microorganismos con acción simbiótica en donde su función principal es acelerar la descomposición de la materia orgánica, reduciendo los malos olores y la presencia de moscas, además de incrementar la calidad nutricional y biológica del compost. La recomendación de dosis de aplicación según su ficha técnica es emplear 20 litros EM-compost activado por cada 10 toneladas de materia orgánica a compostar.

2.7.2. Activación de microorganismos eficientes (EM)

Para el uso de los microorganismos eficientes en la dosificación de los tratamientos se realizó el proceso de activación, empleándose los sgtes insumos.

Tabla 2.3

Insumos para la activación de microorganismos eficientes

Componentes	Cantidad
EM (microorganismos eficientes)	4 l
Agua	36 l
Aserrín	80 kg
Melaza	4 kg

Para la activación de microorganismos eficientes se preparó la mezcla de 4 l de EM más los 36 l de agua natural del riachuelo del centro poblado de Omayá y 4 kg de melaza, una vez realizada la mezcla se dispuso en baldes de 18 l y se dejó reposar por un tiempo de seis días para que los microorganismos se activen en forma anaeróbica, culminando se realizó el mezclado de 2 l de microorganismos eficientes activado más 2 kg de aserrín con la finalidad de obtener mayor tiempo de vida a los microorganismos para la dosificación según los tratamientos.

2.7.3. Ubicación y limpieza del terreno

La parcela está ubicada en el sector platanal del distrito de Pichari, donde se procedió con la ubicación para la instalación de 16 camas composteras de manera estratégica en lugares que ayuden en la recolección y quiebre de las mazorcas después de la cosecha del cultivo de cacao, luego se prosiguió con la limpieza de las áreas elegidas.

2.7.4. Recolección de cáscaras de cacao

Se recolectaron las cáscaras de cacao en áreas de cultivo donde realizaron la cosecha, amontonamiento, quiebre, extracción de grano y limpieza del terreno. Se obtuvo 100 kg de cáscara de cacao en cada lugar identificado con un promedio de 46 % de humedad, sumando un total de 1600 kg de cáscara de cacao para 6 camas composteras.

2.7.5. Instalación de composteras en la parcela

Se instaló 16 composteras bajo cobertura a manera de invernadero, utilizando plásticos dobles y tablas de madera que son materiales propios de la zona, las medidas consideradas fueron de 3 x 3 m y se colocaron 100 kg de cáscara de cacao en cada unidad experimental con sus respectivas dosificaciones indicadas en la tabla 2.2.

2.7.6. Apilado y dosificación de los tratamientos

Una vez recolectado las cáscaras de cacao se realizó el apilado a cada cama instalada utilizando las tablas de 3 m de largo y 3 m de ancho, la dosificación de los tratamientos se realizó al momento de apilar a las camas por cada tratamiento de forma aleatoria por bloques según la tabla 2.2.

2.7.7. Volteo de compost

Esta actividad de volteado se realizó cada 7 días (previa evaluación de temperatura y pH), utilizando una pala tipo cuchara, con la finalidad de homogenizar y facilitar la oxigenación de la materia orgánica para que los microorganismos actúen eficazmente en la descomposición.

2.7.8. Cosecha del compost

Una vez culminada con el proceso de compostaje que duró 10 semanas (70 días), se realizó la cosecha del compost, se realizó el zarandeo por cada bloque y tratamientos, culminando la actividad del zarandeo se extrajo la muestra de las 16 camas composteras, se extrajo una muestra de 0.5 kg por cada cama compostada sumando un total de 2 kg por bloque de donde se realizó el mezclado por cada tratamiento con la finalidad de homogenizar y enviar 0.5 kg de muestra por cada bloque al laboratorio para el análisis, cabe mencionar que los compost restantes se dispuso en costales para su almacenamiento.

2.8. EVALUACIÓN DE VARIABLES

2.8.1. pH y temperatura durante el proceso de compostaje

La evaluación de las variables de pH y temperatura se realizó cada semana (7 días), iniciándose el 14 de junio del 2021 y culminando el 23 de agosto del 2021 con un total de 70 días, consolidando 10 registros de datos.

pH

Se pesó 10 g de compost y se puso en un vaso de precipitado de 25 ml, se agregó 10 ml de agua destilada, se agitó y dejó reposar 10 minutos, luego se prosiguió con la calibración del peachímetro con las soluciones amortiguadoras y finalmente pasados los 10 minutos se dio la lectura del pH con el peachímetro y se registró en el cuaderno de apuntes.

Temperatura

Se prosiguió realizando la introducción del termómetro a una profundidad de 20 centímetros de la compostera y pasado los 3 minutos se realizó la lectura y luego el registro correspondiente en °C.

2.8.2. Rendimiento del compost

El rendimiento del compost consistió en determinar la cantidad de compost (base seca) obtenido a partir de los insumos empleados (base seca), para este efecto se tomaron muestras al inicio y final del proceso con lo que se determinó la cantidad de humedad para luego representar a base seca, la relación del peso final entre el peso inicial, multiplicado por 100, corresponde el rendimiento del compost; esta se expresa:

$$\text{Rendimiento } C(\%) = \frac{(PI)}{(PF)} \times 100$$

Donde:

Rdto. C: Rendimiento del compost

PI : Peso inicial

PF : Peso final

2.8.3. Características físico-químicas del compost

Se determinó mediante el análisis del compost en el laboratorio, evaluando las siguientes variables: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, óxido de fósforo, óxido de potasio, C/N, humedad, óxido de calcio y óxido de magnesio.

