

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

**USO DE ACTIVADORES BIOLÓGICOS LOCALES SOBRE LAS
PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL COMPOST EN LOS
YUNGAS DE LA PAZ**

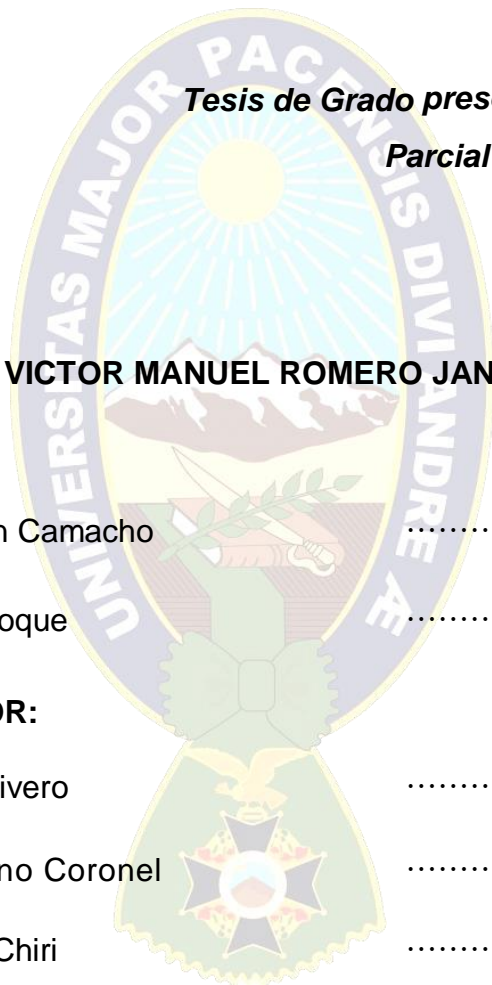
VICTOR MANUEL ROMERO JANCO

La Paz – Bolivia

2017

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**USO DE ACTIVADORES BIOLÓGICOS LOCALES SOBRE LAS PROPIEDADES
FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL COMPOST EN LOS
YUNGAS DE LA PAZ**



*Tesis de Grado presentado como requisito
Parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

VICTOR MANUEL ROMERO JANCO

ASESOR (ES):

Ing. Ph.D. Eduardo Chilon Camacho

Ing. Ph.D. David Cruz Choque

TRIBUNAL EXAMINADOR:

Ing. M.Sc. Ruben Trigo Rivero

Ing. M.Sc. Genaro Serrano Coronel

Ing. M.Sc. Freddy Porco Chiri

APROBADA

PRESIDENTE TRIBUNAL EXAMINADOR:

DEDICATORIA

A DIOS: Por darme la oportunidad de existir y poder obtener conocimiento y progresar, por la familia que me dio por la salud y bienestar por el conocimiento la sabiduría y entendimiento que me dio y ser la persona que soy ahora.

A MI AMADA ESPOSA YOLY RIVERA GUTIERREZ por su apoyo incondicional y su comprensión

A MI SEÑOR PADRE: VICTOR ROMERO BASCOPE (†) gracias a sus consejos sacrificio y su constante apoyo para terminar esta hermosa carrera.

A MI SEÑORA MADRE: AYDEE JULIA JANCO AYAVIRI por su apoyo y constante confianza para seguir estudiando y poder lograr el sueño de ser ingeniero agrónomo.

A MIS HERMANOS: MARCOS, ROMER, AYRTON Y EDSON por su apoyo y constante confianza y respeto para lograr mis metas.

A LA CORPORACION IGLESIA DE JESUCRISTO DE LOS SANTOS DE LOS ULTIMOS DIAS: por la confianza deposita en mí persona

A todos los familiares y amigos que me brindaron su apoyo en esta etapa maravillosa de preparación y poder ser una persona de éxito

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: por darme su guía su sabiduría y la oportunidad de poder desarrollar talentos escondidos y poder sobrellevar los obstáculos y darme paciencia entendimiento y fuerza para poder ser la persona que soy a mis **PADRES Y HERMANOS** que contribuyeron en mi formación y en especial a mi amada **ESPOSA** por su constante apoyo y comprensión.

AL INSTITUTO BENSON: por darme la confianza y el apoyo y haber sido parte de esta prestigiosa institución como becario.

A la prestigiosa casa de estudios Universidad Mayor de San Andrés al plantel docente de la Carrera de Ingeniería Agronómica.

Al Ingeniero PhD **Eduardo Chilon** y **David Cruz** por el asesoramiento constante para que este trabajo se realice.

Al tribunal revisor Ing. MSc. **Ruben Trigo** Ing. M.Sc. **Genaro Serrano Coronel** Ing. M.Sc. **Freddy Porco Chiri** por su apoyo y aporte de conocimientos y correcciones realizadas al documento final.

Finalmente a mis familiares y amigos que me apoyaron en esta etapa de formación que de manera directa o indirecta colaboraron para la culminación de este trabajo de investigación

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
2.3. Hipótesis	2
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1. El compost como abono orgánico pre- humificado	3
3.2. El proceso de Compostación o compostaje	3
3.3. El método y técnica del compostaje andino	5
3.3.1. Insumos Orgánicos y Naturales Requeridos para la Compostación.....	5
3.3.1.1. Residuos orgánicos.	5
3.3.1.2. El estiércol.....	6
3.3.1.3. Ceniza	7
3.3.1.4. Los activadores biológicos.....	7
3.3.2. Activadores Biológicos del Compost en Altiplano y Valles	8
3.3.3. Activadores Biológicos del Compost en Yungas	8
3.3.4. Factores que Influyen sobre el Proceso de la Compostación.....	9
3.3.5. Trabajos de Investigación en Compost.....	14
3.3.6. Factores que Influyen en la Actividad de los Microorganismos del Compost	15
3.3.7. Etapas del Compostaje.....	17
3.3.8. Características y Propiedades físicas y químicas del Compost.....	18
3.3.8.1. Propiedades físicas del compost	18
3.3.8.2. Propiedades químicas del compost	19
3.4. Activadores biológicos y aceleración del compostaje	19

3.5.	Efectos de la aplicación del compost sobre las propiedades de los suelos agrícolas.....	20
3.5.1.	Sobre las propiedades físicas del suelo.....	20
3.5.2.	Sobre las propiedades químicas del suelo.....	20
3.5.3.	Sobre las propiedades biológicas del suelo	21
4.	MATERIALES Y METODOS	22
4.1.	Localización del área experimental.....	22
4.2.	Características agroecológicas.....	23
4.2.1.	Clima	23
4.2.2.	Fisiografía.....	23
4.2.3.	Suelos	23
4.2.4.	Vegetación.....	23
4.3.	Materiales y Métodos	24
4.3.1.	Restos Vegetales.....	24
4.3.2.	Ceniza	25
4.3.3.	Estiércol de cerdo y murciélago	25
4.3.4.	Activadores biológicos locales (ABL)	25
4.3.5.	Material de campo	25
4.3.6.	Material de Gabinete	25
4.3.7.	Material de laboratorio	26
4.4.	Actividades procedimentales	26
4.4.1.	Metodología de elaboración del compost.....	27
4.5.	Diseño Experimental	28
4.5.1.	Modelo lineal	29
4.5.2.	Dimensiones y croquis del área experimental.....	30
4.6.	Variables de evaluación	31

4.6.1.	Comportamiento de la Temperatura de la Compostación	31
4.6.2.	Tiempo de Duración del Compostaje	31
4.6.3.	Propiedades Físicas del Compost	31
4.6.4.	Propiedades Químicas del Compost.....	31
4.6.5.	Análisis Económico	32
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
5.1.	Características agroclimáticas de la zona de estudio	35
5.1.1.	Clima temperatura y precipitación.....	35
5.2.	Influencia de los activadores biológicos locales sobre la temperatura y duración de la compostación	36
5.3.	Efecto de los activadores biológicos locales sobre las características y propiedades de los tratamientos de compost	38
5.3.1.	Efecto de los activadores biológicos locales sobre las propiedades físicas del compost	38
5.3.2.	Efecto de los activadores biológicos locales sobre la densidad aparente de los tratamientos de compost.....	38
5.3.3.	Efecto de los activadores biológicos locales sobre la densidad real de los tratamientos de compost.....	41
5.3.4.	Efecto de los activadores biológicos locales sobre la porosidad de los tratamientos de compost.....	44
5.3.5.	Efecto de los activadores biológicos locales sobre el contenido de humedad gravimétrica y volumétrica de los tratamientos de compost.....	47
5.3.6.	Efecto de los activadores biológicos locales sobre el color de los tratamientos de compost	51
5.3.7.	Efecto de los Activadores Biológicos Locales sobre las propiedades organolépticas de los Tratamientos de compost	53
5.3.8.	Efecto de los activadores biológicos locales sobre las propiedades químicas del compost	54
5.3.9.	Efecto de los activadores biológicos locales sobre el ph de los tratamientos de compost	54

5.3.10. Efecto de los activadores biológicos locales sobre la conductividad eléctrica de los tratamientos de compost	57
5.3.11. Efecto de los activadores biológicos locales sobre el contenido de materia orgánica (%) de los tratamientos de compost.....	58
5.3.12. Efecto de los activadores biológicos locales sobre el contenido de carbón orgánico de los tratamientos de compost	60
5.3.13. Efecto de los activadores biológicos locales sobre el nitrógeno total de los tratamientos de compost.....	62
5.3.14. Efecto de los activadores biológicos locales sobre la relación carbono/nitrógeno de los tratamientos de compost	64
5.4. Características de los activadores biológicos locales de yungas	67
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
6.1. Conclusiones.....	69
6.2. RECOMENDACIONES	72
7. BIBLIOGRAFIA	72
ANEXO 1: DIMENSIONES Y CROQUIS DEL ÁREA EXPERIMENTAL	78
ANEXO 2:.....	79
INFORME DE ENSAYO EN EXTRACTOS DE FRUTAS	79
ANEXO 3:.....	80
INFORME DE ENSAYO EN	80
COMPOST MO	80
ANEXO 4: REPORTE FOTOGRAFICO	81
MACERADO	83
ANEXO 5: ANALISIS ANVA	88
ANEXO 6: COSTO DE PRODUCCION	89

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Vegetación predominante de la Región de Los Yungas del departamento de La Paz.....	24
Cuadro 2: Detalles de los tratamientos de compost	29
Cuadro 3: Beneficio bruto	32
Cuadro 4: Costos variables elaboración.....	33
Cuadro 5: Costos de producción compost	34
Cuadro 6: Datos del clima de Caranavi (2008-2016).....	36
Cuadro 7: Comportamiento de la temperatura del compost	37
Cuadro 8: Análisis de varianza para la densidad aparente (g/cm^3) de los Tratamientos de Compost.....	39
Cuadro 9: Prueba de Duncan (5%) para la densidad aparente (g/cm^3) de los tratamientos de compost.....	40
Cuadro 10: Análisis de varianza para la Densidad Real (g/cm^3) de los Tratamientos de Compost.....	42
Cuadro 11: Prueba de Duncan (5%) para la densidad real (gr/c^3) de los tratamientos de compost.....	43
Cuadro 12: Análisis de varianza para la porosidad de los tratamientos de compost	45
Cuadro 13: Prueba de Duncan para la porosidad de los tratamientos de compost	46
Cuadro 14: Análisis de varianza para humedad gravimétrica (%) de los tratamientos de compost.....	47
Cuadro 15: Diferencias entre promedios humedad gravimétrica por tratamientos de compost.....	48
Cuadro 16: Análisis de varianza para humedad volumétrica (%) de los tratamientos de compost.....	49

Cuadro 17: Diferencias entre promedios humedad volumétrica por tratamientos de compost.....	50
Cuadro 18: Efectos de activadores locales sobre el color de los tratamientos de compost	52
Cuadro 19: Efectos de activadores locales sobre las propiedades organolepticas de los tratamientos de compost	54
Cuadro 20: Análisis de varianza para el pH de los Tratamientos de Compost	55
Cuadro 21: Prueba de Duncan (5%) para pH de los tratamientos de compost.....	56
Cuadro 22: Análisis de varianza para conductividad eléctrica (mmhos/cm) de los tratamientos de compost	57
Cuadro 23: Prueba de Duncan (5%) para conductividad eléctrica de los tratamientos de compost.....	58
Cuadro 24: Análisis de varianza para materia orgánica de los tratamientos de compost .	59
Cuadro 25: Diferencias entre promedios materia orgánica por tratamientos de compost .	60
Cuadro 26: Análisis de varianza para carbón orgánico (%) de los tratamientos de compost	61
Cuadro 27: Diferencias entre promedios carbón orgánico por tratamientos de compost ..	62
Cuadro 28: Análisis de varianza para nitrógeno total (%) de los tratamientos de compost	63
Cuadro 29: Diferencias entre promedios nitrógeno total por tratamientos de compos.....	64
Cuadro 30: Análisis de varianza para relación c/n de los tratamientos de compost.....	65
Cuadro 31: Diferencias entre promedios %nitrógeno total por tratamientos de compost..	66
Cuadro 32: Análisis químico de los activadores biológicos locales	68

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Comunidad Santa Ana, del Municipio Caranavi de la Región de los Yungas de La Paz, como objetivos se plantearon Evaluar el comportamiento térmico, y la dinámica de duración de los tratamientos de compost, elaborados con activadores biológicos locales, fermentos de plátano, naranja, y mango en los yungas de La Paz. Evaluar el efecto de los activadores biológicos locales fermentos de plátano, naranja, y mango sobre las propiedades físicas del compost, elaborado en las condiciones agrológicas de los yungas de La Paz. Evaluar el efecto de los activadores biológicos locales fermentos de plátano, naranja, y mango sobre las propiedades químicas del compost, elaborado en las condiciones agrológicas de los yungas de La Paz.

Como resultados se verificó la influencia de los fermentos locales sobre la temperatura y duración de la Compostación, con una mayor temperatura en el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con 44,4°C, y la menor temperatura en el tratamiento T3 (compost con activador fermento mango) con una temperatura 40,4°C; observándose solo ligeras diferencias, y la duración de la compostación fue uniforme para todos los casos. En la densidad aparente se observó que el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con una Dap 0,62 gr/cc y el tratamiento T4 (compost testigo) con Dap 0,56 gr/cc, están dentro de los rangos esperados; en la densidad real la tendencia fue similar. Sobre la porosidad el tratamiento T1 (compost testigo) presenta el mayor valor de porosidad con 68,76%, posiblemente por presentar mayor cantidad de macroporos, el menor valor lo presentó el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con una porosidad de 66,65%, las diferencias fueron mínimas. Sobre el Contenido de Humedad gravimétrica y volumétrica, el mayor %Humedad gravimétrica se presentó en el Tratamiento T3 (compost con fermento mango) con 68,76%, y el menor valor lo presentó el Tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con 66,55% Humedad gravimétrica, se observó diferencias mínimas entre tratamientos; el % de humedad volumétrica, siguió la misma tendencia. Sobre los efectos en el color y el aspecto se tiene que los compost maduros y de buena calidad fueron los Tratamientos T3 (Compost con fermento de mango), y el Tratamiento T2 (compost con fermento de plátano); y los compost en proceso de maduración y de

moderada a baja calidad fueron los Tratamientos T1 (compost con fermento de naranja) y el Tratamiento T4 (compost testigo).

Sobre el efecto en el pH y la conductividad eléctrica se observaron diferencias significativas entre tratamientos, y de acuerdo a Duncan el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con pH: 7,33 superó a los otros tratamientos; En la Conductividad Eléctrica, el tratamiento T3 (compost con fermento mango) superó estadísticamente a los otros tratamientos presentando una CE: 2,29 mmhos/cm.

Sobre el efecto en el Contenido de Materia Orgánica (%), no se presentaron diferencias estadísticas, pero si diferencias numéricas, observándose que el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) presenta el mayor valor de MO: 56%, y el menor valor lo presentó el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con %MO: 47,33%. Estos valores variables se deberían al efecto de los fermentos locales. El contenido de carbono siguió la misma tendencia.

Sobre el efecto en en el contenido del Nitrógeno, solo se presentaron diferencias numéricas, el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) y tratamiento T1 (compost con fermento naranja) presentaron los mayores valores con 2,47%N, seguido por el tratamiento T4 (compost testigo) con 2,33%N, finalmente se ubicó el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con 1,97%N.

Sobre el efecto en la Relación Carbono/Nitrógeno, sólo se presentaron diferencias numéricas, tratamiento T1 (compost con fermento naranja) presentó el menor valor de relación C/N: 12,34, luego se ubicó el tratamiento T4 (compost testigo) que presentó una relación C/N: 12,45; seguido por el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con relación C/N: 13,49%, finalmente se ubicó el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con una relación C/N: 14,35%.

1. INTRODUCCION

La obtención de alimentos sanos, de calidad, producidos orgánicamente e inocuos, depende de una producción agrícola sana, ecológica y sostenible, que solamente puede ser posible utilizando abono orgánicos; la elaboración y disponibilidad de abonos orgánicos, está relacionada con la compostación y transformación microbial de las deyecciones de los animales bovinos, ovinos, porcinos, aves y murciélagos, junto a restos vegetales, lo que ayuda a evitar la incorporación del estiércol directamente al suelo sin ningún tratamiento, porque es nociva para los cultivos y para el suelo por los agentes patógenos que contiene, además no aporta directamente nutrientes, siendo necesario su descomposición.

En los últimos años, el proceso productivo comercial de los cultivos agrícolas, está incrementando excesivamente el uso de los fertilizantes químicos y agrotóxicos, porque se piensa que tienen alto contenido de nutrientes disponibles y se controla las plagas de los cultivos, sin embargo, estos productos químicos y los agrotóxicos afectan a los microorganismos del suelo y destruyen las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo.

En este contexto, con la presente investigación se pretende coadyuvar en la búsqueda de alternativas de solución para mejorar, conservar y recuperar los suelos degradados de la región de los Yungas de Bolivia y a la vez incentivar la producción agrícola aplicando los principios orgánicos y agroecológicos.