2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

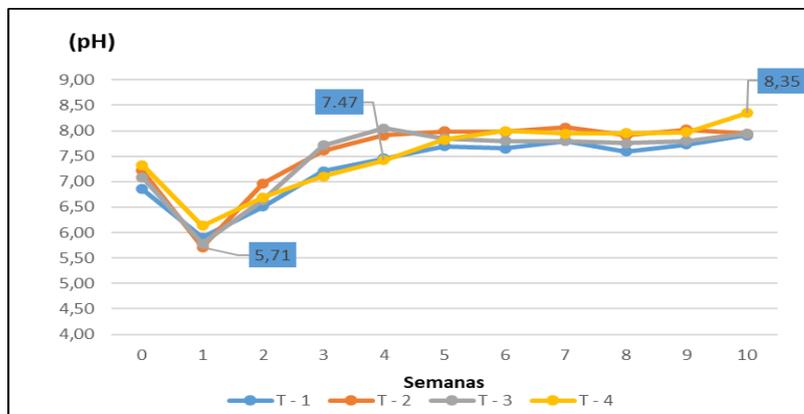
El análisis estadístico para el rendimiento del compost consistió en realizar el análisis de varianza y la prueba de Duncan correspondiente para el caso de la composición química del compost así mismo se realizó comparación numérica entre los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. pH y temperatura durante el proceso de compostaje

3.1.1. pH

Figura 3.1. pH durante el compostaje

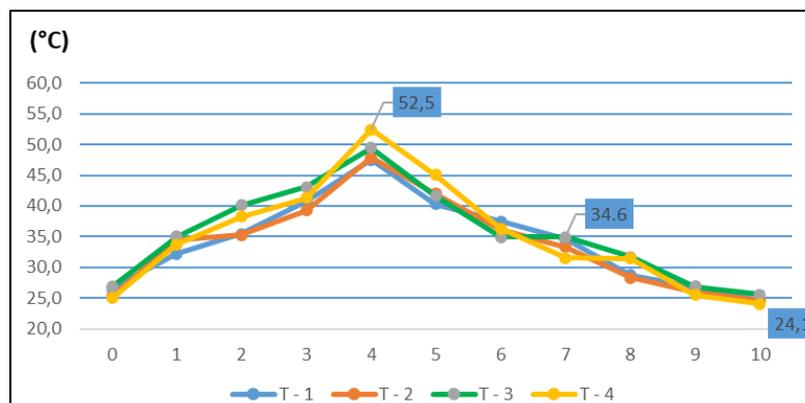


En la figura 3.1 se muestra una variación donde el comportamiento de pH a inicio del proceso es neutro en general, para luego disminuir a nivel de 5.71, en la etapa mesofílica, la misma que en opinión de Ordóñez (2014) “es de un periodo en el cual existe una producción intensa de dióxido de carbono, producto del ataque de compuestos orgánicos de elevado contenido de carbono como la lignina y celulosa dominante en las cáscaras de cacao” (p. 4). En esta etapa existe liberación paralela de ácidos orgánicos que provocan la disminución de la reacción, además de la limitación de oxígeno provocada por la fermentación que contribuye con la disminución del pH al inicio del proceso, en tal sentido Onwosi (2017) indica que la disminución del pH se debe a la producción de H^+ durante el proceso de nitrificación, la materia orgánica de alto peso molecular degradada a ácido orgánico e inorgánico, la volatilización de NH_3 y la mineralización de nitrógeno y fósforo; de tal forma coincidiendo en el comportamiento de pH en el proceso de compostaje, por su parte (García, 2022, p. 6). Indica que consecuentemente se favorece el crecimiento de hongos, se trata de organismos como los mohos y levaduras, expertos en descomponer desechos difíciles, permitiendo la siguiente etapa, durante el cual las reacciones físico químicas y biológicas acceden al crecimiento y multiplicación de las bacterias, quienes continúan en el proceso de descomposición, dado que paralelamente se produce el incremento de temperatura (etapa mesofílica), donde las bacterias mesofílicas descomponen la materia orgánica en proteínas y carbohidratos, generando constantemente calor mientras descomponen. Durante la segunda semana se inicia el incremento de la reacción del compost, donde la cal aplicada junto a los microorganismos eficientes parece mostrar una reacción óptima con pH de 6.69 en el tratamiento T4,

similar al testigo (6.51) y en la cuarta semana se registra alrededor de 7.47 de pH, todos ellos menores a los obtenidos cuando se aplica solo cal (T2) y microorganismos eficientes (T3) con los que se obtienen pH desde (6.97, 7.61, 7.91) y (6.69, 7.71 y 8.05) durante la segunda, tercera y cuarta semana, siendo estos superiores a los tratamientos anteriores, dejando entrever que la cal incorporada se disuelve en este periodo contribuyendo con la subida del pH un poco más que cuando se aplica junto con los microorganismos eficientes, de igual forma, la sola presencia de los microorganismos eficientes en su efecto sobre el pH es similar cuando se aplica cal, dejando entrever que la liberación de los amonios y amoniacos son elevados subiendo de este modo el pH, a diferencia de lo que ocurre en los otros tratamientos. En este periodo o etapa termofílica donde se alcanza el nivel máximo de pH, para mantenerse prácticamente constante, desde la quinta semana la multiplicación de las bacterias son muy grandes, dado que la temperatura es alta, favoreciendo a las bacteria termófilas, amantes del calor, quienes descomponen la materia orgánica de forma muy rápida, acelerando la descomposición de proteínas, grasa y carbohidratos complejos, liberando consecuentemente, amonio, amoniaco, provocando el incremento de la reacción (Azura 2017). Luego de la quinta semana el pH, se mantiene con ligeras variaciones, hasta agotar el suministro de energía en la cual se puede observar una disminución de la relación C/N del compost, además de dominar nuevamente bacterias mesófilas en la maduración. Sin duda, las variaciones de pH serán ligeras dependiendo de la zona, de los materiales y manejo que se dé durante el proceso de compostaje (frecuencia de volteo), así nuestros resultados son concordantes con lo hallado por (Azura 2017), quienes compostaron lodos de curtiduría con estiércol de pollo y salvado de arroz, donde la fluctuación de pH reportado fue de 6 a 9, durante las etapas del proceso.