La presente investigación tiene el propósito de evaluar el efecto de diferentes activadores en la descomposición y dinámica del compostaje, y se busca comprobar cuál de los activadores biológicos elaborados con insumos locales, fermentos de naranja, plátano y mango, tienen un mayor y mejor efecto en la aceleración o precocidad de la compostación, y en su calidad como abono orgánico.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades del compost, elaborado en base al uso de activadores biológicos locales en Santa Ana de Caranavi de los Yungas de La Paz.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento térmico, y la dinámica de duración de los tratamientos de compost, elaborados con activadores biológicos locales, fermentos de plátano, naranja, y mango en Santa Ana de Caranavi de los Yungas de La Paz.
- Evaluar el efecto de los activadores biológicos locales fermentos de plátano, naranja, y mango sobre las propiedades físicas del compost, elaborado en las condiciones agrológicas en Santa Ana de Caranavi de los Yungas de La Paz.
- Evaluar el efecto de los activadores biológicos locales fermentos de plátano, naranja, y mango sobre las propiedades químicas del compost, elaborado en las condiciones agrológicas en Santa Ana de Caranavi de los Yungas de La Paz.
- Evaluar el efecto de los activadores biológicos locales fermentos de plátano, naranja, y mango sobre las propiedades biológicas del compost, elaborado en las condiciones agrológicas en Santa Ana de Caranavi de los Yungas de La Paz.
- Realizar un análisis económico de la elaboración de los tratamientos de compost

2.3. Hipótesis

- No existen diferencias del efecto de los activadores biológicos locales, sobre la temperatura y sobre el tiempo de duración de los tratamientos de compost
- No existen diferencias del efecto de los activadores biológicos locales, sobre las características físicas de los tratamientos de compost
- No existen diferencias del efecto de los activadores biológicos locales, sobre las características químicas de los tratamientos de compost.
- No existen diferencias del efecto de los activadores biológicos locales, sobre las características biológicas de los tratamientos de compost.
- No existen diferencias económicas entre los tratamientos de compost, elaborados con activadores biológicos locales.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. El compost como abono orgánico pre- humificado

Chilon (1997, 2011 y 2013), señala que el compost es un abono orgánico pre-humificado, que resulta de la descomposición y transformación biológica aeróbica de residuos orgánicos de origen vegetal (restos y rastrojos de cosechas y malezas) y origen animal (estiércol fresco y/o almacenado), bajo condiciones controladas y de manejo apropiado, sobre todo en humedad adecuada y volteos frecuentes para facilitar el trabajo de las bacterias aeróbicas y los actinomicetos en la descomposición. El producto final es un compost rico en nutrientes, asimilables en forma paulatina por las plantas, lo que garantiza buenas cosechas, además alimentar continuamente la vida del suelo.

El mismo autor, menciona que el compostaje no es una técnica nueva de elaboración de abonos orgánicos, se practica en muchos lugares del mundo, pero en el caso de la zona alto andina de Bolivia se presentan cuestiones que no están definitivamente resueltas que tienen que ver con el excesivo tiempo de obtención del compost y con su calidad, y los aportes que contribuyen a la solución están relacionados con un método adecuado de compostación, con la introducción de activadores biológicos locales del proceso y la identificación de los microorganismos responsables de la compostación.

Por su parte López (1994), indica que la palabra compost proviene del latín *Compositus*= compuesto, señalando que es un abono de gran calidad obtenido a partir de la descomposición de residuos orgánicos que se utiliza para fertilizar y acondicionar los suelos a fin de mejorar su calidad. Al mezclarse con la tierra vivifica y favorece el desarrollo de las características óptimas para el cultivo. En la fabricación del compost-llamado "compostaje"- los residuos se mezclan con cal y tierra a la vez se colocan en capas, requiriéndose una buena ventilación, un removido frecuente y un grado de humedad suficiente. Diversas técnicas como por ejemplo la adición de estiércol líquido, pueden potenciar la actuación de los microorganismos y el enriquecimiento del compost con nutrientes.

3.2. El proceso de Compostación o compostaje

El investigador Hill (1998), citado por Barradas (2009), indica que el proceso de compostaje consiste en la degradación de la materia orgánica mediante su oxidación y la acción de diversos microorganismos presentes en los propios residuos. Así mismo de la

oxidación de materia orgánica mediante distintas bacterias se obtiene aparte de compost, células nuevas, CO₂, H₂O, NH₃, SO₄ y calor. Durante la descomposición ocurre un consumo de materia orgánica, fundamentalmente glúcidos, desprendiéndose CO₂ y calor, por lo que la temperatura de la masa se eleva. Paralelamente los microorganismos sintetizan productos orgánicos más complejos, produciéndose al final, materiales húmicos, esencialmente estables y de difícil o muy lenta descomposición.

Robles (2005), señala que la temperatura es el parámetro que mejor indica el desarrollo del proceso de compostaje. Por lo que debe mantenerse entre 35 a 65 °C, ya que cada grupo de microorganismos tiene una temperatura óptima para realizar su actividad: criófilos de 5 a 15 °C, mesófilos de 15 a 45 °C y termófilos de 45 a 70 °C. En la primera etapa aparecen bacterias y hongos mesófilos con predominio de las primeras. Cuando la temperatura llega a 40 °C, aparecen bacterias, actinomicetos y hongos termófilos. Por encima de los 70 °C, cesa la actividad microbiana. Al bajar de nuevo la temperatura, se reactivan los protozoos, miriópodos, etc.

Álvarez (2007), señala que el proceso de compostaje está relacionado con la descomposición biológica y estabilización de la materia orgánica, bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termofílicas como consecuencia de una producción biológica de calor, que da un producto final estable, libre de patógenos y semillas de malas hierbas y que aplicado al terreno produce un beneficio.

Leal (1990), indica que durante el calentamiento inicial de la composta se encuentran presentes hongos saprobios mesófilicos, que son sustituidos por hongos y bacterias termofílicas al aumentar la temperatura entre 40 a 60°C, ambos tipos de microorganismos son capaces de degradar la celulosa y hemicelulosa. El mismo autor indica, que en un principio se encuentran presentes un gran número de bacterias mesófilicas, que se multiplican en aumento de temperatura de la pila del compost. Las bacterias mesófilicas consumen al inicio de la fermentación los carbohidratos más fácilmente degradables y producen el aumento inicial de la temperatura.

Por su parte Roben (2002), señala que el compostaje es una tecnología sencilla y económica para aprovechar toda clase de basura biodegradable: desechos de jardín o cocina, papeles, estiércoles animales, serraduras etc. Con ayuda de microorganismos y/o

de lombrices se produce tierra humus de los desechos orgánicos. Se puede aplicar tanto a gran escala (a nivel municipal o empresarial) como individualmente (en el jardín, en la finca). Para instalar una planta de compostaje no se necesita una gran inversión ni una formación técnica.

3.3. El método y técnica del compostaje andino

El método y técnica del Compost andino, corresponde a una técnica de elaboración de compost, en ambientes variados de los Andes, desde la región altoandina en altitudes cercanas a los 4.000 metros sobre nivel del mar, hasta la región de los valles y yungas, con la utilización de materiales locales rastrojos de cosecha, paja de cereales, estiércol de bovinos, ovinos y camélidos, ceniza de fogón, con el manejo adecuado de la humedad, aireación y la aplicación de activadores biológicos locales, que para el caso del altiplano y valles altoandinos puede ser fermentos de quinua y tarwi, yogurt, levadura y agua, con la obtención del compost final en un período de tiempo de 1,5 a 2 meses. Este método y técnica del compostaje andino ha sido validado durante varios años, en el marco del programa de investigación “Compostaje Alto andino, seguridad Alimentaria y Cambio Climático” que lleva varios años de desarrollo. (Chilon, 2011, 2013 y 2015).

3.3.1. Insumos Orgánicos y Naturales Requeridos para la Compostación

3.3.1.1. Residuos orgánicos.

Todos los residuos orgánicos que tienen su origen en los seres vivos, tanto animales como vegetales, pueden ser transformados en compost. (Altamirano y Cabrera, 2006). Los residuos orgánicos biodegradables que se descomponen naturalmente, son aquellos que tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica, por ejemplo, los restos de comida, frutas y verduras, cáscaras, carne, huevos y estiércol. (Jaramillo y Zapata, 2008 y Sepúlveda, 2010)

Sztern y Pravia (1999), mencionan que los residuos orgánicos son aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales, incluyendo una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos. A su vez Tobón et al. (2004), indica que la basura de desechos de plantas y animales, se caracteriza porque generalmente se descompone

con relativa facilidad en el medio ambiente, tal es el caso de papel, cartón, huesos, aceites animales, restos de comida y vegetales, excrementos de animales y seres humanos, cuero, etc.

3.3.1.2. El estiércol

El estiércol es un abono orgánico fundamental originado por las deyecciones de los animales, que en el caso de las granjas se forma una mezcla de deyecciones animales con paja de cereales, que cumple la función de cama. La celulosa es un componente de la cama, junto con la lignina, ceras, grasas, etc., que son sustancias complejas de descomposición lenta que liberan de forma paulatina los elementos minerales que contienen, caso del fósforo; las heces están constituidas por sustancias proteicas complejas y por restos de comida no digeridas. La composición del estiércol depende de los animales, de la proporción entre paja y deyecciones, de la alimentación de los animales. El estiércol no debe añadirse al terreno en estado fresco; por una parte, porque es muy heterogéneo, y por otra, porque las deyecciones concentradas queman los vegetales. (Castellano, 1996).

El mismo autor Castellanos, señala que, si se hace descomponer el estiércol, o materiales orgánicos de distinta naturaleza, junto con una cantidad de tierra, sometiéndolo a una serie de manipulaciones, se obtiene compost, llamado por algunos autores, mantillo. Este material tiene las mismas características del humus, incluso incrementadas.

El guano de murciélagos es hoy uno de los fertilizantes naturales más populares. Ningún otro abono posee sus casi mágicas propiedades, ya que contiene todos los elementos esenciales para el desarrollo de plantas sanas y bellas.

El guano de los murciélagos insectívoros tiende a ser muy rico en nitrógeno, por lo que promueve un fuerte desarrollo en las plantas que lo reciben. El guano producido por murciélagos frugívoros es más rico en fósforo. Además, ambos tienen elementos traza y microorganismos beneficiosos, entre ellos algunos, llamados biorremediadores, que limpian toxinas por lo que son especiales para tratar suelos que están en transición de prácticas químicas a orgánicas. También poseen propiedades fungicidas y nematocidas.

El guano de los murciélagos puede ser utilizado con seguridad tanto al aire libre como en interiores. Es beneficioso para todos los vegetales: hierbas, ornamentales, flores, árboles

frutales, etc. En los últimos años, el uso de "té" de guano de murciélagos está siendo usado exitosamente en cultivos hidropónicos, como una alternativa a los nutrientes químicos.

3.3.1.3. Ceniza

Rodale citado por Cordero (2005), indica que la ceniza de madera, es un residuo natural que contiene potasio K_2O , 2% de óxido de fósforo P_2O_5 y 30 % de óxido de calcio, así mismo contiene cantidades pequeñas de magnesio y elementos menores, pero no tiene nitrógeno, debido a la volatilización en el momento de la combustión.

Varios autores, señalan la utilidad de la ceniza en el ámbito de la agricultura ecológica, para diferentes fines por sus distintas funciones, por ejemplo, como abono natural sustituyendo a los fertilizantes químicos en los cultivos; este abono natural tiene un contenido elevado de potasio, calcio, fósforo, magnesio y elementos menores, en este orden de importancia, siendo disponibles y asimilables de manera inmediata para los cultivos (García *et al* 2001 citado por Cordero, 2005).

Chilon (2013), da a conocer que la ceniza es un componente importante en la elaboración y obtención del compost altoandino, y aplicado en pequeñas cantidades regula el pH durante el proceso de la compostación, así como enriquecer al abono compost en potasio, fósforo, calcio y magnesio. Señala que la aplicación de compost maduro en mezcla con ceniza y harina de rocas mejora las propiedades del suelo e incrementa sustancialmente el rendimiento de los cultivos.

3.3.1.4. Los activadores biológicos

El rol de los activadores biológicos es importante y fundamental en el proceso de descomposición, porque "activan" a los microorganismos locales, acelerándose el proceso de la compostación (Chilon, 2010).

Los efectos de "activación" de los activadores biológicos, sobre los microorganismos locales, con una aceleración de la descomposición, comprobándose que a mayor contenido de proteína de la fuente del activador - caso de la chicha de quinua y chicha de tarwi - mayor es su efectividad en la aceleración de la compostación.

Los activadores son los productos químicos u orgánicos que suministran una fuente de nutrición para acelerar la reproducción de microorganismos y por consiguiente la

descomposición de la materia orgánica, y así elevar la temperatura de la pila del compost (FAO, 1991).

Chilon (2011), señala que los Activadores biológicos locales (ABL) son Sustancias orgánicas obtenidas de la fermentación o chicha de quinua, tarwi y otros cultivos andinos con un contenido proteico significativo, que aportan microorganismos para el proceso de compostaje, activando a los microorganismos presentes en el material inicial, responsables del proceso de descomposición. El mismo autor, indica que Activadores biológicos convencionales (ABC) son sustancias orgánicas resultantes del procesamiento de la leche caso yogur, suero de leche y también del aislamiento de microorganismos de levadura, que coadyuvan al proceso de compostaje. Descartando totalmente los productos químicos.

3.3.2. Activadores Biológicos del Compost en Altiplano y Valles

Chilon (2011 y 2013), señala como activadores biológicos de la compostación en el Altiplano boliviano, se ensayaron más de 19 fermentos, estableciéndose que los que tienen un excelente efecto en la aceleración de la compostación, son los fermentos de quinua, tarwi y cañahua, disminuyéndose el tiempo de compostación de 7 a 2 meses; en menor medida los derivados de la leche principalmente el yogurt y el suero de leche, así como la levadura y otros activadores, presentaban un moderado efecto en la activación biológica del compost, disminuyéndose paulatinamente el tiempo de obtención del abono orgánico de 7 a 3,5 meses.

3.3.3. Activadores Biológicos del Compost en Yungas

En la lógica de utilizar activadores biológicos locales, para la elaboración de compost, para la región de los Yungas es recomendable experimentar con fermentos en base a los productos de la zona, tales como cítricos, plátano, mango, yuca, maíz tropical y otros.

El zumo de naranja fresco tiene un sabor frutal y ácido. Contiene gran cantidad de vitamina C (ácido ascórbico). La calidad del zumo de naranja se ve influenciada principalmente por factores microbiológicos, enzimáticos, químicos y físicos, que suelen ser los que comprometen las características organolépticas (aroma, sabor, color, consistencia, estabilidad y turbidez, separación de las fases sólidas/líquidas) así como las características nutricionales (vitaminas).

El zumo de naranja se considera un alimento ácido (de pH bajo-3) y es por eso que el tratamiento térmico difiere de la leche. No obstante existen algunos hongos que pueden sobrevivir a pH bajos como el *Byssochlamys* y que pueden deteriorar el sabor final del producto, entre los factores químicos se encuentra la naturaleza oxidativa del zumo de naranja (similar a la de los demás cítricos) debida a la vitamina C que obliga a envasar en unos tiempo limitados y no verse afectado el sabor.

El plátano es una fruta deliciosa, nutritiva y muy saciante, un plátano de unos 100 gramos contiene aproximadamente 100 calorías, 1 gramo de proteína, 25 gramos de hidratos de carbono y menos de un gramo de grasa también contiene 3 gramos de fibra.

El plátano es rico en vitamina B6 y C, ácido fólico y minerales como el magnesio y potasio.

Los plátanos o bananas son muy ricos en hidratos de carbono, por lo cual constituyen una de las mejores maneras de nutrir de energía vegetal nuestro organismo.

Su riqueza en azúcar es compensada por su casi nulo contenido en grasa y por la presencia de fibra, que ayuda a regular la absorción de los azúcares, además el potasio es un mineral que interviene en la regulación de los líquidos buen estado de los nervios, el corazón y de los músculos.

La composición del mango es diferente según la variedad pero todos ellos tienen en común su elevado contenido de agua.

Contiene una cantidad importante de hidratos de carbono por lo tanto su valor calórico es elevado. Es rico en magnesio y en vitamina C también cuenta con una acción depurativa gracias a la presencia de enzimas proteolíticas que ayudan a la digestión de las proteínas y es una excelente fuente de betacaroteno su principal componente es el agua y es muy rico en minerales magnesio y potasio.

3.3.4. Factores que Influyen sobre el Proceso de la Compostación

La descomposición durante la compostación está determinada por las características ecológicas del lugar; clima, temperatura, humedad, así como de los insumos vegetales de la zona donde se fabricará el compost. En el caso de zonas húmedas sub-tropicales, se recomienda la modalidad de compostaje alto relieve, esto para evitar los excesos de

humedad y facilitar los volteos. En el caso de zonas semiáridas, se recomienda la modalidad de compostaje bajo relieve o en pozas, esto para disminuir la pérdida de humedad por evapotranspiración, llenando en sentido vertical solo la mitad de la poza, para facilitar los volteos. (Chilon, 2008).

Fuentes (2000), menciona que son muchos y muy complejos los factores que intervienen en cualquier proceso biológico. Todas estas variables están a su vez influenciadas por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar, la técnica de compostaje y la manera en que se desarrolla la descomposición.

Las condiciones y factores que influyen en la compostación son las siguientes.

- a) **Tamaño de las partículas.** Muñoz (2005), indica que los microorganismos actúan degradando las partículas desde la superficie de las mismas. Si se incorpora el material más o menos triturado, afectará al proceso de compostación. Al estar más triturado, será mayor la superficie de contacto con el medio y las bacterias actuarán mejor. Pero el tamaño de las partículas no debe ser excesivamente pequeño, ya que afectaría a la porosidad de la pila, produciendo situaciones anaerobias y el exceso de partículas pequeñas puede favorecer la putrefacción, lo que no es ideal para la producción de compost.
- b) **Humedad o riego.** Ahumada (2005), señala que los microorganismos necesitan agua. Teóricamente, los valores de humedad para que pueda darse una fermentación aeróbica están entre el 30 y el 70%, siempre que se asegure una buena aireación. En la práctica, se deben evitar valores altos, pues se desplazaría el aire de los espacios entre partículas del residuo, y el proceso pasaría a ser anaeróbico. Si por el contrario, la humedad es demasiado baja, disminuirá la actividad de los microorganismos. De la misma forma, los valores óptimos están entre el 40 y el 60%, dependiendo de la textura del material: para materiales fibrosos, la humedad máxima es del 75%, mientras que para residuos con materia vegetal fresca esta entre el 50 y el 60%. Para conseguir la humedad adecuada, se pueden mezclar distintos tipos de residuos y triturar los materiales. La humedad adecuada es esencial para la actividad microbiológica.

Amoda et al., (1998), citado por Miller (2004), indican que el contenido de humedad de un compost es un factor crítico para conseguir un óptimo compostaje, los valores óptimos de humedad para una amplia gama de residuos orgánicos en una escala de 25 y 80%. Sin embargo, el contenido de humedad entre el 50 y 60%, son los más adecuados. Incluso contenidos del 45% o menos, pueden ser limitantes, por otra parte, un contenido de humedad excesivo en un compost, impide la difusión del oxígeno a los organismos y como consecuencia, ocurre un estado anaerobio del material con la posibilidad de emisión de malos olores.

Cisterna (2004), citado por Mollinedo (2009), señala que se necesita una humedad entre 40 – 60 % (contenido de agua del material) para asegurar una biodegradación óptima. Si es demasiado seco el material, se para el proceso de biodegradación; si es demasiado húmedo, se transforma el proceso en putrefacción anaeróbica incontrolada. Por su parte Callizaya (1981), citado por Paty (2004), indica que el agua es un insumo necesario en la elaboración del compost. El riego de la pila de compost, debe realizarse de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona experimental siendo en general cada 3 o 5 días; la modalidad de elaboración del compost en alto relieve o bajo relieve, también influye en los requerimientos de agua, lo importante es mantener la compostera en capacidad de campo durante todo el proceso de humificación.

c) Volteo. Cabrera (2001), da a conocer que, al inicio del proceso de compostaje, el cuerpo de desechos tiene poros de varias dimensiones que son dispersadas de forma heterogénea. El aire (venido de aireación natural o artificial) pasa por las aperturas más grandes. Por consecuencia, pueden ocurrir condiciones anaeróbicas en lugares con alta densidad y poros pequeños. La biodegradación anaeróbica no es deseable en una planta de compostaje, por causa de olores fuertes y de impedimento del proceso de biodegradación aeróbico. Se necesita mezclar revoltear y mover los desechos frecuentemente y con regularidad para evitar la putrefacción anaeróbica.

El volteo es una técnica utilizada en el proceso de compostaje, basado en el volteo frecuente del material en proceso, lo que permite lograr la aireación necesaria, asimismo una mezcla entre el material exterior con el que se encuentra al interior de la pila (Comisión Nacional de Medio Ambiente de Chile, 2000).

- d) Aireación.** Alfonso (2010), señala que el compostaje es un proceso aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y la presencia o ausencia de aireación forzada.

Fuentes (2000), por su parte añade que el oxígeno es necesario para que los microorganismos puedan descomponer eficazmente la materia orgánica. Debe ser suficiente para mantener la actividad microbiana sin que en ningún momento aparezcan condiciones anaerobias, que, además de entorpecer el proceso, dan lugar a la aparición de malos olores y a un producto de inferior calidad. La aireación tiene el doble objetivo de aportar el oxígeno y permitir la evacuación del CO₂ producido. La aireación debe mantenerse en unos niveles adecuados, teniendo en cuenta que las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso.

La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y la presencia o ausencia de aireación forzada (Stamets 1983), citada por (Mollinedo 2009). También Santibáñez (2002), señala que la aireación es necesaria para proporcionar oxígeno suficiente a los microorganismos aeróbicos, y así estos puedan estabilizar los residuos orgánicos.

La fermentación del compost es principalmente aeróbica, por lo que en un montón demasiado apelmazado y mal aireado se desarrollan compuestos (alcohol, ácidos orgánicos, etc.), que inhiben la actividad de los microorganismos. La composición de los montones tiene una gran importancia al respecto: un exceso de materiales finos favorece una evolución hacia la pudrición. Los materiales demasiado gruesos, se descomponen muy lentamente (Silguy,1994, citado por Villegas ,2002).

- e) Temperatura.** Cisterna (2004), citado por Mollinedo (2009), indica que la temperatura es el parámetro que mejor indica el desarrollo del proceso. El proceso de compostaje manifiesta cuatro etapas: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración. Cada grupo de microorganismo, tiene una temperatura óptima para realizar su actividad: criófila de 5 a 15°C; mesófila de 15 a 45°C; termófila de 45 a 70°C; enfriamiento de 70 a 40°C y la maduración a temperatura ambiente. El grupo favorecido descompondrá la materia orgánica utilizándola para obtener energía y

materiales para reproducirse, y en la operación se emitirá calor. Este calor puede hacer variar la temperatura de la pila de residuos. Debe mantenerse entre 35° y 60°C para eliminar elementos patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas.

- f) **Reacción o pH.** Ahumado (2005), señala que el pH influye en el proceso debido a su acción sobre los microorganismos; en general, los hongos toleran un pH entre 5 a 8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia a la acidez, con un pH óptimo de 6 a 7,5. El pH varía a lo largo del proceso, en la primera fase “mesófila”, puede bajar por la formación de ácidos, para volver a aumentar posteriormente, finalmente el pH disminuye en la fase final o de maduración.

Larco (2004), citado por Kalil (2007), sostiene que la acidez-alcalinidad (pH) en la etapa mesófila, suele sufrir un descenso ya que se descomponen la mayoría de los carbohidratos, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos. Se presenta una correlación positiva entre estas dos variables (temperatura y pH): a medida que aumenta la temperatura asciende el pH hasta hacerse alcalino (8 a 9), esto se explica por la descomposición de proteínas y formación de amoníaco.

Según Sztern y Pravia (1999), el rango de pH tolerado por las bacterias en general es relativamente amplio, existen grupos fisiológicos adaptados a valores extremos. No obstante pH cercano al neutro (pH 6,5 a 7,5), ligeramente ácido o ligeramente alcalino asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores de pH inferiores a 5,5 (ácidos), inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores superiores a 8,4 (alcalinos) también son agentes inhibidores del crecimiento, haciendo precipitar nutrientes esenciales del medio, de forma que no son asequibles para los microorganismos.

Chilon (2010), señala que la metodología del compostaje altoandino, contempla la regulación del pH, sobre todo de la acidez que ocurre en la primera etapa, con la aplicación de ceniza de fogón en cantidad y frecuencia controlada técnicamente, acompañada de la aireación y el manejo de la humedad en capacidad de campo.

- g) Relación Carbono/Nitrógeno.** Navarro (2003), indica que los microbios usan el carbono para su oxidación metabólica, una parte lo convierte en bióxido de carbono y otra lo combina con nitrógeno para el desarrollo de sus células. Cuando el carbono está en la lignina o la celulosa cuesta biodegradarlo y hay que reciclarlo varias veces en una pila de compost. Cuando el carbono se quema, se eleva la temperatura de la pila, a eso se debe que se reduzca el volumen de la pila durante el compostaje, de la misma forma el nitrógeno es necesario para el crecimiento de las células, cuando hay exceso del mismo se libera como amoníaco y cuando hay escasez se retarda el compostaje.

Para obtener un compost de buena calidad, se debe procurar un equilibrio entre los materiales que se utilizan, es decir entre aquellos ricos en carbono y ricos en nitrógeno. Se considera que la mezcla ideal para la fabricación de compost debe tener entre 25 y 30 veces más material rico en carbono que en nitrógeno, es decir una relación Carbono/Nitrógeno de 30:1 (Koni 2007, citado por Mollinedo, 2009).

3.3.5. Trabajos de Investigación en Compost

Velásquez (1997), realizó un trabajo de investigación en Caranavi - La Paz elaborando diferentes tipos de compost utilizando pulpa de café como principal fuente de nutrientes; de los cuatro tratamientos ensayados la modalidad de pulpa de café, restos de planta, gallinácea y ceniza, presento mejores ventajas comparativas en relación a los otros tratamientos, con una mayor población de microorganismos, y mayor capacidad de almacenamiento de agua, el tiempo de descomposición, para el caso de la modalidad de compost elaborado con mezcla de pulpa de café y frutos de papaya, duro 26 semanas, presentando alto contenido de humedad, vitaminas, aminoácidos, azúcares, minerales y otros componentes que influyeron en el tiempo de descomposición. Respecto a las temperaturas en el proceso de compostaje, observo valores promedio de 49,6°C en el momento inicial y de 28,5°C durante el periodo de descomposición, reportando que estas temperaturas fueron afectadas por las temperaturas medio ambientales.

Villegas (2002), por su parte realizó un trabajo de investigación de elaboración de compost con el aprovechamiento de residuos orgánicos y la aplicación de un acelerador orgánico, obteniendo que el tratamiento con una proporción de 48,66% de residuos orgánicos de la feria de villa dolores, 48,66% de residuos orgánicos de tambos, 1,66% de

cenizas y 1% de humus de lombriz, es la mezcla adecuada para el compostaje, lográndose el producto final a los 150 días; como acelerador orgánico se utilizó humus de lombriz (Toro 2014).

Chilon (2011, 2013 y 2015), reporta que el estudio del compost altoandino en el Altiplano boliviano, forma parte de la investigación “Compostaje Alto andino, seguridad Alimentaria y Cambio Climático” que lleva varios años de desarrollo; la primera experiencia de compostaje altoandino, se realizó el año 1999 en Comunidades del Municipio de Tiahuanaco, con el método clásico indore, requiriéndose más de 11 meses para el compostaje; si bien este compost se probó con buenos resultados en la producción de cultivos, el reto y exigencia de las familias campesinas, por factores optimización de tiempo y economía familiar, fue disminuir el tiempo de compostación sin afectar la calidad del abono final. Para responder a esta demanda comunal se llevó a cabo la investigación del efecto de los activadores biológicos locales en la dinámica del compostaje, obteniéndose que los fermentos de quinua y tarwi, el yogurt y el suero, así como la levadura y en menor medida otros activadores de productos locales, presentaban un excelente efecto en la activación biológica del compost, disminuyendo el tiempo de compostación de 7 a 2 meses. Con estos resultados se comenzó el trabajo de transferencia de la metodología a las Comunidades; esta actividad se intensificó los años 2005 a 2008. En el período 2009-2013 se evaluó el comportamiento térmico del compostaje, en condiciones controladas, verificándose que el rol de los microorganismos locales es fundamental en la compostación altoandina.

3.3.6. Factores que Influyen en la Actividad de los Microorganismos del Compost

Alfonso (2010), señala que el compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos.

Miller (2004), indica que el primer nivel de consumidores en un compost, son los microorganismos como bacterias, actinomicetos y hongos, que son las especies que verdaderamente descomponen, al alimentarse y digerir los residuos orgánicos antes de que ellas mismas sean consumidas por el segundo nivel de organismos, como los protozoos. El tercer nivel de consumidores, es decir, los ciempiés y los escarabajos,

apresan al segundo nivel de consumidores y a ellos mismos. Constituye un sistema eficiente formado por los diferentes niveles de la microflora, esencial para el funcionamiento del proceso de compostaje. La microflora domina la mayor parte de las instalaciones comerciales de compostaje. Por su parte Delgado (2008), indica que el compostaje es un proceso dinámico en el que se producen una serie de cambios físicos y químicos debido a la sucesión de complejas poblaciones microbianas.

Chilon (2015), señala que el compost altoandino está compuesto por una amplia variedad de microorganismos y sustancias biosintetizadas, en su mayor parte desconocidos pero que están presentes, tales como bacterias, hongos, actinomicetos, algas, protozoos y otros organismos que generan enzimas, vitaminas, hormonas, sustancias mucilaginosas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, fenoles y alcoholes que favorecen la formación de agregados del suelo y el crecimiento y desarrollo de cultivos alimenticios, y también una provisión paulatina de nutrientes disponibles para las plantas como nitrógeno, fósforo, potasio, y quelatos de Hierro, Cobre, Zinc, Molibdeno, boro y otros nutrientes. Un gramo de compost contiene más de 200 millones de microorganismos, responsables de los procesos de biotransformación y compostación de la materia orgánica.

Sztern y Pravia (1999), indican que la conversión del estado orgánico al estado inorgánico, es conocida como mineralización y se debe en gran parte a la descomposición de los restos vegetales y animales, así como de los productos orgánicos de la excreción de animales. Los principales agentes de la mineralización, son las bacterias no fotosintéticas y los hongos. Este grupo de microorganismos se denomina descomponedores, siendo principales bacterias

Rey (2007), citado por Montaña et al., (2010), indica que las bacterias son los organismos más pequeños, numerosos y los primeros en comenzar el trabajo, desempeñan el papel más destacado en la descomposición de la materia orgánica, ya que poseen una amplia gama de enzimas capaces de romper químicamente una gran variedad de compuestos orgánicos. Son organismos unicelulares con formas variadas, los cocos poseen forma de esfera, los bacilos de bastón y las espirillas y espiroquetas forma espiral.

3.3.7. Etapas del Compostaje

Según APROLAB (2007), las etapas de compostaje pueden dividirse en cuatro períodos, de acuerdo con la evolución de la temperatura:

- **Etapa Mesófila:** La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica, la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.
- **Etapa Termófila:** Cuando se alcanza una temperatura de 40°C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60°C estas bacterias termófilas desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.
- **Etapa de enfriamiento:** Cuando la temperatura es menor a 60°C, reaparecen los hongos termófilos que reinvasen el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40°C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.
- **Etapa de maduración:** Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus.

Por su parte Chilon (2010), da a conocer que el comportamiento térmico del Compost altoandino en el altiplano boliviano, durante el proceso de compostaje con el uso de activadores biológicos locales, presenta cuatro etapas o momentos de diferente duración y comportamiento térmico, con una **fase inicial** de corta duración de 8 a 10 días, con temperaturas que se incrementan rápidamente; una **fase térmica activa** con altos valores de temperatura de hasta 60°C, con una disminución gradual con una duración de 10 a 15 días; una **fase de maduración** de mayor duración en tiempo de 20 días, con una disminución gradual de la temperatura hasta 25 a 20°C, y la **fase de culminación del compostaje**, manifestada por una temperatura estable de 10 a 15°C de 10 a 15 días de duración. El proceso de la compostación altoandina con un buen manejo y cuidados tiene una duración de 1,5 a 2,5 meses

3.3.8. Características y Propiedades físicas y químicas del Compost

Las características y propiedades del compost, varían de acuerdo al método de elaboración, material utilizado y factores ambientales del lugar donde se realiza la compostación.

3.3.8.1. Propiedades físicas del compost

Según Alfonso (2010), las propiedades físicas varían de acuerdo al material utilizado en el proceso de compostaje, en términos generales presenta una Densidad real de 1,86 g/cm³, densidad aparente: 0,56 g/cm³, Porosidad 69%, Capacidad de retención de agua de 98 g/100 g, y capacidad calorífica 0,13 kcal/kg.

El contenido de humedad puede fluctuar mucho, debido a diferencias del material componente, procesos y condiciones del almacenaje, conforme aumenta el contenido en humedad, disminuye la materia seca por unidad de peso. Los compost con menos de 35% de humedad, se pulverizan y son de manejo desagradable y mayor a 65% tampoco es agradable para el manejo.

La densidad aparente sobre una base de peso seco, es un indicador del tamaño de las partículas y del contenido en cenizas, generalmente, la densidad aparente aumenta con el tiempo de compostaje, así como el contenido en cenizas aumenta y el tamaño de las partículas disminuye por descomposición, volteo y tamizado. Raviv et al., (1987), citado por Velásquez (1997). Conforme aumenta la densidad aparente, las condiciones de drenaje y porosidad para el aire del medio disminuye, así como se incrementa la capacidad para el aire, el del medio disminuye, así como se incrementa la capacidad de retención del agua.

La determinación de la capacidad de retención de agua del compost, tiene una importancia relativa en la utilización en campo; el compost aplicado al suelo, incluso a dosis elevadas, pueden no incrementar la cantidad neta de agua que es realmente disponible para las plantas entre valores del potencial matricial del suelo de entre -0,2 y -0,8 bares. (Chang et al., 1983, citado por Delgado 2002). La capacidad de retención del agua, es la medida del agua retenida por una muestra de compost después de un drenaje libre durante 4 horas. La capacidad de retención queda muy afectada después de un libre drenaje por la altura del recipiente utilizado en su medición (Invar et al., 1993, citado por Kalil 2007).

3.3.8.2. Propiedades químicas del compost

Según Alfonso (2010), el compost presenta características químicas, que varían de acuerdo a la procedencia de los materiales. Contenido de Materia Orgánica: 35 a 40%, relación C/N: 12 a 14, Humedad: 40 a 45%, CIC: 167 meq/100gr, Nitrógeno: 2 a 2,6%, Fósforo: 1,5 a 2%, Potasio: 1,5%, Calcio: 2%, Magnesio: 1 a 1,3%.

La escala de valores de pH en la mayor parte de los compuestos acabados varía entre 6,0 y 8,0. El valor final del pH de un compost depende mucho de la materia prima, del proceso de fabricación y de la adición de cualquier enmienda. Una acidez o una alcalinidad excesivas pueden dañar a las raíces de las plantas, inhibir el desarrollo de las mismas, así como su crecimiento.

La salinidad se determina por medio de la conductividad, las sales solubles pueden ser determinadas por medio de los métodos de pasta saturada o volumétrica. La conductividad eléctrica nos proporciona información sobre las clases de sales presentes. Algunos cationes o aniones son nutrientes tales como Ca, Mg, Sulfatos. Los contenidos elevados de sal de un compost afectan a la germinación de las semillas y al estado sanitario de las raíces.

3.4. Activadores biológicos y aceleración del compostaje

FAO (1991), indica que los activadores son los productos químicos u orgánicos que suministran una fuente de nutrición para acelerar la reproducción de microorganismos y por consiguiente la descomposición de la materia orgánica, y así elevar la temperatura de la pila del compost.

Chilon (2011), señala que los Activadores biológicos locales (ABL) son Sustancias orgánicas obtenidas de la fermentación o chicha de quinua, tarwi y otros cultivos andinos con un contenido proteico significativo, que aportan microorganismos para el proceso de compostaje, activando a los microorganismos presentes en el material inicial, responsables del proceso de descomposición. El mismo autor, indica que Activadores biológicos convencionales (ABC) son sustancias orgánicas resultantes del procesamiento de la leche caso yogur, suero de leche y también del aislamiento de microorganismos de levadura, que coadyuvan al proceso de compostaje. Descartando totalmente los productos químicos.

3.5. Efectos de la aplicación del compost sobre las propiedades de los suelos agrícolas

3.5.1. Sobre las propiedades físicas del suelo

ASEAM (1999), señala que la influencia de la aplicación de compost como abono orgánico, sobre las propiedades físicas del suelo, está relacionada con su efecto benéfico sobre lo siguiente:

- Mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados y compactos y cohesionando los suelos sueltos y arenosos.
- Confiere un color oscuro al suelo debido a la materia orgánica, ayudando a la retención de energía calorífica, lo que provoca un aumento moderado de la temperatura del suelo, que influye favorablemente en los procesos biológicos.
- Aumenta la porosidad, facilitando el drenaje y también la aireación y respiración de las raíces.
- Aumenta la capacidad de retención de nutrientes del suelo, por lo que se aumenta la fertilidad de este.
- Aumenta la infiltración y permeabilidad, de los suelos de arcilla y aumenta la capacidad de retención de agua de suelos arenosos.
- Reduce la erosión del suelo, favoreciendo el crecimiento radicular y la capacidad de retención de la humedad, lo cual, junto a la formación de agregados con las arcillas, lo hace un buen agente preventivo de los problemas de desertización.
- Mejora el laboreo al dar más esponjosidad al terreno.