3.1.2. Temperatura

Figura 3.2. *Temperatura durante el compostaje*



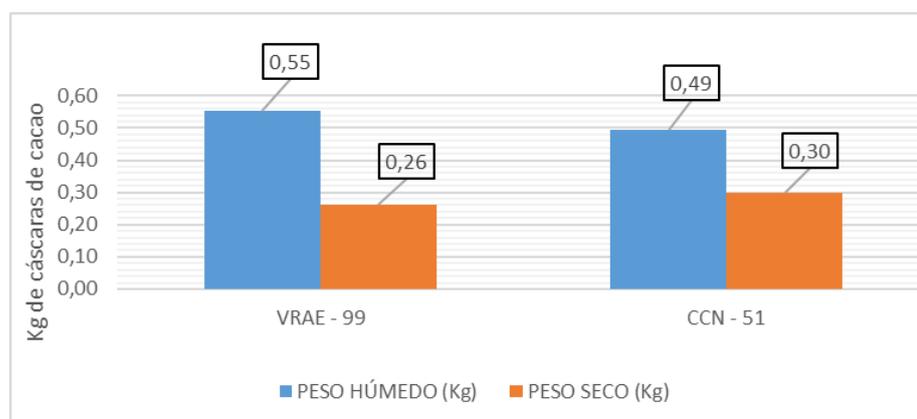
En la figura 3.2 se muestra una variación donde el comportamiento de la temperatura a inicio del proceso, el compost se encuentra a temperatura ambiente y la flora mesófila que se encuentra en los materiales orgánicos empezaron a desarrollarse utilizando hidratos de carbono y proteínas que son fácilmente asimilables, los tratamientos T3 y T4 sobresalen desde la segunda hasta la quinta semana presentando mayor actividad microbiana. La hidrolisis y la asimilación de los polímeros por microorganismos es un proceso lento, por ello, la generación de calor es pausado que llega a alcanzar la temperatura ambiente entre los 40 °C, para luego aumentar la temperatura en la etapa mesofílica donde los microorganismos mesofílicos como los hongos, actinomicetos, bacterias mesófilas continúan su actividad; esta intensa actividad metabólica hace que la temperatura se eleve; desde la posición de Tortasa (2018) se trata de un periodo donde la temperatura es un claro indicador de que hay actividad microbiana, por lo que se suele usar como parámetro de control del proceso en la actividad microbiana. Al aumentar gradualmente la temperatura se empezará a proliferar bacterias y hongos termófilos, estos empezarán a degradar la celulosa y de manera parcial la lignina, registrando de esta manera la tercera semana donde tiende a elevarse de forma gradual y se observará la aparición de actinomicetos y bacterias formadoras de esporas; se registró los datos más altos en la cuarta semana, llegando hasta los 52 °C para luego descender de manera gradual desde la quinta semana que comprende la etapa termofílica. Nuñez (2019), considera que, a partir de los 60 °C, los hongos termófilos tienden a cesar su actividad y a su vez, la reacción se lleva a cabo por las bacterias formadoras de esporas y actinomicetos. En esta etapa la generación de calor se iguala a la velocidad de pérdida de calor en la superficie de las pilas, marcando el final de la fase termofílica (p. 6). Desde el punto de vista de Cajusol y Moisupe (2018), durante el proceso de compostado las temperaturas mayores a 55 °C optimizan la sanidad, entre 45 y 55 °C maximizan la biodegradación y entre 35 y 40 °C favorecen la diversidad microbiana. Se observa que desde la sexta semana el comportamiento de la temperatura tiende a disminuir llegando hasta la octava semana (etapa enfriamiento); la misma que en opinión de García (2022), es una fase donde los microorganismos mesófilos vuelven a aparecer y seguirán degradando polímeros como la celulosa y lignina, cuando se reinicia la actividad, el pH de la mezcla desciende de una forma ligera, de esta manera, pudiendo ser visibles a simple vista la aparición de los hongos (p. 5). Finalmente, desde la octava semana en adelante se observa una temperatura del ambiente con ligeras variaciones (etapa de maduración); por consiguiente, García (2022), indica que en esta fase la temperatura tiene un periodo más

largo con respecto a las otras, que tienen una duración de meses, por ello, la fermentación es lenta, donde las partes que han sido menos biodegradables de la materia orgánica será degradada. La mezcla se enfría hasta llegar a una temperatura ambiente, al llegar a este punto se producen nuevas reacciones químicas de condensación y polimerización de compuestos con carbono; resultando en la formación de ácidos y la consolidación de nuevas moléculas.

3.2. RENDIMIENTO DE COMPOST

3.2.1. Contenido de humedad y materia seca de mazorcas

Figura 3.3. Contenido de humedad y materia seca de mazorcas de cacao



En la figura 3.3 se muestra los resultados del contenido de materia seca de las cáscaras de cacao, la variedad CCN – 51 muestra mayor materia seca, respecto de la variedad VRAE – 99, se deduce que la variedad con menor contenido de humedad y mayor contenido de materia seca es la variedad de CCN - 51, cabe indicar que el cultivo de cacao en la parcela de investigación está instalada con un promedio de 50% de CCN – 51 y 50% de VRAE – 99, estos datos evaluados indican que la cáscara de cacao presenta 46 % de humedad como promedio, con este dato de referencia se evaluará el % del rendimiento del compost.

3.2.2. Rendimiento del compost

Tabla 3.1. Del rendimiento de compost

Tratamientos	Peso inicial (kg)		Peso final (kg)			Peso de residuos sólidos gruesos en zarandeo (kg)	Relación (PI/PF) (kg)	Rend. del compost (%)
	Material con 46% de H ^o	Seco	Humedad	% de humedad	Seco			
T1 (testigo)	110	54	31	59.3	12.6	5	4.6	23.3
T2 (con cal)	110	64	43	59.8	17.9	6	3.6	28
T3 (con EM)	110	59	45	55.9	19.8	7	3.0	33.6
T4 (con cal y EM)	120	69	56	50.9	27.5	6	2.5	39.9

En la tabla 3.1 se muestra el peso inicial (húmedo y seco), peso final (húmedo y seco) que ayudan a determinar el rendimiento del compost, el tiempo de la descomposición de las mazorcas duró 10 semanas (2 meses y 9 días), resultando que los tratamientos varían desde 23.3 % a 39.9 % correspondiendo el mayor valor al tratamiento T4 (con cal y ME) respecto al resto, el menor rendimiento del compost resulta para testigo indicando que en condiciones normales el rendimiento del compost resulta menor, sin duda el periodo del compostaje también influye, no obstante la incorporación de los microorganismos eficientes y cal influyeron en el rendimiento del compost generado.

Tabla 3.2

Análisis de varianza del rendimiento del compost

Fuentes	GL	SC	CM	Fc	Pr>F	Sig.
Tratamientos	3	619.28	206.43	53.96	0.0000045	**
Bloques	3	7.82	2.61	0.68	0.58	NS
Error	9	34.43	3.83			
Total	15	661.53				
$\bar{X} = 31.22$			$\% CV = 6.27$			

En la tabla 3.2 se muestra el ANVA del rendimiento del compost, donde se observa que presenta una diferencia estadística significativa entre los tratamientos, esto se atribuye el efecto positivo de la incorporación de los microorganismos eficientes y la cal en la descomposición de la cáscara de cacao, con un coeficiente de variabilidad de 6.27 %, indicando la confiabilidad de los datos obtenidos.

Tabla 3.3

Prueba de Duncan del rendimiento de compost

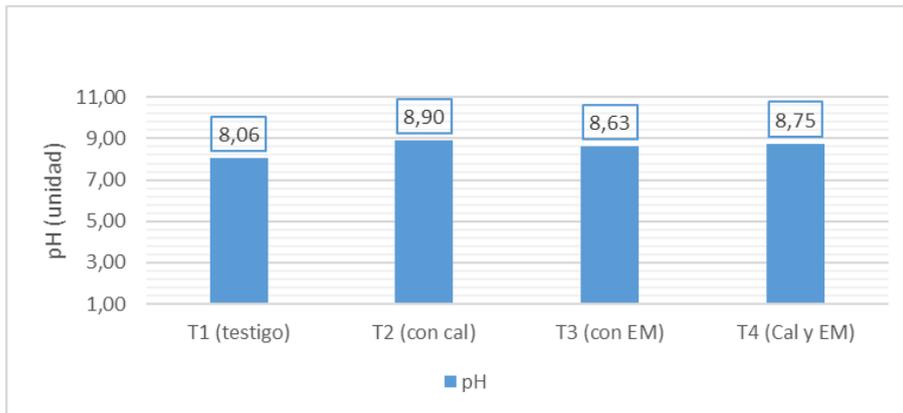
Tratamientos	Promedios	Grupo Duncan
T4 (con cal y EM)	39.9 %	a
T3 (con EM)	33.6 %	b
T2 (con cal)	28 %	c
T1 (testigo)	23.3 %	d

La prueba de Duncan en la tabla 3.3 demuestra que el tratamiento 4 es el mejor en el rendimiento del compost, superando estadísticamente a los otros tratamientos, gracias a la incorporación de los microorganismos eficientes y la cal resultan favorables a comparación de los demás tratamientos incluido el testigo que muestra diferencia significativa entre los tratamientos.