3.5.2. Sobre las propiedades químicas del suelo

Según Aubert (1998), citado por Mollinedo (2009), el efecto benéfico del compost sobre las propiedades químicas del suelo, se traduce en lo siguiente:

- Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y azufre.
- Estabiliza la reacción o pH del suelo, debido a su alto poder de tampón, como el pH del compost está cercano a 7, se puede utilizar sin contraindicaciones, ya que no quema

las plantas, en suelos ácidos, incrementa el pH, con lo que el compost puede utilizarse como enmienda.

- Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.
- Aumenta la capacidad de intercambio catiónico "CIC" (mayor que las arcillas).
- Su riqueza en oligoelementos como hierro, manganeso, cinc, boro, molibdeno, cobre lo convierte en un abono orgánico completo, aportando a las plantas las sustancias necesarias para su metabolismo.

3.5.3. Sobre las propiedades biológicas del suelo

Koni (2007), dice que el compost genera efectos benéficos sobre las propiedades biológicas del suelo.

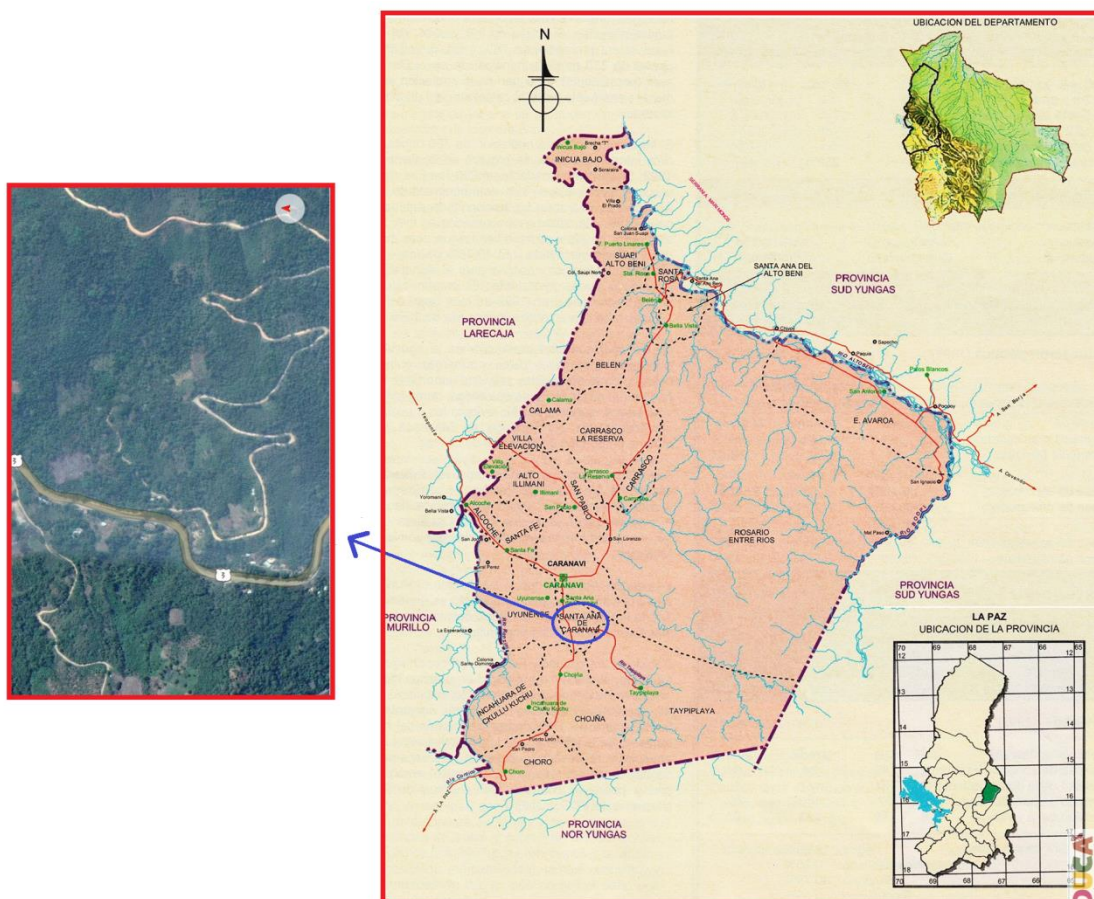
- El Compost incentiva la coexistencia de diversas especies de microorganismos y se incrementa la microflora del suelo.
- Aumenta y mejora la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que los retiene impidiendo que el agua que lo atraviesa se lleve los nutrientes solubles.
- Estimula el crecimiento vegetal, acelerando el desarrollo radicular y los procesos fisiológicos de brotación, floración, madurez, sabor y color. Al mejorar el estado general de las plantas, aumenta su resistencia al ataque de plagas y patógenos y la resistencia a las heladas.
- Los ciclos de nutrientes esenciales y de otros nutrientes se ven favorecidos a través de una adecuada mineralización de la materia orgánica, que asegura un continuo y gradual suministro de nutrientes a la solución del suelo, para ponerlos a disposición de la planta.
- Transformación de nitrógeno soluble en nitrógeno orgánico (en el cuerpo de microorganismos) evitando su pérdida por lixiviación o como amoníaco.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Localización del área experimental

El presente trabajo de investigación, se realizó en la Comunidad Santa Ana, del Cantón del mismo nombre, perteneciente al Municipio Caranavi, Provincia de Caranavi, región de los Yungas del departamento de La Paz. La zona experimental está ubicada a unos 165 km de la ciudad de La Paz, a una altitud de 1100 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas geográficas 15°44'31,5" Latitud sur y 67°37'44,8" Longitud oeste.

Figura 1. Mapa de ubicación



4.2. Características agroecológicas

4.2.1. Clima

El Municipio de Caranavi, se caracteriza por su clima sub tropical propio de la región de los Yungas del Departamento de La Paz, piso ecológico bosque muy húmedo.

Caranavi presenta una temperatura *promedio* anual de 21 a 25°C, con una precipitación media anual que varía de 1200 mm/año a 1600 mm/año, la época húmeda abarca desde octubre hasta marzo y la época húmeda de abril a septiembre.

4.2.2. Fisiografía

Fisiográficamente la región de estudio, está ubicada en una zona fuertemente plegada, de paisaje montañoso, con predominio de laderas con pendientes pronunciadas, cubiertas de vegetación subtropical, pero susceptibles a la erosión, por la fuerte pendiente que presentan.

4.2.3. Suelos

Las características de los suelos, está relacionada con la fisiografía, variando desde suelos inceptisoles hasta suelos oxisoles, mayormente son suelos de reacción ácida, de textura franco arcillosa a arcillosa, con una permeabilidad que varía de moderada a moderadamente lenta. La disponibilidad de nutrientes es baja, a pesar que puede presentar acumulación de turba.

4.2.4. Vegetación

La vegetación presente en la zona, es típica de la región subtropical húmeda de bosque latifoliado deciduo mixto de dos estratos. En el cuadro 1 se presenta la vegetación más frecuente en la zona.

Cuadro 1: Vegetación predominante de la Región de Los Yungas del departamento de La Paz

familia	nombre científico	nombre comun
Arecaceae	<i>Astrocarium chonta</i>	Chonta, kolo
Convolvulaceae	<i>Ipomea tiliaceaceae</i>	Bejuco, mora
Euphorbiaceae	<i>Sapium sp</i>	Leche leche
euphorbiaceae	<i>Croton lobatus</i>	Cardenillo
Geraniaceae	<i>Erodium cicutarum</i>	Reloj reloj
Gramineae	<i>Paspalum sp</i>	Pasto pata de gallo
Gramineae	<i>Eriochloa sp</i>	Gramas, pasto amargo
Heliantes	<i>Bidens andicola</i>	Muni muni
Juglandaceae	<i>Juglans sp</i>	Nogal
Meliaceae	<i>Cedrela sp</i>	cedro
Moraceae	<i>Cecropia peltata</i>	Ambaybo
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga, yoyo

PMD Caranavi 2005.

4.3. Materiales y Métodos

4.3.1. Restos Vegetales

Los restos vegetales utilizados, se obtuvieron de residuos provenientes de la actividad agrícola, rastrojos de cultivos, residuos de podas de árboles, arbustos, y plantas de plátano, que después de la cosecha del racimo de plátanos, la planta es cortada para propiciar el crecimiento de los esquejes o hijuelos; también se utilizó restos vegetales de yuca y malezas recolectadas.

4.3.2. Ceniza

La ceniza, se obtuvo de los fogones rústicos existentes en la zona experimental, donde el producto se acumula, como resultado de la combustión de madera y otros restos vegetales, que utilizados como fuente de energía para la cocción de los alimentos. La ceniza, es un insumo necesario para regular la reacción o pH durante el proceso de compostación.

4.3.3. Estiércol de cerdo y murciélago

El estiércol de cerdo fue recolectado de la granja de la familia Romero y el estiércol de murciélago, se recolectó de una cueva existente en la comunidad, en donde habitan cientos de murciélagos; y que está ubicada en el Cantón Santa Ana, del Municipio de Caranavi.

4.3.4. Activadores biológicos locales (ABL)

Los bioactivadores locales o fermentos, se elaboraron con insumos existentes en los Yungas de La Paz, obteniéndose fermentos de naranja, fermento de plátano, fermento de mango. Estos activadores biológicos son del lugar y se obtuvieron fermentando el jugo de naranja, plátano y mango, en un depósito herméticamente cerrado, realizando la fermentación por el tiempo de 20 días, dejando en reposo en un ambiente bajo sombra.

4.3.5. Material de campo

- Herramienta de trabajo: pala, pico, rastrillo, machete
- Maderos de 2m largo y 0,20 m diámetro
- Tamizador, romanilla, balde, regadera, flexómetro, lienzo, yute.
- nylon negro (cubierta).
- Termómetro
- Peachimetro
- Cuaderno de anotaciones

4.3.6. Material de Gabinete

- Computadora
- Calculadora
- Hojas boom tamaño carta
- Lápiz
- Cuaderno de registro

- Bolígrafos
- Marcadores

4.3.7. Material de laboratorio

- Agua destilada
- Probetas de 100 ml (de plástico)
- Balanza eléctrica
- Vasos de precipitación
- pH metro (de forma calorimétrica por reacción)
- Conductivímetro (medición directa)

4.4. Actividades procedimentales

El proceso de elaboración de los tipos de compost experimentales, se realizó mediante las siguientes actividades:

- Preparación de espacio para la compostera:** Para cada tratamiento se procedió a las mediciones y la limpieza del área de compostera de alto relieve, con las siguientes medidas: 1,5 metros de largo 1 metros de ancho para cada repetición, un espacio entre bloques de 0,5 metros, y una profundidad de 20 cm, con una superficie total de 42,5 m². Dentro de las repeticiones la mitad del espacio ha sido ocupado por la pila del compost y la otra mitad se utilizó para el volteo.
- Acopio de residuos orgánicos:** durante 1,5 mes se recolectó el estiércol fresco de cerdo, reuniéndolo en un solo lugar de acopio de estiércol de la granaja de cerdos, así mismo los rastrojos de malezas podas y demás restos vegetales se picaron de 10 a 15 cm de tamaño para facilitar la descomposición.
- Preparación de fermentos de naranja, plátano y mango:** para la preparación de los fermentos, por cada producto se utilizó 2 kg de producto, se colocó en un tacho y se agregó en 15 litros de agua, se dejó en un lugar fresco, aireado y oscuro por 45 días para su fermentación, no se utilizó ningún otro insumo, y luego se aplicó al compost en una proporción fermento: agua de 4: 2.
- Armado de pila de compost:** cada tratamiento tuvo la siguiente composición, material vegetal de rastrojos, malezas, restos de hojas y tallo modificado de plátano

y estiércol, ceniza y agua; el material vegetal fue picado y el estiércol fue humedecido.

- e. **Aplicación de los activadores biológicos locales:** los activadores biológicos se utilizaron en una proporción de 2 litros de cada fermento, diluidos en 4 litros de agua, por separado. Por cada tratamiento se utilizaron 25 litros del bioactivador preparado.
- f. **Volteos:** Los volteos de las pilas de compost se realizaron ordenadamente, el primer volteo a los quince días, los volteos posteriores se realizaron cada semana, removiendo hasta que el material que estaba en el núcleo del compost quede afuera y el material que estaba afuera ingrese al interior o núcleo, para garantizar una descomposición adecuada; los terrones del estiércol se desmenuzaron con pala para que los microorganismos ataquen mejor y aceleren la descomposición en el proceso de compostaje.
- g. **Control de la humedad y riego:** El riego, se realizó en cada volteo adicionando 20 litros de agua en cada pila en el primer volteo, uniformemente distribuido en el interior de la pila de compost, la distribución se efectuó en 4 capas en el proceso de volteo y posteriormente se disminuye la adición de agua a partir del tercer volteo adicionando 10 litros de agua, hasta la maduración del compost.
- h. **Muestreo del compost final para laboratorio:** Al concluir el compostaje, se realizó el muestreo de cada una de las unidades experimentales, una parte se separó y otra parte se juntó por tratamiento y se cuarteo, se realizó el tamizado, se pesó 1 kg por tratamiento, se embolsó y colocó sus respectivos etiquetas, las muestras de los cuatro tratamientos de compost, se llevaron al Laboratorio de Calidad Ambiental de la UMSA; las bolsas con las 12 unidades experimentales de compost, se llevaron al laboratorio de Biofertilidad de la Carrera de Agronomía UMSA.

4.4.1. Metodología de elaboración del compost

El compost se elaboró, en base a la metodología del compostaje andino, desarrollado y descrito por Chilon (2007, 2011), mediante los siguientes pasos:

- a) Se preparó un espacio de 2 metros de largo por 1 metro de ancho. Luego se tomó la mitad del espacio (1 metro), que fue ocupado por el compost dejando libre el otro espacio, para facilitar los volteos posteriores.
- b) Se colocó un callapo de 1,20 metros de longitud y 0,20 metros de diámetro al centro de la pila de compost, cuya función es moldear un hoyo para cumpla la función de respiradero, por tal motivo el callapo se retira después de la elaboración del compost, y después de cada volteo.
- c) Se procedió a la fragmentación de los restos vegetales en porciones de 2 a 5 centímetros de espesor.
- d) Luego se instaló la primera capa de restos vegetales picados, con un espesor de 20 a 22 centímetros y se humedeció con agua.
- e) Seguidamente se colocó la segunda capa, conformada por guano de murciélago, con un espesor de 10 centímetros. Se añadió abundante agua, cuidado que todo el estiércol este humedecido
- f) Luego se procedió a espolvorear con ceniza, en una cantidad de 250 gramos por aplicación; la finalidad de aplicar ceniza es de regular el pH y enriquecer el compost con potasio y calcio.
- g) Seguidamente se añadió el activador biológico correspondiente, en forma diluida en una proporción de 4:2 (cuatro litros agua: dos litros del activador), y en una cantidad de dos litros por aplicación y por cada estrato de tres capas.
- h) Luego se siguió la misma secuencia de elaboración, hasta alcanzar 1 metro de alto y conformar la pila final de compost.

4.5. Diseño Experimental

La investigación se realizó bajo el diseño bloques azar, (DBA), el mismo que fue conformado por 4 tratamientos con tres bloques, los cuales hicieron un total de 12 unidades experimentales. En el Cuadro 2 se presenta la descripción de los tratamientos de la investigación.

Cuadro 2: Detalles de los tratamientos de compost

tratamiento	descripción
T1	Compost de restos vegetales de malezas y plátano + activador biológico fermento de naranja
T2	Compost de restos vegetales de malezas y plátano + activador biológico fermento de plátano
T3	Compost de restos vegetales de malezas y plátano + activador biológico fermento de mango
T4	Compost testigo, con restos vegetales de malezas y plátano, sin aplicación de activador biológico

4.5.1. Modelo lineal

El trabajo de investigación se evaluó mediante el diseño Bloques completamente al azar (DBA), con el siguiente modelo aditivo lineal (Ochoa, 2009).

Una vez expuesto los resultados obtenidos por cada tratamiento se presenta a continuación el análisis de los resultados, el análisis comparativo se distribuye en 4 tratamientos a lo largo de la investigación

$$X_{IJ} = \mu + \beta_j + \alpha_i + E_{IJ}$$

Donde:

X_{IJ} = Observación

μ = Media poblacional

β_j = Efecto del J-ésimo bloque (repetición)

α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (activador biológico)

E_{IJ} = Error experimental

4.5.2. Dimensiones y croquis del área experimental

N

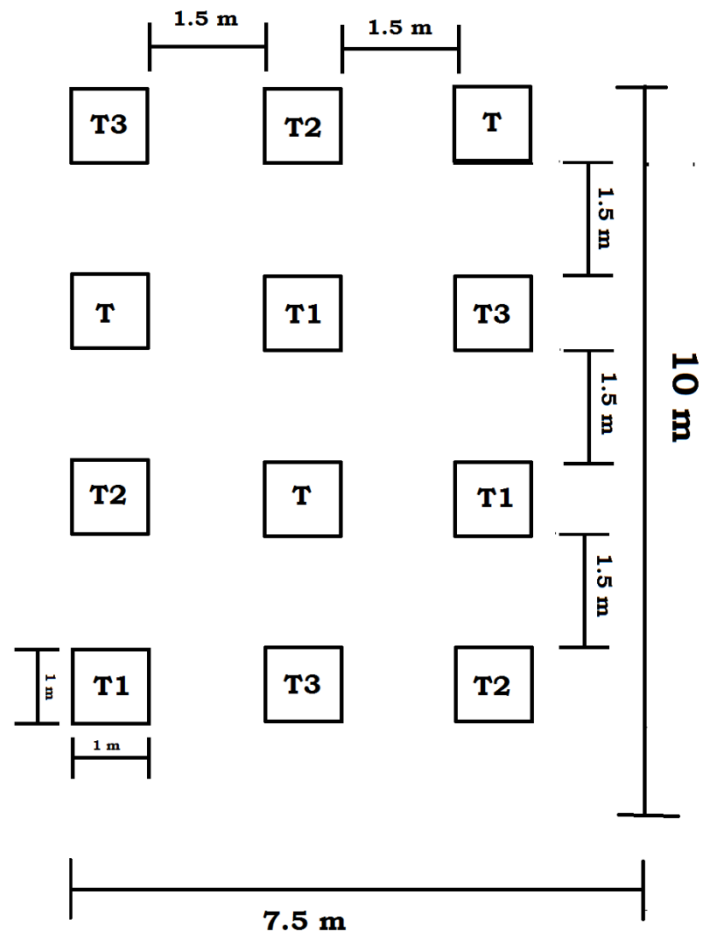


Figura 2. Esquema de diseño de la unidad experimental

4.6. Variables de evaluación

4.6.1. Comportamiento de la Temperatura de la Compostación

La temperatura del compost en grados centígrados (°C), se midió cada siete días con ayuda de un termómetro común; las mediciones en la pila del compost se realizaron a dos alturas, uno en la parte superior de la pila de compost, y el otro a una profundidad media.