3.3. DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL COMPOST

3.3.1. pH

Figura 3.4. pH en el compost

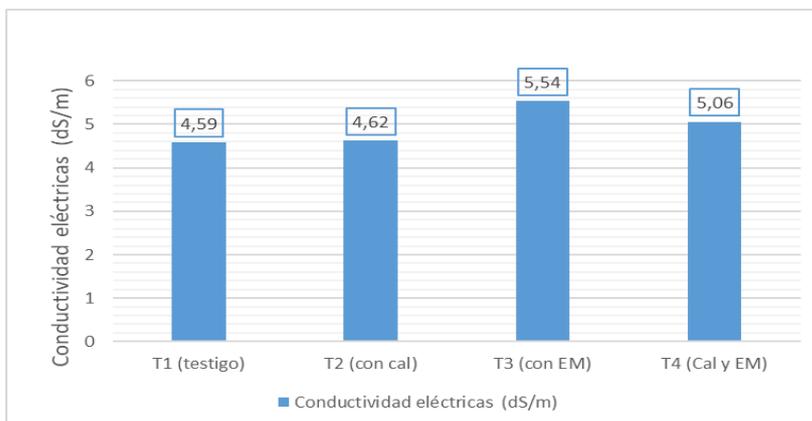


La figura 3.4 muestra las unidades de pH en el compost resultante, donde el pH en todos los tratamientos con adición de microorganismos eficientes, cal ó ambos, muestran en el compost obtenido un mayor pH respecto al testigo, datos que son coherente con lo obtenido por Rich y Bharti (2015) quienes informan resultados similares, donde la buena actividad microbiana se desarrolla en pH entre 6, 7 y 9. Mino (2020) indica que “la cal, los restos verdes de cocina o de jardín y las cenizas de madera o materiales leñosos pueden incrementar el pH, puesto que estos liberan compuestos alcalinos” (p. 3). Además, la adición de cal durante el periodo de compostaje podría acelerar el proceso de compostaje (Awasthi, 2016, p. 4).

El compost obtenido tendrá un comportamiento adecuado en los suelos ácidos como los que existen en el VRAEM mejorando sus condiciones microbiológicas, disponibilidad de nutrientes por lo que en la mayoría de los casos es utilizado como enmienda o mejorador.

3.3.2. Conductividad eléctrica en el compost

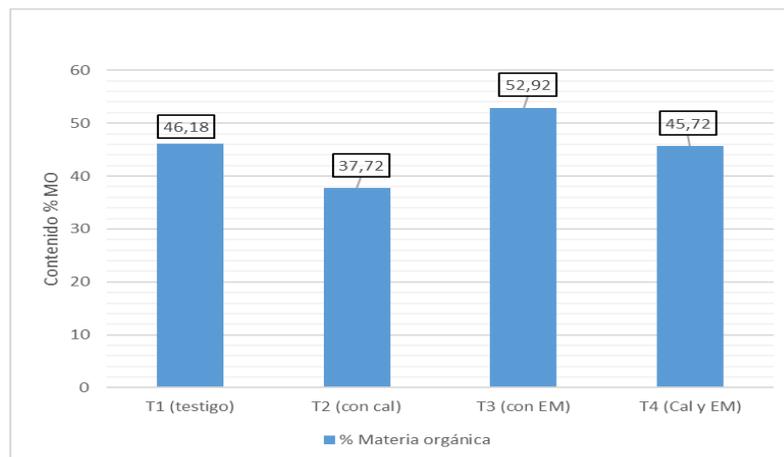
Figura 3.5. Conductividad eléctrica en el compost



La figura 3.5 muestra las unidades de conductividad eléctrica en el compost resultante; esta resulta con ligero incremento, no obstante está considerado dentro del rango normal; la incorporación de cal y los microorganismos eficientes ayudaron a la liberación de potasio, calcio y sodio que provoca mayor concentración en la evolución de la conductividad eléctrica del abono compostado; por ello López (2016) indica que “la conductividad eléctrica proporciona información de la presencia de sales solubles”. La aplicación de sólo cal (tratamiento T3); mantiene la conductividad eléctrica similar al testigo, coincidiendo con lo reportado por Wang (2016) quienes señalaron que la cal redujo la salinidad e influyó positivamente en la madurez del compost de residuos de alimentos. Los valores obtenidos se encuentran en el rango normal del compost tal como refiere Insuasti (2017) que la conductividad eléctrica se encuentra reflejada en la salinidad de varios sustratos e indica la madurez del compost, debido a que es inevitable que la concentración de sales solubles aumente por la degradación de la materia orgánica.

3.3.3. Materia orgánica en el compost

Figura 3.6. *Contenido de materia orgánica en el compost*



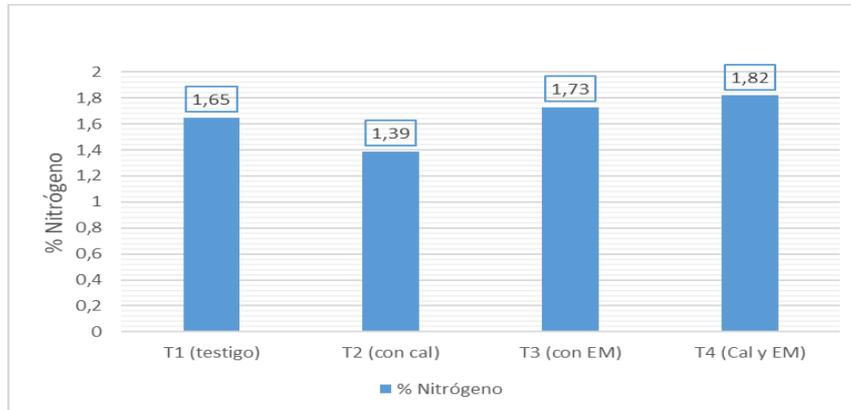
La figura 3.6, se muestra los contenidos de materia orgánica en el compost resultante, se observa que el tratamiento T3 (con ME) presenta mayor contenido de materia orgánica con (52.92 %) siendo esto mayor al testigo la calidad del compost producido que proviene de la descomposición de cáscaras de cacao, aserrín y la cal.

Al respecto Soliva (2014) menciona que “el contenido final será la consecuencia del valor inicial de materia orgánica, de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el tratamiento” (p. 8) simultáneamente, Pérez (2009) menciona que “la degradación de la materia orgánica es llevada a cabo, debido a que los microorganismos que se encuentran presentes en el proceso utilizan el carbono orgánico como fuente de energía” (p. 8), la materia orgánica obtenida en los tratamientos se

encuentran en niveles superiores según las especificaciones de la norma Chilena del compost (Nch2880) siendo por tanto un compost de clase A.

3.3.4. Nitrógeno en el compost

Figura 3.7. *Contenido de nitrógeno total en el compost*



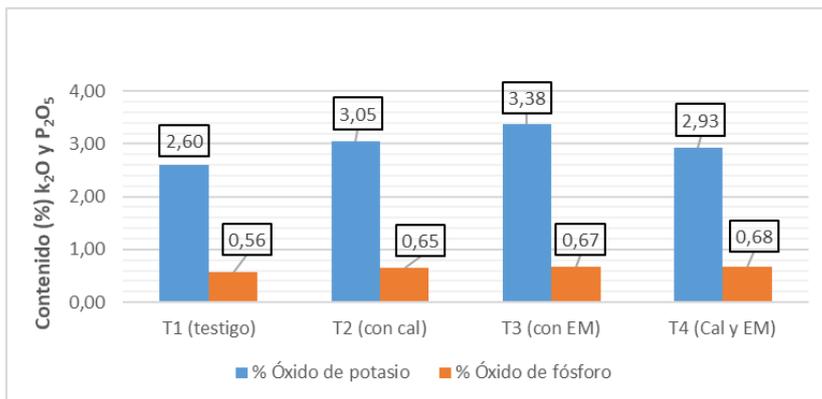
La figura 3.7, se muestra los contenidos de nitrógeno en el compost resultante, el tratamiento T4 (con cal y EM) presenta la concentración más alta con (1.82%) siendo ligeramente mayor inclusive al tratamiento T3 (con EM), la incorporación de los microorganismos eficientes junto a cal favorecen a la actividad de los microorganismos, efecto que podría ser consecuente con lo hallado por Chung (2021) quienes reportaron que la cal aplicada durante el compostaje de estiércol resulta como material corrector adecuado y puede acelerar la transición de la materia orgánica debido a la regulación de pH del compost.

En tal sentido, Pacheco (2009) explica que las enzimas más importantes que intervienen en el proceso de compostaje son: las celulasas, despolimerasa celulasa, B-glucosidasa que hidroliza glucósidos, ureasa que participan en la mineralización del nitrógeno, fosfatasa y arylsulfatasa que eliminan los grupos de fosfato y sulfatos de los compuestos orgánicos (p. 18).

Los niveles de nitrógeno en los cuatro tratamientos varía de 1,39% a 1,82% niveles de rango adecuado y concuerdan con lo indicado por Martínez (2013) que “el contenido de nitrógeno de buen compost debe estar entre 0,3% – 1,5% de nitrógeno para aplicar compost como fertilizante orgánico” (p. 6).

3.3.5. Óxido de fósforo y potasio

Figura 3.8. Contenido de fósforo y potasio en el compost

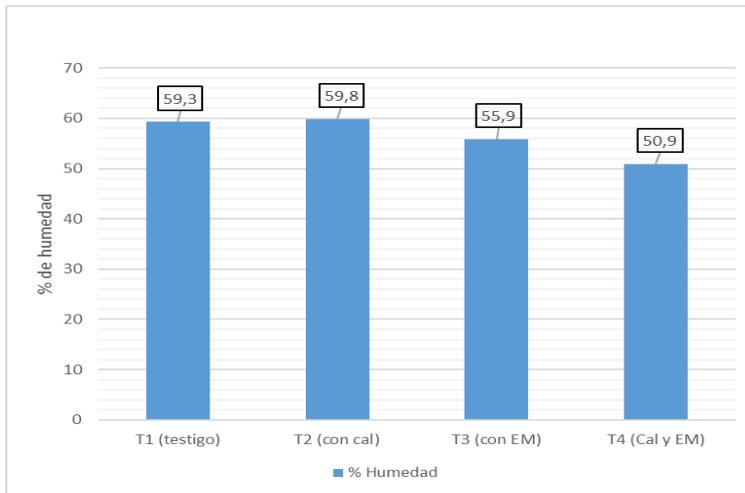


La figura 3.8 muestra los contenidos de óxido de fósforo y potasio en el compost resultante, donde se observa que el tratamiento T4 (con cal y ME) posee un contenido mayor y alcanza a 0.68 % de óxido de fósforo, la incorporación de los microorganismos eficientes mejoran el contenido de óxido de fósforo ya que la cáscara de cacao es rico en tal nutriente por lo tanto la incorporación de los microorganismos ayudan a mineralizarlos, al respecto Navia (2013) menciona que el porcentaje de óxido de fósforo debe estar entre 0,1 a 1,6%, atribuyéndose en cierta medida que el contenido de fósforo depende de la descomposición de materia orgánica y el nivel óptimo de pH en el compostaje, en tal sentido Álvarez (2009) indica que “el contenido de fósforo en el compost puede ser entre 0.3% y 3.5% en forma de óxido fosfórico (P₂O₅), y varía en función del tipo de materiales que hayan sido utilizados en el proceso de compostaje” (p. 2). Se puede afirmar que los cuatro tratamientos de óxido de fósforo se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la FAO (2013), por lo tanto, cumplen para un compost maduro con buen contenido de óxido de fósforo que al ser incorporados al suelo influirían favorablemente en la producción de mazorcas de cacao u otros cultivos.