4.6.2. Tiempo de Duración del Compostaje

Se tomó en cuenta el período de duración de la compostación, contabilizando el número de días, desde el inicio de la elaboración hasta la culminación del proceso de compostación.

4.6.3. Propiedades Físicas del Compost

Las propiedades físicas del compost, se determinaron en el Laboratorio de Biofertilidad, de la Cátedra de Fertilidad de Suelos, de la Carrera de Agronomía-UMSA, y en el Laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología-UMSA. Se determinaron las siguientes propiedades físicas:

- Densidad aparente (gr/cm³): se realizó por el método de la probeta
- Densidad real (gr/cm³): se realizó por el método de la probeta y determinación del volumen con agua destilada
- %Porosidad: se aplicó la fórmula $\% P = (1 - D_{ap}/D_r) \times 100$
- % humedad gravimétrica: Se determinó por el método de saturación
- % humedad volumétrica: Se determinó fórmula $\%H^0_{vol} = \%H^0_{gravim.} \times D_{ap}$
- Color: se determinó cualitativamente por observación y también con el uso de la Tabla Munsell.
- Propiedades organolépticas: se determinó el olor, y el aspecto del compost.

4.6.4. Propiedades Químicas del Compost

Las propiedades químicas del compost, se determinaron en el Laboratorio de Calidad Ambiental del IE-UMSA, y en el laboratorio de Biofertilidad de la Cátedra de Fertilidad de Suelos de la Carrera de Agronomía-UMSA; determinándose las siguientes propiedades químicas del compost:

- Reacción o pH acuoso: Método ISRIC 4
- Conductividad eléctrica: Método ASPT 6
- Materia orgánica % Método calcinación (laboratorio biología umsa)
- Carbón Orgánico % Por fórmula $\%CO = \frac{\%Mat. Orgánica}{1,724}$ (laboratorio biología umsa)
- Nitrógeno total % Método ASPT-88 (laboratorio biología umsa)
- Relación Carbono/Nitrógeno: Por fórmula Relación C/N= Carbono/Nitrógeno

4.6.5. Análisis Económico

El análisis económico de los diferentes tratamientos en estudio se realizó utilizando la técnica de relación Beneficio/costo (Perrin et al., 19959).

Para el análisis económico se tomó en cuenta los siguientes cálculos, beneficio bruto, costos variables, costos de producción, beneficios netos y beneficio/costo.

a) Beneficio Bruto

El beneficio bruto es el beneficio total que se obtiene de multiplicar el rendimiento por el precio del producto

Cuadro 3: Beneficio bruto

Activador	Tratamiento	Rendimiento	Precio	Beneficio bruto
platano	T1	736	3	2208
naranja	T2	644	3	1932
mango	T3	782	3	2346
testigo	T4	770	3	2310

b) Costos variables

En este análisis se tomaron en cuenta los costos que varían entre tratamientos, el análisis se realizó tomando en cuenta solamente los relacionados con insumos, mano de obra y herramientas utilizados.

Cuadro 4: Costos variables elaboración

Actividad	acopio de restos vegetales	picado de restos vegetales	traslado de estiércol	elaboracion de macerado de platano	elaboracion de macerado de naranja	elaboracion de macerado de mango
unidad	jornal	jornal	contrato	global	global	global
cantidad	5	3	1	1	1	1
precio	70	70	100	0,32	0,4	0,15
total	350	210	100	0,32	0,4	0,15

c) Total costos de producción

El total de los costos de producción se define como la suma de los costos fijos (mano de obra y herramientas) y los costos variables que corresponden a gastos de un proceso productivo.

Cuadro 5: Costos de producción compost

	Costos de Produccion	Rend/kilos	Beneficio Bruto	B/C
compost + ferm naranja	1230,4	644	1932	1,57
compost + ferm platano	1230,32	736	2208	1,79
compst + ferm mango	1230,15	782	2346	1,91
testigo	1230	770	2310	1,88

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante la investigación, así como el análisis y discusión de los principales hallazgos encontrados.

5.1. Características agroclimáticas de la zona de estudio

La zona de estudio donde se realizó la investigación pertenece al Municipio de Caranavi, y corresponde a la región de los Yungas del departamento de La Paz, caracterizado por un clima tropical, con una temperatura cálida y una precipitación abundante que determina una vegetación de bosques tropicales.

5.1.1. Clima temperatura y precipitación

En el Cuadro 6, se presenta las características de las temperaturas mínima, medias y máximas para un período correspondiente a últimos 10 años, así como también de la precipitación; estas características climáticas influyeron sobre los tratamientos de compost elaborados con activadores biológicos locales.

a) Temperatura

De acuerdo a los datos del cuadro 6, se tiene que las temperaturas mínimas se presentan en los meses de mayo con 18,4°C, junio con 16,6°C y julio con 15,8°C, y las temperaturas máximas ocurren en los meses de diciembre con 30°C, enero con 30,6°C y febrero con 30,5°C; esta tendencia se refleja en las temperaturas medias. Al respecto la investigación del compost se realizó entre los meses de noviembre de 2015 y febrero de 2016, correspondiendo al período de ocurrencia de las mayores temperaturas, que probablemente influyeron en el proceso de descomposición del compost.

b) Precipitación

La precipitación promedio mensual, que se presenta en el Cuadro 6, indica una región húmeda tropical, con una precipitación media anual acumulada de 1649 mm/año, observándose que las menores precipitaciones se presentan en los meses de mayo con 69 mm, junio con 41 mm, julio con 34 mm y agosto con 62 mm; y los meses más lluviosos corresponden a los meses de diciembre con 272 mm, enero con 239 mm y febrero con 219 mm. La investigación se realizó en el período húmedo por lo que se tomó la previsión de cubrir las pilas de compost con un plástico, y construir un tinglado para evitar los excesos de la humedad.

Cuadro 6: Datos del clima de Caranavi (2008-2016).

meses	temperatura (°c)			precipitación (mm)
	Máxima	Mínima	Media	
Enero	30,6	21,1	25,8	239
Febrero	30,5	21,3	25,9	219
Marzo	29,9	20,4	25,1	190
Abril	29,5	19,5	24,5	120
Mayo	28,3	18,4	23,3	69
Junio	27,2	16,6	21,9	41
Julio	27,3	15,8	21,5	34
Agosto	29,5	17,2	23,3	62
Septiembre	30,7	18,4	24,5	108
Octubre	31	19,8	25,4	133
Noviembre	31,5	20,2	25,8	162
Diciembre	30,4	20,5	25,4	272
TOTAL				1649

5.2. Influencia de los activadores biológicos locales sobre la temperatura y duración de la compostación

En el Cuadro 7 y la Figura 2, se presenta la influencia de los fermentos locales, ensayados como activadores biológicos, sobre la temperatura de los tratamientos de compost, y sobre la duración de la compostación. El comportamiento térmico de los tratamientos de compost, muestra que la mayor temperatura fue de 44,4°C que presentó el tratamiento compost con fermento plátano, luego con una temperatura de 42,6°C se ubicó el compost con fermento naranja, seguido por el tratamiento compost testigo con 41,9°C, y finalmente el tratamiento compost con activador fermento mango presentó una temperatura máxima de 40,4°C; estos resultados verifican el efecto de los fermentos locales naranja y plátano como activadores biológicos que influyen sobre la intensificación de la actividad de los microorganismos durante el proceso de la compostación. Sin embargo la temperatura máxima del tratamiento compost con fermento mango, fue superado ligeramente por el tratamiento compost testigo, lo que indica diferencias en la respuesta térmica de los tratamientos, estas diferencias del comportamiento térmico, también fueron observadas en otros ensayos de compostaje con

activadores biológicos, realizados en la región del Altiplano, Valles y Yungas de Bolivia (Cortez, 1998; Noriega, 2001; Sotomayor 2000; Chilon 2011, 2015; Ramírez 2012; Toro 2014).

Los resultados del seguimiento al comportamiento térmico de los tratamientos, verifican que en cada fase del proceso microbiológico de compostación, la temperatura varía en función a la actividad de los diversos microorganismos, y las fases del proceso de descomposición y transformación microbiológica del compost pueden ser intensos, lentos o interrumpirse, dependiendo de las condiciones ambientales, físicas y bioquímicas en el momento que ocurre la descomposición. Respecto a la duración de la compostación esta fue uniforme para todos los tratamientos de compost.

Cuadro 7: Comportamiento de la temperatura del compost

FECHA	temperatura			
	T1 Compost+ fermento naranja	T2 Compost+ fermento plátano	T3 Compost+ fermento mango	T4 Compost Testigo
10/11/2015	15,0	15,0	15,0	15,0
17/11/2015	42,6	44,4	40,4	41,9
24/11/2015	36,3	37,6	36,5	37,0
08/12/2015	32,3	34,5	34,3	34,1
15/12/2015	37,7	36,4	37,4	36,6
24/12/2015	34,7	33,6	33,0	32,5
05/01/2016	31,8	32,1	32,6	32,2
12/01/2016	29,6	30,1	30,7	29,6
19/01/2016	28,9	30,1	31,5	30,5
26/01/2016	28,4	29,0	28,9	29,0
02/02/2016	27,8	28,5	27,9	27,7

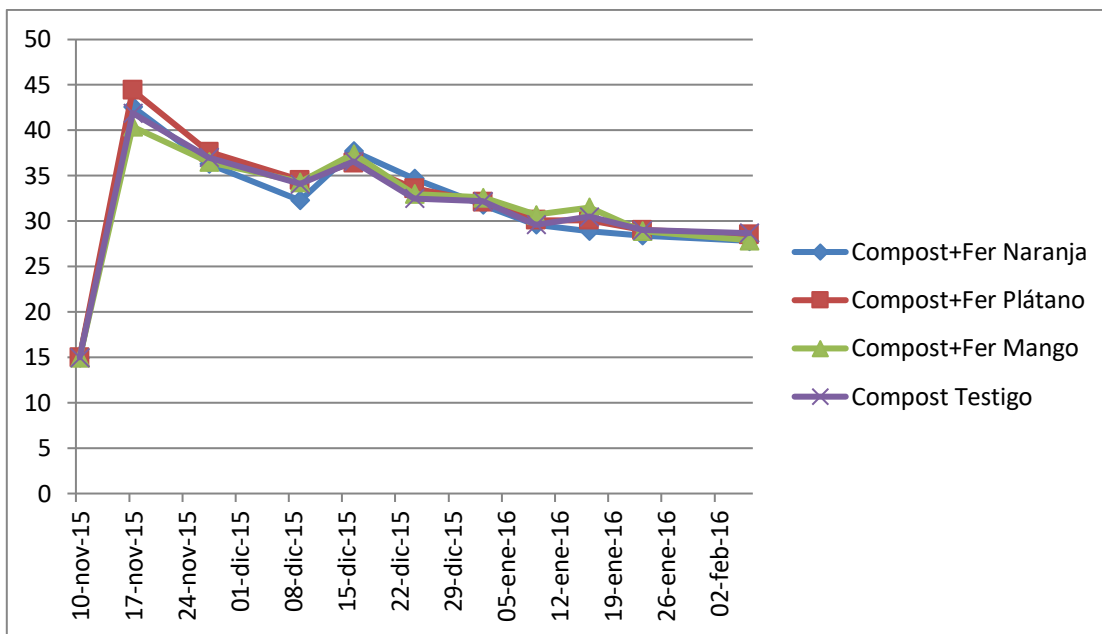


Figura 3. Variación de la temperatura de los tratamientos de compost.

5.3. Efecto de los activadores biológicos locales sobre las características y propiedades de los tratamientos de compost

A continuación, se presenta el efecto de los activadores biológicos locales, sobre las propiedades físicas y químicas de los tratamientos de compost.

5.3.1. Efecto de los activadores biológicos locales sobre las propiedades físicas del compost

La evaluación del efecto de los activadores biológicos locales, sobre las propiedades físicas de los tratamientos de compost, se realizó en base al análisis y comparación de las siguientes propiedades físicas del compost: densidad aparente, densidad real, porosidad, contenido de humedad, color y las propiedades organolépticas olor y aspecto.

5.3.2. Efecto de los activadores biológicos locales sobre la densidad aparente de los tratamientos de compost.

El análisis de variancia de la Densidad aparente de los tratamientos de compost, se presentan en el cuadro 5, observándose que existen diferencias significativas entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 2,5% lo que refleja un buen manejo durante la compostación.

Cuadro 8: Análisis de varianza para la densidad aparente (g/cm³) de los Tratamientos de Compost

F.V.	GL	SC	CM	F	p-Valor	Signific.
Modelo	5	0,01	1,0E-03	4,72	0,0428	
Bloques	2	1,7E-05	8,3E-0E	0,04	0,9630	No signif.
Tratamientos Compost	3	0,01	1,7E-03	7,84	0,0169	*
Error	6	1,3E-03	2,2E-04			
Total	11	0,01				
C.V.	2,5%					

De acuerdo a la prueba de Duncan Cuadro 9, para la Densidad Aparente (Dap) para los tratamientos de compost, se observa que los tratamientos T2 (compost con fermento plátano) con una Dap 0,62 g/cm³ y el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con Dap 0,60 g/cm³, son estadísticamente iguales, y superan a los otros tratamientos reflejando un buen proceso de descomposición; luego se ubica el tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con una Dap 0,59 g/cm³, y finalmente el tratamiento T4 (compost testigo) con Dap 0,56 g/cm³, el último caso el compost testigo, no recibió fermento, su bajo valor de densidad aparente indica dificultades en la descomposición, verificándose el efecto benéfico de los fermentos sobre el proceso de compostación. Estos valores de densidad aparente son concordantes con lo que se espera de la materia orgánica descompuesta vía el compostaje, que deben ser menores a 0,8 g/cm³ pero mayores a 0,50 g/cm³

Cuadro 9: Prueba de Duncan (5%) para la densidad aparente (g/cm³) de los tratamientos de compost

tratamientos	promedios dap (g/cm ³)	
T2 Compost con fermento plátano	0,62	a
T3 Compost con fermento mango	0,60	a
T1 Compost con fermento naranja	0,59	ab
T4 Compost testigo	0,56	b

Al respecto, los valores de densidad aparente de los tratamientos de compost de la presente investigación, son similares a los obtenidos por Velásquez, P. (1997), quien realizó una investigación en Caranavi, elaborando compost con pulpa de café y gallinácea, obteniendo valores en el rango de 0,60 g/cm³ a 0,63 g/cm³, solamente el tratamiento testigo de pulpa de café y restos de papaya presentó el mayor valor con 0,71 g/cm³, superando al testigo de la presente investigación.

También en otra investigación, realizada por Sotomayor, R. (2000), en la zona yungueña de Irupana, con la elaboración de compost con pulpa de café, gallinácea, crotalaria y tierra vegetal, obtuvo una densidad aparente de 0,42 g/cm³, estos valores de densidad aparente fueron menores a los obtenidos en la presente investigación.

En una investigación realizada en la Estación Experimental de Cota Cota La Paz, de la Facultad de Agronomía-UMSA, Chilon (2015), elaborando compost con restos vegetales, estiércol de bovinos, y diferentes activadores como caldo de humus de lombriz, fermento de maíz, y derivados de leche, obtuvo para el período cálido de septiembre a diciembre,

valores de densidad aparente en el rango de 0,50 g/cm³ a 0,60 g/cm³, que son ligeramente menores a los obtenidos en la presente investigación.

Sobre el uso del compost como abono orgánico, y sobre los bajos valores de la densidad aparente del compost, Chilon (1996, 2011), señala que la baja densidad aparente del compost, al aplicarse como abono orgánico al suelo, también va a influir sobre la disminución de la densidad aparente del suelo, y cuanto más se aplique compost al suelo se tiene un mejor efecto en los suelos agrícolas y mayores rendimientos finales de los cultivos.

Comparando todos los casos citados, con los resultados de la densidad aparente de los compost de la presente investigación, se observa que los datos son muy variables, lo que se debería al efecto e influencia de los activadores biológicos locales utilizados, al tipo de restos vegetales, a la forma de manejo y principalmente a las características agroclimáticas y eco-geográficas de las zonas de estudio y experimentación, donde se realizó la elaboración de los compost.

5.3.3. Efecto de los activadores biológicos locales sobre la densidad real de los tratamientos de compost

Los tratamientos de compost, y el efecto de los activadores biológicos locales fermento de naranja, fermento de plátano y fermento de mango, sobre los valores de la densidad real, se presenta en el Cuadro 10, observándose que se presentan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, lo que verifica el efecto de los fermentos sobre el proceso de compostaje. El coeficiente de variación de 1,22% lo que indica un buen manejo y control durante el proceso de compostaje.

Cuadro 10: Análisis de varianza para la Densidad Real (g/cm³) de los Tratamientos de Compost

F.V.	GL	SC	CM	F	p-Valor	Signific. (5%)
Modelo	5	0,02	4,2E-03	8,28	0,0115	
Bloques	2	1,2E-03	6,1E-04	1,20	0,3653	No signif.
Tratamientos Compost	3	0,02	0,01	13,00	0,0049	*
Error	6	3,0E-03	5,1E-04			
Total	11	0,02				
C.V.	1,22%					

En el Cuadro 11 se presenta la prueba de Duncan para la densidad real (DR) de los tratamientos de compost, verificándose que el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con una DR 1,91 g/cm³, supera estadísticamente a los otros tratamientos, luego en segundo lugar se ubica que tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con una DR 1,85 g/cm³, que estadísticamente supera a los otros tratamientos; el tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con DR 1,81 g/cm³, supera ligeramente al tratamiento T4 (compost testigo) que presenta una DR 1,80 g/cm³, lo que refleja un compost inmaduro que requiere mayor tiempo para completar la descomposición.