En relación al contenido de potasio se aprecia que el tratamiento T3 (con EM) tuvo el mayor contenido con 3.38 %, siendo el más alto a comparación de los demás tratamientos; desde la posición de FAO (2013), manifiesta que para la toma de decisiones a la hora de aplicar compost como fertilizante orgánico, así como para aplicarlo en nutrición integrada con fertilizantes minerales, se debe tener en cuenta que el contenido en el compost varía entre 0.3% a 1%; por lo tanto los contenidos de potasio en los resultados de nuestro trabajo superan y se encuentra dentro del rango de calidad propuesto por la FAO.

3.3.6. Humedad en el compost

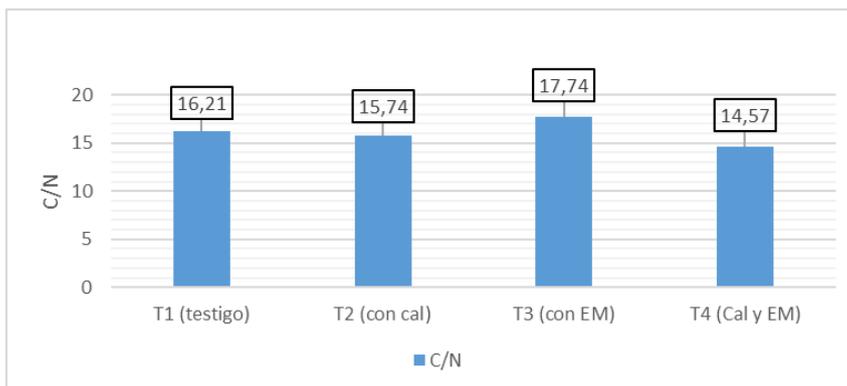
Figura 3.9. *Contenido de humedad en el compost*



La figura 3.9 muestra los resultados del contenido de humedad en el compost resultante, los resultados del contenido de humedad en el análisis del compost superan lo establecido por FAO (2013) que indica que se debe almacenar el compost con una humedad entre 30 – 40 % al final del proceso, para mantener en equilibrio la actividad microbiana de lo contrario con demasiada humedad se desplaza el espacio para el aire y el compost puede comenzar a pudrirse, por lo tanto se observa que los cuatro tratamientos se encuentran fuera del rango establecido, cabe mencionar que la humedad se puede manejar a las condiciones óptimas.

3.3.7. C/N en el compost

Figura 3.10. *Relación de C/N en el compost*

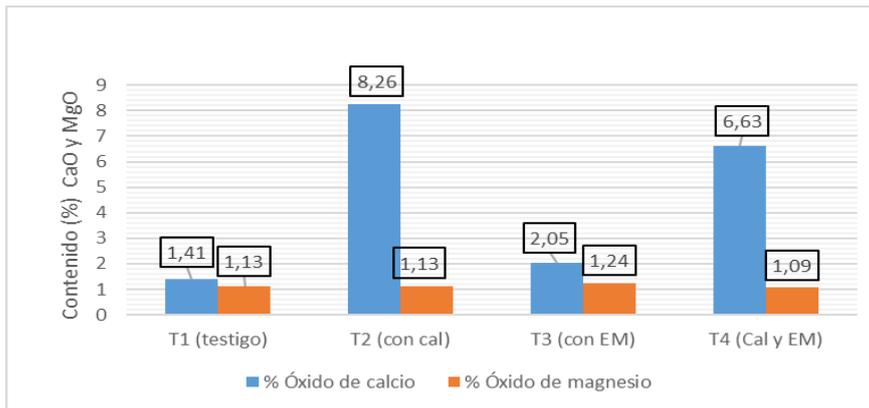


La figura 3.10 muestra los resultados de la relación C/N en el compost, el tratamiento T4 (con cal y ME) registra 14.57; estos son resultados de una buena relación que existe entre el carbono y nitrógeno esto debido a la aplicación de 10 kg de microorganismos eficientes activados con aserrín (carbono) y cáscara de cacao fresco (nitrógeno); Valencia (1995) manifiesta que se necesitan dos tipos de materiales para una

pila de compost; aquellos con buenos contenidos de carbono y aquellos buenos contenidos de nitrógeno. Los microorganismos durante el proceso de la producción de compost usan carbono (como fuente de energía) y nitrógeno (síntesis de proteínas). Una buena relación C/N es de 30:1, se requiere más carbono que nitrógeno en el proceso de compostaje.

3.3.8. Óxido de calcio y magnesio

Figura 3.11. Contenido de óxido de calcio y magnesio en el compost



La figura 3.11 muestra los resultados del contenido del óxido de calcio y magnesio en el compost resultante, el buen contenido de óxido de calcio se registra en el tratamiento T2 (con cal) 8.26 % y el tratamiento 4 (con cal y ME) 6.63 %, estos resultados confirman que la aplicación de la cal en el proceso de compost mejora el contenido de calcio en el compost final, la misma que en opinión de Bravo (2017), en su investigación de “propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de caña de azúcar, en una mezcla de bagazo, ceniza, el contenido de calcio registró 3% de óxido de calcio” (p. 8); son similares nuestros resultados obtenidos del compost a base de microorganismos eficientes y cal; la aplicación del compost obtenido como abono en el cultivo de cacao mejorarían las condiciones del suelo; Según el trabajo realizado por Ruíz (2019) “los niveles de calcio en el compost incrementa con diferentes dosis de gallinaza en la elaboración de compost, este no se pierde en el proceso de producción de compost ya que es insoluble en gran cantidad de componentes” (p. 70-74).