Cuadro 11: Prueba de Duncan (5%) para la densidad real (gr/c³) de los tratamientos de compost

tratamientos	promedios dr (g/cm ³)	
T3 Compost con fermento mango	1,91	a
T2 Compost con fermento plátano	1,85	b
T1 Compost con fermento naranja	1,81	bc
T4 Compost testigo	1,80	c

Tomando en cuenta los valores de densidad aparente obtenidos en la presente investigación, y comparándolos con los valores de densidad real aparente, obtenidos por Velásquez, P. (1997), quien elaboró compost en los Yungas de Caranavi, con pulpa de café y gallinácea, obteniendo valores en el rango de 1,43 g/c³ a 1,67 g/cm³, y con el tratamiento testigo de pulpa de café y restos de papaya que presentó el mayor valor con 1,67 g/cm³; se observa que estos valores de densidad real son menores a los obtenidos en la presente investigación, pero siguen la misma tendencia, estas variaciones se deberían al tipo de materiales utilizados en la elaboración del compost y al efecto de los fermentos utilizados.

Por otro lado en condiciones de valle en Sapahaqui(La Paz), Ramírez (2012) en su investigación de elaboración de compost con restos vegetales de haba y activadores de leche y sus derivados, obtuvo valores de densidad real en el rango de 1,95 g/cm³ a 2,18 g/cm³; observándose que estos valores de densidad real son mayores a los valores obtenidos en la presente investigación, diferencias que se debería a los materiales utilizados en la elaboración del compost y al efecto de los fermentos utilizados, en la presente investigación.

En la investigación realizada en la Estación Experimental de Cota Cota, de la Facultad de Agronomía de la UMSA, Chilon (2015) encontró valores de densidad real para los compost experimentales en el rango de 1,99 g/cm³ a 2,2 g/cm³, los que son ligeramente mayores a los obtenidos en la presente investigación.

Tomando en cuenta los casos anteriores, y comparando los valores de densidad real que son variables, en función del tipo de fermento utilizado, de los materiales vegetales, tipo de estiércol y piso ecológico; en todos los casos la densidad real de los compost está en el rango de 2,2 a 1,5 g/cm³ (Chilon 2013), lo que indica que en nuestro caso, el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con Dr 1,91 g/cm³, corresponde a un compost maduro bien descompuestos.

5.3.4. Efecto de los activadores biológicos locales sobre la porosidad de los tratamientos de compost

El análisis de variancia, de los tratamientos de compost con fermentos locales de naranja, plátano y mango sobre la Porosidad, se presenta en el Cuadro 12, estos resultados permiten verificar con mayor claridad el efecto de los tipos activadores biológicos locales utilizados en la elaboración de compost. El coeficiente de variabilidad es 1% lo que indica un buen manejo y control durante el proceso de compostaje, Se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Estableciéndose que los valores de la porosidad, corresponden a los valores que se espera del compost. En el caso de la presente investigación los valores de la porosidad son ligeramente variables, verificándose el efecto del tipo de restos vegetales y estiércol utilizados, en la elaboración del compost.

Cuadro 12: Análisis de varianza para la porosidad de los tratamientos de compost

F.V.	GL	SC	CM	F	p-Valor	Signific. (5%)
Modelo	5	9,29	1,86	4,80	0,0412	
Bloques	2	0,55	8,28	0,72	0,5262	No signif.
Tratamientos Compost	3	8,73	2,91	7,52	0,0186	*
Error	6	2,32	0,39			
Total	11	11,61				
C.V.	1,0%					

De acuerdo a la prueba de Duncan para la porosidad de los tratamientos de compost, que se presenta en el cuadro 13, se observa que estadísticamente existen 3 grupos, el tratamiento T1 (compost testigo) presenta el mayor valor de porosidad con 68,76%, posiblemente por presentar mayor cantidad de macroporos, por su irregular descomposición; luego están los tratamientos T3 (compost con fermento mango) con 68,35% porosidad, que tendría una mayor cantidad de microporos, y el tratamiento T2 (compost con fermento naranja) con una porosidad 67,46%; finalmente se ubica el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con una porosidad de 66,65%. Estos valores están en los rangos obtenidos por otras investigaciones.

Cuadro 13: Prueba de Duncan para la porosidad de los tratamientos de compost

tratamientos	promedios porosidad (%)	
T1 Compost Testigo	68,76	a
T3 Compost con fermento mango	68,35	ab
T1 Compost con fermento naranja	67,46	bc
T2 Compost con fermento plátano	66,55	c

Sobre los valores de porosidad obtenidos en la presente investigación, comparando con lo obtenido por Velásquez (1997), que elaboró compost en Caranavi, con pulpa de café y gallinácea, obteniendo valores de porosidad en el rango de 55,94% a 63,47%, observándose que estos valores de porosidad son menores a los obtenidos en la presente investigación, lo que se debería al tipo de materiales utilizados y en nuestro caso al efecto de los fermentos locales ensayados.

En condiciones de valle en Sapahaqui, Ramírez (2012) en su investigación de elaboración de compost con restos vegetales de haba y activadores de leche y sus derivados, obtuvo valores de densidad aparente en el rango de 76,63% a 79,69%; observándose que estos valores de densidad real son mayores a los valores obtenidos en la presente investigación, lo que también se debería a los materiales utilizados en la elaboración del compost.

En la investigación realizada en la Estación Experimental de Cota Cota, de la Facultad de Agronomía de la UMSA, Chilon (2015) obtuvo valores de porosidad para los compost experimentales en el rango de 70,90% a 76,20% de porosidad, los que son también mayores a los obtenidos en la presente investigación. En la mayoría de los casos, los valores de porosidad están por encima del 60% (Chilon 2013), lo que indica que son

abonos orgánicos de moderada a buena calidad, sin embargo estos valores de porosidad no son tan concluyentes, requiriéndose evaluar y determinar los porcentajes de macroporos y microporos, toda vez que son los microporos los más importantes al ser responsables del almacenamiento del agua y nutrientes, además a mayor madurez del compost hay mayor cantidad de microporos.

5.3.5. Efecto de los activadores biológicos locales sobre el contenido de humedad gravimétrica y volumétrica de los tratamientos de compost

El análisis de variancia de los tratamientos de compost, y del efecto de los fermentos locales sobre el %Humedad gravimétrica, se presenta en el cuadro 14; observándose que no existen diferencias significativas entre tratamientos, pero si diferencias numéricas. El coeficiente de variabilidad es 14,8% lo que indica buenos cuidados durante el proceso de compostaje. Se observa que los valores del %Humedad, corresponden a los valores que se espera del compost elaborado con activadores biológicos locales.

Cuadro 14: Análisis de varianza para humedad gravimétrica (%) de los tratamientos de compost

F.V.	GL	SC	CM	F	p-Valor	Signific.
Modelo	5	154,50	30,90	0,55	0,7379	
Bloques	2	52,17	26,08	0,46	0,6510	No signif.
Tratamientos Compost	3	102,33	34,11	0,60	0,6363	No signific.
Error	6	339,17	56,53			
Total	11	493,67				
C.V.	14,8%					

En el (cuadro 15), se presenta las diferencias numéricas entre tratamientos, que permiten establecer el efecto variable de los activadores biológicos locales sobre la Humedad gravimétrica de los tratamientos de compost. Se observa que el mayor %Humedad gravimétrica se presenta en el Tratamiento T3 (compost con fermento mango) con

68,76%, seguido del Tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con 68,35% Humedad gravimétrica, luego se ubica el Tratamiento T4 (compost testigo) con 67,46% Humedad, y el menor valor lo presenta el Tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con 66,55% Humedad gravimétrica. Las diferencias del contenido de humedad gravimétrica entre tratamientos son mínimas, lo se debería la uniformidad de manejo durante el proceso de compostaje.

Cuadro 15: Diferencias entre promedios humedad gravimétrica por tratamientos de compost

tratamientos	promedios porosidad (%)
T3 Compost con fermento mango	68,76
T1 Compost con fermento naranja	68,35
T4 Compost Testigo	67,46
T2 Compost con fermento plátano	66,55

Por otro lado, en el Cuadro 16 se presenta el análisis de variancia del contenido de Humedad volumétrica (%), observándose que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, pero si diferencias numéricas. El coeficiente de variabilidad es 15,8% lo que refleja buenos cuidados durante el proceso de compostación. Se observa que los valores del %Humedad, disminuyen en relación a los valores del %Humedad gravimétrica, lo que se explica por los valores bajos de densidad aparente que presentan los tratamientos de compost; sin embargo, estos valores son lo que se espera de los tipos de compost elaborado con fermentos locales.

Cuadro 16: Análisis de varianza para humedad volumétrica (%) de los tratamientos de compost

F.V.	GL	SC	CM	F	p-Valor	Signific.
Modelo	5	59,38	11,88	0,55	0,7330	
Bloques	2	18,97	9,48	0,44	0,6617	No signif.
Tratamientos Compost	3	40,41	13,47	0,63	0,6226	No signific.
Error	6	128,54	21,42			
Total	11	187,92				
C.V.	15,33%					

En el Cuadro 17, se presenta las diferencias numéricas entre tratamientos, para la variable %Humedad volumétrica; se observa que el mayor %Humedad volumétrica se presenta en el Tratamiento T3 (compost con fermento mango) con 32,95%, seguido del Tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con 30,69% Humedad volumétrica, luego se ubica el Tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con 28,96% Humedad volumétrica, y el menor valor lo presenta el Tratamiento T4 (compost testigo) con 28,17% Humedad volumétrica. Las diferencias del contenido de humedad gravimétrica entre tratamientos se deberían al efecto de los fermentos locales sobre el proceso de descomposición, además se verifica que el tratamiento testigo presenta mayor cantidad de macroporos que explica que presente el menor contenido de %humedad volumétrica.

Cuadro 17: Diferencias entre promedios humedad volumétrica por tratamientos de compost

tratamientos	promedios porosidad (%)
T3 Compost con fermento mango	32,95
T1 Compost con fermento naranja	30,69
T2 Compost con fermento plátano	28,96
T4 Compost testigo	28,17

Sobre los contenido de %Humedad volumétrica, obtenidos en la presente investigación, en comparación con los resultados de Velásquez (1997), que en Caranavi, en su investigación de compost con pulpa de café y gallinácea, obtuvo valores en el rango de 11,82%Humedad a 21,5%Humedad, reportando que el menor contenido de humedad corresponde al tratamiento testigo de pulpa de café y restos de papaya; en todos los casos el contenido de humedad volumétrica de los tratamientos de compost de la presente investigación que está en los rangos de 32,95% a 28,17%, supera ampliamente a los valores de humedad, de la investigación con la que se compara los datos.

Por su parte Sotomayor (2000), en una investigación realizada en Irupana, elaborando compost con pulpa de café, gallinácea, crotalaria y tierra vegetal, obtuvo un %Humedad volumétrica de solo 5,01%, lo que indicaría que se trata de un compost inmaduro, este valor es mucho menor a lo obtenido en la presente investigación.

En el caso de valle, en Sapahaqui, Ramírez (2012) en su investigación de elaboración de compost, obtuvo valores de %Humedad en el rango de 10,72% a 24,66 %Humedad volumétrica, estos valores son mucho menores, a lo obtenido en la presente investigación; esto se debería a la buena calidad del compost realizado, producto de un buen manejo en campo.

En una investigación realizada en la Estación Experimental de Cota Cota, de la Facultad de Agronomía-UMSA, Chilon (2015), elaborando compost con restos vegetales, estiércol de bovinos, y diferentes activadores como caldo de humus de lombriz, fermento de maíz, y derivados de leche, obtuvo para el período cálido de septiembre a diciembre, valores de %Humedad en el rango de 58,04% a 62,21 %Humedad, que son ampliamente mayores en relación a los valores obtenidos en la presente investigación, posiblemente debido a la madurez completa de los compost se elaboraron en Cota Cota.

En todos los casos, se observa que los datos de %Humedad volumétrica son muy variables, lo que se debería al efecto e influencia de los fermentos locales utilizados, también al tipo de restos vegetales, a la forma de manejo y principalmente a las características agroclimáticas y eco-geográficas de las zonas de estudio.

5.3.6. Efecto de los activadores biológicos locales sobre el color de los tratamientos de compost

El color del compost es un indicador de la madurez y calidad del mismo, un color marrón oscuro uniforme y homogéneo en toda la masa del compost, indica un buen proceso de compostación y un estado de madurez adecuado, así mismo refleja un manejo adecuado de la humedad y aireación durante el proceso de compostación. Por el color, olor y aspecto se reconocen tres estados: compost inmaduro, compost en proceso de maduración, y compost maduro.

El color del compost se determina cualitativa y cuantitativamente; la determinación cualitativa del color se realiza por observación visual, tomando como referencia que el color del compost maduro es marrón oscuro. De acuerdo con Chilon (1997), el compost se oscurece con la maduración, llegando a un color marrón oscuro, debido a la formación de grupos cromóforos, y compuestos orgánicos de doble enlace conjugados, razón por la cual el compost adquiere un color marrón oscuro homogéneo, que es fácilmente visualizado en la pila de compost.

La determinación cuantitativa del color del compost se realizó con la Tabla Munsell, cuyos valores del chroma, Hue y value, indican el grado de madurez que presenta el compost, reconociéndose tres estados: compost inmaduro, compost en proceso de maduración, y compost maduro. (Chilon 2013, 2105; Toro 2014).

En la presente investigación, en el Cuadro 19 se presenta el detalle del color de los tratamientos de compost; de acuerdo al color se tienen dos grupos: compost maduro conformado por los Tratamientos T3 (Compost con fermento de mango), que presenta color en seco 10YR 2/2 y color en húmedo 10 YR 2/1; y Tratamiento T2 (compost con fermento de plátano) con un color en seco 10 YR 2/1 y color en húmedo 10 YR 2/2. El grupo de compost en proceso de maduración, está conformado por los Tratamientos T1 (compost con fermento de naranja) que presenta color en seco 7,5 YR 3/2 y color en húmedo 7,5 YR 2,5/2, y el Tratamiento T4 (compost testigo) con un color en seco 7,5 YR 2,5/3 y color en húmedo 7,5 YR 3/2.

Cuadro 18: Efectos de activadores locales sobre el color de los tratamientos de compost

tratamiento	color (tabla munsell)		
	color en seco	color en húmedo	observación
T1 Compost con activador fermento de naranja	7.5 YR 3/2	7,5 YR 2,5/2	Color adecuado, indicador de compost en proceso de maduración
T2 Compost Con activador fermento de plátano	10 YR 2/1	10YR 2/2	Color adecuado, indicador de compost maduro
T3 Compost con activador fermento de mango	10 YR 2/2	10 YR 2/1	Color adecuado, indicador de compost maduro
T4 Compost Testigo	7,5 YR 2,5/3	7,5 YR 3/2	Color adecuado, indicador de compost en proceso de maduración

5.3.7. Efecto de los Activadores Biológicos Locales sobre las propiedades organolépticas de los Tratamientos de compost

Las propiedades organolépticas, que proporcionan otros criterios para establecer el estado del compost, son el olor y el aspecto de su masa (o grado de uniformidad de la masa del compost); se establecen tres grupos de compost: compost inmaduro, compost en proceso de maduración, y compost maduro (Chilon, E. 2015). En el cuadro 6 se presenta el detalle de las características organolépticas de los tratamientos de compost ensayados.

El compost inmaduro: presenta una mezcla de colores y olores, lo que indica un proceso irregular de compostación, todavía se percibe malos olores, su aspecto es heterogéneo con materiales vegetales a medio descomponer, lo que refleja una descomposición incompleta, posiblemente por falta de oxígeno y un mal manejo de la humedad indicadores de la mala calidad del compost, requiriéndose mayor tiempo y un buen manejo para lograr la maduración. En la presente investigación, no se presentaron compost de tipo inmaduro, tanto en los tratamientos como en el testigo, lo que verifica que se realizó un buen manejo.

El compost en maduración: indica que el compost está en proceso de culminar la compostación, presenta un color uniforme y un olor agradable, sin percibirse otros olores; su aspecto es casi uniforme con un pequeño porcentaje de materiales vegetales en descomposición, lo que establece que proceso de maduración está siendo alcanzado con normalidad, reflejando una buena calidad del compost. En el caso de la presente investigación, al grupo de los compost en maduración, pertenecen los tratamientos T1 (Compost con fermento de naranja), y Tratamiento T2 (compost testigo).

El compost maduro: indica un compost que ha culminado adecuadamente su proceso de compostación, presenta un olor agradable a tierra fresca recién arada, debido fundamentalmente a la presencia de actinomicetos; el compost presenta un color y aspecto uniforme y homogéneo en toda su masa, lo que refleja una excelente calidad del compost. En nuestra investigación, a este grupo de compost maduro pertenecen los tratamientos T3 (Compost con fermento de mango), y Tratamiento T2 (compost con fermento de plátano), calificándolos como compost de excelente calidad.

Cuadro 19: Efectos de activadores locales sobre las propiedades organolépticas de los tratamientos de compost

tratamiento	prop. organolépticas	
	olor	aspecto
T1 Compost con activador fermento de naranja	Olor medianamente agradable	Compost con masa casi homogénea con ligeros rastros de vegetales
T2 Compost Con activador fermento de plátano	Olor agradable, a tierra fresca.	Compost con masa homogénea y uniforme
T3 Compost con activador fermento de mango	Olor agradable, a tierra fresca.	Compost con masa homogénea y uniforme
T4 Compost Testigo	Olor de ligera a medianamente agradable.	Compost con masa casi homogénea con ligeros rastros de vegetales

5.3.8. Efecto de los activadores biológicos locales sobre las propiedades químicas del compost

La evaluación de las propiedades químicas del compost, se realizó en base a los resultados del análisis del Laboratorio, de los tratamientos de compost, realizado en el Laboratorio de Calidad Ambiental, del Instituto de Ecología de la UMSA, y en Laboratorio de Biofertilidad de la Cátedra de Fertilidad de Suelos de la Carrera de Agronomía de la UMSA.

5.3.9. Efecto de los activadores biológicos locales sobre el ph de los tratamientos de compost

En el cuadro 20, se presenta el análisis de variancia del efecto de los fermentos sobre el pH de los tratamientos de compost, observándose que existen diferencias significativas. El coeficiente de variación es 2,3% lo que indica que se realizó un buen manejo y control durante el proceso de compostación; los valores de pH se califican de neutros a ligeramente básicos, lo que se deberían al efecto de la aplicación de ceniza durante la elaboración del compost.