En relación al contenido de óxido de magnesio resulta más alto es en el tratamiento 3T (con ME) con 1.24 %, diferenciándose de forma numérica de los demás tratamientos; la misma que en opinión de Casas (2012), el magnesio es esencial en consecuencia estos resultados indican que la concentración de magnesio es muy alta en nuestro compost mientras tanto; Suquilada (2016) indica que “el compost producido a base de estiércoles es una excelente fuente de magnesio, el compost orgánico es rico en magnesio” (p. 32).

CONCLUSIONES

1. La adición de 10 kg de microorganismos eficientes en 100 kg de cáscara de cacao durante el proceso de compostaje en los tratamientos T3 y T4 optimizaron el mayor rendimiento de compost en el T4 con (39.9%), incrementando los contenidos de materia orgánica T3 (52.92%), nitrógeno T4 (1.82%), óxido de fósforo T4 (0.68%), óxido de potasio T3 (3.38%) y óxido de magnesio T3 (1.24%).
2. La adición de 10 kg de cal en 100 kg de cáscara de cacao durante el proceso de compostaje en los tratamientos T2 y T4, incrementaron el contenido de calcio en el T3 (8.26%) y el valor de pH (8.9) unidades.

REFERENCIAS

- Awasthi, M. K. (2016). *Efecto de la enmienda de biocarbón sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y la biodisponibilidad de metales pesados durante el co-compostaje de lodos de depuradora*. Revista de Producción Más Limpia, pág. 4.
- Azura Zakarya, I. (2017). *Efecto del pH, la temperatura y el contenido de humedad durante el compostaje de la quema de paja de arroz a diferentes temperaturas con residuos de alimentos y microorganismos efectivos*. CENVIRON, pág. 8.
- Bravo, E. (2017). *Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña*. Santa Clara - Cuba.
- Cajusol Piscoya, F., & Moisupe Lluén, L. (2018). *Caracterización físico-química y biológica del compost obtenido con residuos sólidos agropecuarios en Lambayeque, septiembre a diciembre de 2016*. Lambayeque - Perú.
- Chung, W. J. (2021). *Efecto de la enmienda de biocarbón sobre la calidad del compost, las emisiones gaseosas y la reducción de patógenos durante el compostaje de estiércol de pollo en recipientes*. Chemosphere, pág. 5.
- DEVIDA. (2021). *Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (Devida)*. AGRO-PERÚ, pág 1-2.
- FAO. (2013). *Manual del compostaje del agricultor*. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago - Chile.
- Farrel, M. (2009). *Evaluación crítica del compostaje de residuos sólidos municipales y mercados potenciales de compost*. Biorrecurso, tecnología.

- García Galdeano, J. (2022). *Efecto en el crecimiento de patógenos de transmisión alimentaria, y su relación con el contenido en minerales esenciales, de condimentos y verduras de la dieta mediterránea*. España: Universidad de Granada.
- García Severí, J. (2022). *Compostaje industrial: fases del proceso*. AIMPLAS, pág. 6.
- INIA. (2022). *INIA caracteriza nivel de calidad de suelos agrarios en los cultivos de cacao y café*. AGRO-PERÚ, pág. 2 Y 3.
- Insuasti Benítez, J. (2017). *Efecto de los fertilizantes triple 20 y nitrato de potasio en pH, conductividad eléctrica en el sustrato y crecimiento de plántulas de lechuga, tomate y chile*. Zamorano, Honduras.
- López Sotelo, J. (2016). *Tratamiento y revalorización de sandach procedente del sector productivo de la avicultura de puesta mediante compostaje*. .
- Mino, F. (2020). *Análisis de las características físico-químico de las etapas de la producción de compost utilizando residuos de poda de jardinería del centro poblado callanca*. Lambayeque - Perú: Universidad de Lambayeque.
- Núñez Velez De Villa, J. (2019). *Relación de los microorganismos del aire interno del mercado de Paucarbamba con los procesos infecciosos que alteran el estado de salud de los trabajadores*. Huánuco.
- Ordóñez, G. M. (2014). *“Transformación de los lodos generados en el camal municipal en compost para uso en el cultivo vicia*. Ambato – Ecuador: 1ª ed.
- Osorno Henao, H. (2012). *El uso de las cales o enmiendas en los suelos*. Lombricultura de tenjo, pág. 1,2 y 3.
- Soliva, M. (2014). *Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso*. Barcelona: CENEAM/MIMAM.
- Tortasa, G. (2018). *Temperatura en el compost*. compostando ciencia, pág. 2.
- Vila, A. S. (2019). *Efecto de la Cuyaza en la elaboración de compost a partir de cáscara de mazorca de cacao (Theobroma Cacao L.) mediante el sistema de Pilascon Volteo en la comunidad de Malvinas-Kimbiri-VRAEM*. Kimbiri - Perú: 1ª ed.
- Wang, Q. (2016). *Efecto de la enmienda de biocarbón sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y la biodisponibilidad de metales pesados durante el co-compostaje de lodos de depuradora*. Revista de Producción Más Limpia, pág. 4.