Cuadro 20: Análisis de varianza para el pH de los Tratamientos de Compost

F.V.	GL	SC	CM	F	p-Valor	Signific. (5%)
Modelo	5	0,33	0,07	2,51	0,1470	
Bloques	2	0,08	0,04	1,55	0,2871	No signif.
Tratamientos Compost	3	0,25	0,08	3,15	0,1079	*
Error	6	0,16	0,03			
Total	11	0,49				
C.V.	2,3%					

De acuerdo a la prueba de Duncan para la variable pH de los tratamientos de compost, que se presenta en el Cuadro 21, se observa que estadísticamente existen 3 grupos, el tratamiento T3 (compost con fermento mango) presenta el mayor valor de pH: 7,33 siendo neutro a ligeramente básico, superando a los otros tratamientos; luego están los tratamientos T4 (compost testigo) con pH: 7,07, y el tratamiento T2 (compost fermento de plátano) con pH:7,0, que superan al tratamiento T1 (compost con fermento naranja) que presenta un pH:6,97. Estos valores de pH son óptimos en relación a los valores de otras investigaciones.

Cuadro 21: Prueba de Duncan (5%) para pH de los tratamientos de compost

tratamientos	promedios ph	
T3 Compost con fermento mango	7,33	a
T4 Compost testigo	7,07	a b
T2 Compost con fermento plátano	7,00	a b
T1 Compost con fermento naranja	6,97	b

Sobre los valores de pH obtenidos en los tratamientos de la presente investigación, Alexander (1994), señala que una adecuada descomposición de los microorganismos termófilos requiere un pH de neutro a alcalino, por lo que el rango de los compost elaborados en la presente investigación se ajusta a esta recomendación. Los valores de pH de los tratamientos de compost del presente estudio, son menores y de mejores condiciones, en relación a los resultados obtenidos por Chilon (2013), que en su investigación realizada en compost altoandino con activadores biológicos en la modalidad de alto relieve, obtuvo un rango alto de pH de 7,94 a 8,66.

Por otro lado por Ramírez (2012), en la evaluación de compost en valle con dos tipos de material vegetal, y con el uso de bioactivadores, encontró valores de pH, mucho mayores en un rango de pH: 8,2 a 8,3, posiblemente por el uso excesivo de ceniza. Por lo tanto los valores de pH obtenidos en la presente investigación son indicadores de una buena calidad de compost (citado por Chilon 2013 y Ramírez 2012).

5.3.10. Efecto de los activadores biológicos locales sobre la conductividad eléctrica de los tratamientos de compost

En el Cuadro 22 se presenta el análisis de variancia del efecto de los fermentos sobre la conductividad eléctrica (mmhos/cm) de los tratamientos de compost, observándose que existen diferencias estadísticamente significativas. El coeficiente de variación es 18,72% lo que indica que se realizó un manejo adecuado y control oportuno durante el proceso de compostación; los valores de la conductividad eléctrica son altos, lo que se deberían al efecto de la aplicación de ceniza, y al tipo de estiércol y materiales vegetales utilizados durante la elaboración del compost.

Cuadro 22: Análisis de varianza para conductividad eléctrica (mmhos/cm) de los tratamientos de compost

F.V.	GL	SC	CM	F	p-Valor	Signific.
Modelo	5	8799288,33	1759857,67	3,68	0,0721	
Bloques	2	179426,00	89713,00	0,19	0,8338	No signif.
Tratamientos Compost	3	8619862,33	2873287,44	6,00	0,0308	*
Error	6	2872384,67	478730,78			
Total	11	11671673,00				
C.V.	18,72%					

En el Cuadro 23, se presenta la Prueba de Duncan para la variable conductividad eléctrica de los tratamientos de compost, observándose que estadísticamente el tratamiento T3 (compost con fermento mango) supera estadísticamente a los otros tratamientos presentando una CE: 2,29 mmhos/cm, que no entraña riesgos de salinización, luego se ubican los otros tratamientos que son estadísticamente iguales, el tratamiento T4 (compost testigo) con una CE: 3,90 mmhos/cm, luego el tratamiento T1

(compost con fermento naranja) con CE: 3,99 mmhos/cm y finalmente el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con una CE: 4,58 mmhos/cm; estos tres últimos tratamientos son salinos y entrañan riesgo de salinización en los suelos si se los aplica como abonos orgánicos.

Cuadro 23: Prueba de Duncan (5%) para conductividad eléctrica de los tratamientos de compost

tratamientos	promedios mmhos/cm	c.e.
T3 Compost con fermento mango	2,29	a
T4 Compost testigo	3,90	b
T1 Compost con fermento naranja	3,99	b
T2 Compost con fermento plátano	4,58	b

5.3.11. Efecto de los activadores biológicos locales sobre el contenido de materia orgánica (%) de los tratamientos de compost

En el Cuadro 24 se presenta el análisis de variancia del efecto de los fermentos sobre el contenido %Materia orgánica de los tratamientos de compost, observándose que no se presentan diferencias estadísticas. El coeficiente de variación es 10,55% lo que indica que se realizó un manejo adecuado y control oportuno durante el proceso de compostación; los contenidos de materia orgánica son altos, lo que se deberían al efecto de los fermentos locales, el tipo de estiércol y los materiales vegetales que se usaron en la elaboración del compost.

Cuadro 24: Análisis de varianza para materia orgánica de los tratamientos de compost

F.V.	GL	SC	CM	F	p-Valor	Signific.
Modelo	5	133,25	26,45	0,90	0,5370	
Bloques	2	10,67	5,33	0,18	0,8387	No signif.
Tratamientos Compost	3	121,58	40,53	1,38	0,3372	No signif.
Error	6	176,67	29,44			
Total	11	308,92				
C.V.	10,55%					

En el (cuadro 25), se presenta las diferencias numéricas entre tratamientos para la variable %Materia orgánica, observándose que el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) presenta el mayor valor de MO: 56%, seguido por el tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con MO: 52,33%, luego se ubica el tratamiento T4 (compost testigo) con MO: 50,0%, finalmente se encuentra el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con %MO: 47,33%. Estos valores variables se deberían al efecto de los fermentos locales y a los materiales vegetales y estiércol utilizado en la elaboración de los tipos de compost.

Cuadro 25: Diferencias entre promedios materia orgánica por tratamientos de compost

tratamientos	promedios materia organica (%)
T2 Compost con fermento plátano	56,00
T1 Compost con fermento naranja	52,33
T4 Compost testigo	50,00
T3 Compost fermento mango	47,33

Los valores del %Materia orgánica por tratamiento, obtenidos en el presente estudio son superiores a los resultados encontrados por Ramírez (2012), en la evaluación de dos tipos de material vegetal, con el uso de bioactivadores en la elaboración de compost, encontró sólo valores M.O. de 21,16% a 25%.

5.3.12. Efecto de los activadores biológicos locales sobre el contenido de carbón orgánico de los tratamientos de compost

En el (cuadro 26), se presenta el análisis de variancia del efecto de los fermentos sobre el contenido Carbón orgánico (%) de los tratamientos de compost, observándose que no se presentan diferencias estadísticas. El coeficiente de variación es 10,55% lo que indica que se realizó un manejo adecuado y control oportuno durante el proceso de compostación; los contenidos de carbón orgánica son altos, y por la relación que guardan siguen la tendencia de los contenidos de materia orgánica.

Cuadro 26: Análisis de varianza para carbón orgánico (%) de los tratamientos de compost

F.V.	GL	SC	CM	F	p-Valor	Signific.
Modelo	5	44,49	8,90	0,90	0,5370	
Bloques	2	3,59	1,79	0,18	0,8387	No signif.
Tratamientos Compost	3	40,90	13,63	1,38	0,3372	No signif.
Error	6	59,43	9,91			
Total	11	103,92				
C.V.	10,55%					

En el (cuadro 27), se presenta las diferencias numéricas entre tratamientos para la variable %Carbón orgánico, observándose que el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) presenta el mayor valor de CO: 32,48%, seguido por el tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con CO: 30,35%, luego se ubica el tratamiento T4 (compost testigo) con CO: 29,0%, finalmente se encuentra el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con %CO: 27,45%. Estos valores variables del %Carbono orgánico, se deberían al efecto de los fermentos locales y a los materiales vegetales utilizados en la elaboración del compost.

Cuadro 27: Diferencias entre promedios carbón orgánico por tratamientos de compost

tratamientos	promedios materia organica (%)
T2 Compost con fermento plátano	32,48
T1 Compost con fermento naranja	30,35
T4 Compost testigo	29,00
T3 Compost fermento mango	27,45

5.3.13. Efecto de los activadores biológicos locales sobre el nitrógeno total de los tratamientos de compost

En el cuadro 28, se presenta el análisis de variancia del efecto de los fermentos sobre el % Nitrógeno total de los tratamientos de compost, observándose que no se presentan diferencias estadísticas. El coeficiente de variación es 19,01% lo que indica que se realizó un manejo adecuado y control oportuno durante el proceso de compostación; los contenidos de Nitrógeno total son los esperados para abonos orgánicos tipo compost.

Cuadro 28: Análisis de varianza para nitrógeno total (%) de los tratamientos de compost

F.V.	GL	SC	CM	F	p-Valor	Signific.
Modelo	5	0,51	0,10	0,53	0,7459	
Bloques	2	0,01	0,01	0,03	0,9703	No signif.
Tratamientos Compost	3	0,50	0,17	0,87	0,5066	No signif.
Error	6	1,16	0,19			
Total	11	1,67				
C.V.	19,01%					

En el Cuadro 29 se presenta las diferencias numéricas entre tratamientos para la variable %Nitrógeno total, observándose que los tratamientos T2 (compost con fermento plátano) y tratamiento T1 (compost con fermento naranja) presentan el mayor valor de N: 2,47%, seguido por el tratamiento T4 (compost testigo) con N: 2,33%, finalmente se ubica el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con N: 1,97%. Estos valores de %Nitrógeno total, son los esperados para abonos orgánicos tipo compost.

Cuadro 29: Diferencias entre promedios nitrógeno total por tratamientos de compos

tratamientos	promedio nitrógeno total (%)
T2 Compost con fermento plátano	2,47
T1 Compost con fermento naranja	2,47
T4 Compost testigo	2,33
T3 Compost fermento mango	1,97

Los valores de %Nitrógeno total obtenidos en el presente estudio, superan a los resultados de Ramírez (2012), en valle, obtuvo valores de nitrógeno en un rango promedio de 1,17 a 1,89%.

Así mismo el estudio realizado por Chilon (2013), en la elaboración del compost altoandino con activadores biológicos en la modalidad de alto relieve, obtuvo %Nitrógeno total en un rango de 0,52 a 0,87% de nitrógeno, menores que los obtenidos en el presente trabajo, sin embargo, obtuvo mejores relaciones C/N para los compost. Al respecto Kolmans y Vásquez (1995) mencionan que un compost con un buen contenido de nitrógeno, debe estar en rango de 1, 5 a 3%.

5.3.14. Efecto de los activadores biológicos locales sobre la relación carbono/nitrógeno de los tratamientos de compost

En el Cuadro 30, se presenta el análisis de variancia del efecto de los fermentos sobre la Relación Carbono/Nitrógeno, de los tratamientos de compost, observándose que no se presentan diferencias estadísticas. El coeficiente de variación es 16,71% lo que indica que se realizó un manejo adecuado y control oportuno durante el proceso de compostación;

los valores de relación Carbono/Nitrógeno, están en el rango de lo que se espera para abonos orgánicos tipo compost.

Cuadro 30: Análisis de varianza para relación c/n de los tratamientos de compost

F.V.	GL	SC	CM	F	p-Valor	Signific.
Modelo	5	9,83	1,97	0,41	0,8289	
Bloques	2	1,71	0,85	0,18	0,8424	No signif.
Tratamientos Compost	3	8,12	2,71	0,56	0,6605	No signif.
Error	6	29,00	4,83			
Total	11	38,83				
C.V.	16,71%					

En el Cuadro 31, se presenta las diferencias numéricas entre tratamientos para la variable Relación Carbono/Nitrógeno, en orden ascendente se observa que el tratamiento T1 (compost con fermento naranja) presenta el menor valor de relación C/N: 12,34, luego se ubica el tratamiento T4 (compost testigo) que presentan una relación C/N: 12,45; seguido por el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con relación C/N: 13,49%, finalmente se ubica el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con una relación C/N: 14,35%. Estos valores están en los rangos esperados para abonos orgánicos del tipo compost. Los valores obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro de los rangos señalados por Ramírez Chilon, E. (2013) y Moreno y Moral (2008).

Cuadro 31: Diferencias entre promedios %nitrógeno total por tratamientos de compost

tratamientos	promedio relacion c/n
T1 Compost con fermento naranja	12,34
T4 Compost testigo	12,45
T2 Compost con fermento plátano	13,49
T3 Compost fermento mango	14,35

Los valores de relación C/N de la presente investigación, guardan relación con lo obtenido por otros investigadores, Ramírez (2012), en la evaluación de tipos de compost, obtuvo valores de la relación C/N en un rango promedio de 13% a 15,1%. Por su parte Chilon (2013) obtuvo relaciones C/N para compost con fermento de quinua de C/N: 10,61 y su testigo presentó un relación C/N: 12,19, superando en calidad a lo obtenido por Ramírez (2012) y los valores obtenidos en el presente estudio.

Al respecto Moreno y Moral (2008), mencionan que el compost, la relación C/N decrece a lo largo del proceso de compostaje sirviendo de indicador del proceso de compostaje, y que un compost maduro presenta una relación C/N entre 12 y 20%; por su parte Chilon (2013) señala que a menor relación C/N el compost es de mejor calidad, recomendando un rango de relación C/N de 8 a 18, para los tipos de compost elaborados en altiplano, valles y Yungas.

5.4. Características de los activadores biológicos locales de yungas

El análisis químico de los fermentos orgánicos, utilizados como activadores biológicos de los tratamientos de compost de la presente investigación, se realizó en el Laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología de la UMSA. Los resultados obtenidos permitieron realizar la caracterización de los fermentos de naranja, plátano y mango, existentes en la región de los Yungas, y que son elaborados tradicionalmente en los Yungas de La Paz.

Estos fermentos orgánicos se obtuvieron del jugo de naranja, de plátano y de mango, siendo fermentados por separado en depósitos herméticamente cerrados por un tiempo de 21 días en un ambiente bajo sombra y oscuro. En este estado quedó listo para su uso como activador biológico del compost, y al ser incorporado a la masa del compost, el fermento proporciona microorganismos como bacterias del tipo azotobacter, hormonas, vitaminas y sustancias mucilaginosas que influyen, ayudan y activan sinérgicamente a los microorganismos nativos del compost, mejorando y dinamizando la descomposición y transformación bioquímica, que ocurre durante la compostación.

De acuerdo al Cuadro 29, los fermentos de naranja, plátano y mango, inicialmente son productos orgánicos muy ácidos, el fermento de plátano presenta un pH: 4; el fermento de mango pH: 3,5; y el fermento de naranja presenta un pH: 3,2; sin embargo durante el proceso de compostación esta acidez es neutralizada y mejorada. Los valores de la conductividad eléctrica de los fermentos son elevados, y el fermento de plátano presenta un valor que supera a los otros, lo que indicaría cierto riesgo de salinidad, el fermento de plátano presenta CE: 4640 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el fermento de naranja presenta una CE: 3510 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y el fermento de mango CE: 2925 $\mu\text{S}/\text{cm}$; también durante la compostación los riesgos de salinidad son atenuados y controlados por los procesos bioquímicos. Respecto al nitrógeno, el fermento de plátano supera ligeramente a los otros fermentos, presentándose los siguientes contenidos, el fermento de plátano N: 755 mg/l, el fermento de naranja N: 526 mg/l, y el fermento de mango presenta N: 512 mg/l. Sobre el contenido de fósforo el fermento de plátano supera ligeramente al fermento de naranja, siendo superiores al fermento de mango, el contenido de fósforo por fermento es el siguiente, el fermento de plátano P: 86 mgPO_4/l , el fermento de naranja presenta un contenido de P: 85 mgPO_4/l , y el fermento de mango presenta P: 73 mgPO_4/l . Sobre el contenido de potasio el fermento de potasio supera a los otros fermentos, que presentan los siguientes

contenidos, el fermento de plátano K: 1929 mg/l, el fermento de naranja K: 1256 mg/l, y el fermento de mango presenta K: 1200 mg/l.

De acuerdo a los resultados de calidad de los compost, aquel tratamiento que recibió como activador biológico al fermento de mango, presentó una mejor calidad y madurez, luego se ubicó el compost con fermento de plátano y luego el compost con fermento de naranja, en todos los casos los tratamientos de compost con activadores biológicos locales superaron en calidad al compost testigo.

Cuadro 32: Análisis químico de los activadores biológicos locales

parametro	metodo	fermento de naranja	fermento de platano	fermento de mango
pH	EPA 150-1	3,2	4,0	3,5
Conductividad eléctrica	EPA 120-1	3510 μ S/cm	4650 μ S/cm	2925 μ S/cm
Nitrógeno Total	EPA-365-2	526 mg/l	755 mg/l	512 mg/l
Fósforo Total	EPA 351-2	85 mgPO ₄ /l	86 mgPO ₄ /l	73 mgPO ₄ /l
Potasio Total	EPA 258-1	1256 mg/l	1929 mg/l	1200 mg/l

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Sobre la influencia de los fermentos locales sobre la temperatura y duración de la Compostación, se observó que la mayor temperatura lo presentó el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con 44,4°C, luego se ubicó el tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con 42,6°C , seguido por el tratamiento T4 (compost testigo) con 41,9°C, y finalmente el tratamiento T3 (compost con activador fermento mango) con una temperatura 40,4°C; estos resultados verifican el efecto de los fermentos locales sobre la intensificación de la actividad de los microorganismos, sin embargo la duración de la compostación fue uniforme para todos los casos.
- Sobre el efecto en la densidad aparente se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Duncan, los tratamientos T2 (compost con fermento plátano) con una Dap 0,62 g/cm³ y el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con Dap 0,60 g/cm³, son estadísticamente iguales, y superaron a los otros tratamientos reflejando un buen proceso de descomposición; luego se ubica el tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con una Dap 0,59 g/cm³, y finalmente el tratamiento T4 (compost testigo) con Dap 0,56 g/cm³, el bajo valor de densidad aparente indica dificultades en la descomposición, verificándose el efecto benéfico de los fermentos sobre el proceso de compostación.
- Sobre el efecto en la densidad real, se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, de acuerdo a Duncan el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con una DR 1,91 g/cm³, superó estadísticamente a los otros tratamientos, luego en segundo lugar se ubicó que tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con una DR 1,85 g/cm³, seguido por el tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con DR 1,81 gr/cc, que superó ligeramente al tratamiento T4 (compost testigo) que tuvo una DR 1,80 g/cm³, lo que refleja un compost inmaduro que requiere mayor tiempo para completar la descomposición.
- Sobre el efecto en la porosidad se observó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. De acuerdo a la prueba se observó 3 grupos, el tratamiento T1 (compost testigo) presenta el mayor valor de porosidad con 68,76%, posiblemente

por presentar mayor cantidad de macroporos; luego están los tratamientos T3 (compost con fermento mango) con 68,35% porosidad, que tendría una mayor cantidad de microporos, y el tratamiento T2 (compost con fermento naranja) con una porosidad 67,46%; finalmente se ubicó el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con una porosidad de 66,65%. Estos valores están en los rangos obtenidos por otras investigaciones.

- Sobre el Contenido de Humedad gravimétrica y volumétrica, no se presentaron diferencias estadísticas, solo diferencias numéricas entre tratamientos, el mayor %Humedad gravimétrica se presentó en el Tratamiento T3 (compost con fermento mango) con 68,76%, seguido del Tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con 68,35%, luego se ubicó el Tratamiento T4 (compost testigo) con 67,46% y el menor valor lo presentó el Tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con 66,55% Humedad gravimétrica; el % de humedad volumétrica, siguió la misma tendencia.
- Sobre el efecto en el color, se determinaron dos grupos, el compost maduro conformado por los Tratamientos T3 (Compost con fermento de mango), y el Tratamiento T2 (compost con fermento de plátano); el grupo de compost en proceso de maduración, conformado por los Tratamientos T1 (compost con fermento de naranja) y el Tratamiento T4 (compost testigo).
- Sobre las propiedades organolépticas olor y aspecto, se establecieron dos grupos, lo de compost en maduración, con los tratamientos T1 (Compost con fermento de naranja), y Tratamiento T2 (compost testigo). El grupo de compost maduro con los tratamientos T3 (Compost con fermento de mango), y Tratamiento T2 (compost con fermento de plátano), calificándolos como compost de excelente calidad.
- Sobre el efecto en el pH se observó diferencias significativas entre tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Duncan se tienen 3 grupos, el tratamiento T3 (compost con fermento mango) que presenta el mayor valor de pH: 7,33 siendo neutro a ligeramente básico, superando a los otros tratamientos; luego están los tratamientos T4 (compost testigo) con pH: 7,07, y el tratamiento T2 (compost fermento de plátano) con pH:7,0, que superan al tratamiento T1 (compost con fermento naranja)

que presenta un pH:6,97. Estos valores de pH son óptimos en relación a los valores de otras investigaciones.

- Sobre el efecto en la Conductividad Eléctrica, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, de acuerdo a la prueba de Duncan el tratamiento T3 (compost con fermento mango) supera estadísticamente a los otros tratamientos presentando una CE: 2,29 mmhos/cm, por lo que no presenta riesgos de salinización, luego se ubican los otros tratamientos que son estadísticamente iguales, tratamiento T4 (compost testigo) con una CE: 3,90 mmhos/cm, el tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con CE: 3,99 mmhos/cm y finalmente el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con una CE: 4,58 mmhos/cm.
- Sobre el efecto en el Contenido de Materia Orgánica (%), no se presentaron diferencias estadísticas, pero si diferencias numéricas, observándose que el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) presenta el mayor valor de MO: 56%, seguido por el tratamiento T1 (compost con fermento naranja) con MO: 52,33%, luego se ubica el tratamiento T4 (compost testigo) con MO: 50,0%, finalmente se encuentra el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con %MO: 47,33%. Estos valores variables se deberían al efecto de los fermentos locales y a los materiales vegetales y estiércol utilizado en la elaboración de los tipos de compost. El contenido de carbono siguió la misma tendencia.
- Sobre el efecto en en el contenido del Nitrógeno, no se presentaron diferencias estadísticas, pero si diferencias numéricamente, el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) y tratamiento T1 (compost con fermento naranja) presentaron los mayores valores con 2,47%N, seguido por el tratamiento T4 (compost testigo) con 2,33%N, finalmente se ubicó el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con 1,97%N. Estos valores están en los rangos esperados para abonos orgánicos tipo compost.
- Sobre el efecto en la **Relación Carbono/Nitrógeno no se** presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. Numéricamente el tratamiento T1 (compost con fermento naranja) presentó el menor valor de relación C/N: 12,34, luego se ubicó el

tratamiento T4 (compost testigo) que presentó una relación C/N: 12,45; seguido por el tratamiento T2 (compost con fermento plátano) con relación C/N: 13,49%, finalmente se ubicó el tratamiento T3 (compost con fermento mango) con una relación C/N: 14,35%. Estos valores están en los rangos esperados para abonos orgánicos del tipo compost.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con la investigación de compostaje en la región de los Yungas de La Paz, evaluando el efecto de otros activadores biológicos locales y restos vegetales tropicales, abundantes en la zona.
- Se recomienda evaluar y comparar el efecto del período seco y período húmedo que se presenta en los Yungas sobre el compostaje.
- Se recomienda el estudio microbiológico del compost para determinar la influencia de los mismos sobre la calidad y tiempo de compostaje.
- Se recomienda evaluar el efecto de la aplicación del compost sobre cultivos tropicales y sobre las propiedades del suelo, en ensayos a campo abierto y también en invernaderos.

7. BIBLIOGRAFIA

Ahumado, C. 2005. Evaluación de los efectos de pilas de compostaje de residuos sólidos. Tesis de grado, Universidad de Bio-Bio, Facultad de Ingeniería Civil. Concepción, Chile. pp 30-31.

Alfonso, J. 2010. Elaboración de abono orgánico a partir de cascarilla de Piñón Centro de Comunicación Agrícola Honduras. En línea, disponible en. fhia@fhia.org.hn

Álvarez, J. 2007. Manual de compostaje para la agricultura ecológica. Consejería de agricultura y pesca, Junta de Andalucía. pp 22-23.

APROLAB, 2007. Apoyo a la formación profesional para la inserción laboral en el Perú, producción de abono orgánico con microorganismos eficaces. Lima, Perú. pp 15-17.

ASEAM. 1999. El Alto. Proyecto de recolección diferenciada y selección de residuos sólidos para el reciclaje en la ciudad de El Alto. Ed. Rev. La Paz–Bolivia. s.e. pp. 32.

Barradas, A. 2009. Gestión integral de residuos sólidos municipales Estado del Arte. Veracruz, México. pp 112-125.

Barrena, R., 2006. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Tesis Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Ingeniería química. Barcelona, España. pp 225-233.

Brutti, L. 2001. Sistemas de Compostaje: Factores críticos del Proceso de Compostaje. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas.

Cabrera F., Madrid F., López R. 2001. Caracterización de los compost de residuos sólidos urbanos de la planta de Villarasa (Huelva), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Murcia, España.

Caicedo, C.; Peralta, E. y Villacrés, E. 2000. Poscosecha y Mercadeo de Chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*). Quito: INIAP, (Boletín Técnico N° 89). Riobamba Ecuador. pp. 38

Carretero, F. 2002. Manual agropecuario del campo. La materia organica. Editorial Quebecor World Bogota S.A. Fundacion hogares juveniles campesinos. Pp.529.

Chilon, E. 1996. Manual de edafología Practicas de campo y laboratorio, 1ra Impresión, Ediciones CIDAT, La Paz, Bolivia. pp 50-110.

Chilon, E. (1997) “Fertilidad de suelos y nutrición de plantas”, 1º Edición, Ediciones CIDAT, La Paz-Bolivia.

Chilon, E., (1997). Guía de investigación-acción elaboración de compost La Paz, Bolivia. pp 2-10.

Chilon, E., (2010) “Compostaje altoandino, alimento al suelo vivo y cambio climático”, reporte investigación publicado en CienciAgro Vol.2, No. 1(2010) 221-227, Junio 2010, www.ibepa.org.

Chilon, E., (2011) "Compostaje altoandino, alimento al suelo vivo y cambio climático", reporte investigación publicado en CienciAgo Vol.2, No. 1(2010) 221-227, Junio 2010, www.ibepa.org.

Chilon, E. 2013. Compostaje altoandino como sustento de la fertilidad del suelo frente al cambio climático. Reporte investigación publicado en CienciaAgo. Vol. 2, N° 1, pp 456-468. www.ibepa.org.

Chilon, E. 2015. Compostaje altoandino seguridad alimentaria cambio climático y biorremediación de suelos. Reporte investigación publicado en CienciaAgo. Vol. 1, N° 1 (2015), pp 43-56. www.ibepa.org.

Delgado, 2002. Comparación de dos métodos de descomposición de estiércol para su utilización en sistemas de suka kollos y pampa. Tesis Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Biología. La Paz, Bolivia. pp 23-46.

Gordillo, F.; Chávez, E., 2010. Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Guayaquil, Ecuador.

Guzmán, B.; Cruz, D; Alvarado, J.; Mollinedo, P. 2013. Cuantificación De Saponinas En Muestras De Cañihua *Chenopodium Pallidicaule* Aellen. Instituto de Investigaciones en Productos Naturales (IIPN), Carrera de Ciencias Químicas, FCPN, UMSA, Campus Universitario UMSA, Edificio FCPN 2º Piso, Calle Andrés Bello y c. 27, Cota Cota, La Paz, Bolivia. Pp 6.

Heredia, C. 2012. Análisis de un sistema de cromatografía de campo para evaluación de calidad de suelos y compost en Empresas Asociadas a ECOFAS. Informe del proyecto de investigación, carrera de ingeniería en ciencias agropecuarias. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolqui, Ecuador. P 109.

Kalil, S. 2007. Seguimiento del proceso de humificación en compost. Universidad Javeriana. Carrera de microbiología industrial Bogotá, Tesis de Grado. Colombia. pp 42-49.

Leal, H., 1990. Compostando (biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos). Ed. A.G.T. Editor S.A. México D.F. 260p.

Mollinedo, Z. 2009. Determinación de calidad de compost elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos en el Municipio de Puerto Mayor Carabuco Provincia Camacho. Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. pp 15-65.

Piere, F.; Rosell, M.; Quiroz, A.; Granda, Y. 2009. Evaluación química y biológica de compost de pulpa de café. Caspito Municipio Andrés Eloy Blanco, Estado de Lara, Venezuela. pp 60-66.

PDM-CARANAVI. 2012-2016. Plan de Desarrollo Municipal de Caranavi, Caranavi, La Paz, Bolivia. Pp145

Ramírez, R. 2012. Evaluación de dos tipos de material vegetal, con el uso de bioactivadores sobre la calidad de compost. Tesis de Ingeniero Agrónomo, carrera de Agronomía, Universidad Católica Boliviana UAC Tiahuanaco. La Paz, Bolivia.

Roben, E. 2002. Manual de Compostaje Para Municipios, Ilustre Municipio de Loja, Loja – Ecuador, Pp. 68.

Robles, F., 2005. Compost doméstico y ecológico. www.webdelhogar.com/jardines/compost

Propiedades del zumo de naranja. Consultado 6 Jun. 2013. Disponible en <http://www.barbastella.org>

www.cocinasalud.com

[propiedades del mango consultado el 30 may.2017](#)

Santibáñez, C. 2002. Diseño y evaluación de una planta piloto de compostaje para el tratamiento de residuos de origen vegetal. Memoria de Químico Ambiental. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias. 93p.

Sztern, D.; Pravia. 1999. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud Organización Mundial de la Salud. pp 90-115.

Toro, F. 2014. Efecto de cuatro tipos de activadores biológicos locales en la calidad del compost en la Comunidad de Corpa, Municipio de Tiahuanaco, Provincia Ingavi, Departamento de La Paz. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, UMSA, La Paz Bolivia. Pp

Velásquez, P. 1997. Evaluación de diferentes tipos de compost utilizando pulpa de café como principal fuente de nutrientes, para diversos cultivos en la zona de Caranavi. Tesis Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. pp 44-75.

Villegas, A. 2002. Aprovechamiento de residuos orgánicos urbanos para la elaboración de compost, con la aplicación de un acelerador orgánico. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de agronomía. La Paz, Bolivia.

ANEXOS

ANEXO 1: DIMENSIONES Y CROQUIS DEL ÁREA EXPERIMENTAL

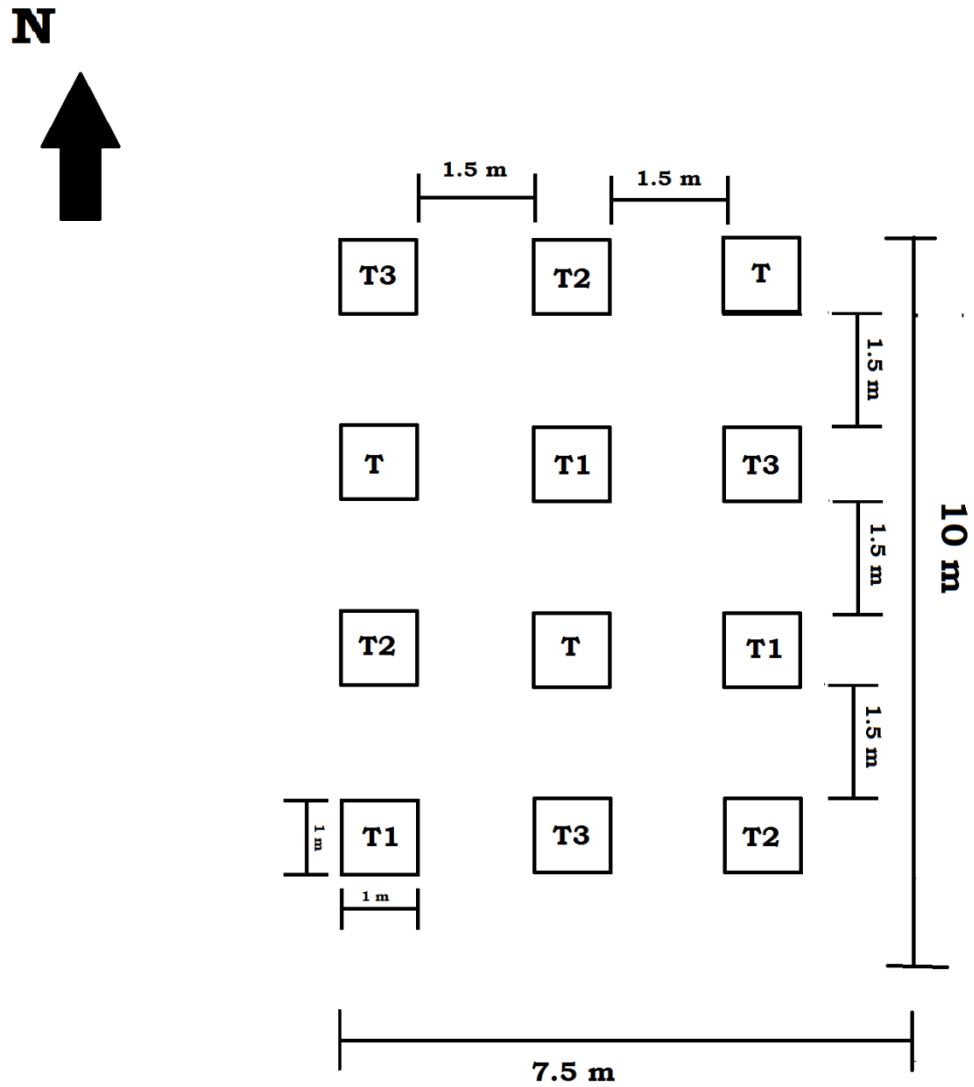


Figura 1 esquema de diseño de la unidad experimental

ANEXO 2:

**INFORME DE ENSAYO EN
EXTRACTOS DE FRUTAS**

ANEXO 3:

**INFORME DE ENSAYO EN
COMPOST MO**

ANEXO 4: REPORTE FOTOGRAFICO
PREPARACION DE RESTOS VEGETALES





MACERADO



GUANO DE MURCIELAGO



ARMADO DE COMPOSTERAS





TOMA DE TEMPERATURA



COSECHA DE COMPOST





TRABAJO EN LABORATORIO





ANEXO 5: ANALISIS ANVA

BLOQUES	COMPOST	DR	BLOQUES	COMPOST	POROSIDAD	BLOQUES	COMPOST	HºGRAVIM.	BLOQUES	COMPOST	HºVOLUM.			
I	A	1,82	I	A	67,58	I	A	52	I	A	30,68	30,68		
I	B	1,85	I	B	67,03	I	B	46	I	B	28,06	28,06		
I	C	1,92	I	C	69,27	I	C	48	I	C	28,32	28,32		
I	D	1,82	I	D	68,13	I	D	50	I	D	29	29		
II	A	1,79	II	A	67,6	II	A	51	II	A	29,58	29,58		
II	B	1,87	II	B	66,31	II	B	53	II	B	33,39	33,39		
II	C	1,93	II	C	67,88	II	C	47	II	C	29,14	29,14		
II	D	1,81	II	D	69,61	II	D	48	II	D	26,4	26,4		
III	A	1,83	III	A	67,21	III	A	53	III	A	31,8	31,8		
III	B	1,84	III	B	66,3	III	B	41	III	B	25,42	25,42		
III	C	1,87	III	C	67,91	III	C	69	III	C	41,4	41,4		
III	D	1,78	III	D	68,54	III	D	52	III	D	29,12	29,12		
BLOQUES	COMPOST	C.E.	BLOQUES	COMPOST	M.O.	BLOQUES	COMPOST	C.O.	BLOQUES	COMPOST	N total	BLOQUES	COMPOST	C/N
I	A	3270	I	A	51	I	A	29,58	I	A	2,3	I	A	12,86
I	B	4680	I	B	59	I	B	34,22	I	B	2,6	I	B	13,16
I	C	2810	I	C	48	I	C	27,84	I	C	1,7	I	C	16,38
I	D	4540	I	D	53	I	D	30,74	I	D	2,5	I	D	12,3
II	A	4450	II	A	49	II	A	28,42	II	A	2,6	II	A	10,93
II	B	4970	II	B	57	II	B	33,06	II	B	2	II	B	16,53
II	C	1596	II	C	53	II	C	30,74	II	C	2,6	II	C	11,82
II	D	3110	II	D	44	II	D	25,52	II	D	2	II	D	12,76
III	A	4270	III	A	57	III	A	33,06	III	A	2,5	III	A	13,22
III	B	4100	III	B	52	III	B	30,16	III	B	2,8	III	B	10,77
III	C	2490	III	C	41	III	C	23,78	III	C	1,6	III	C	14,86
III	D	4060	III	D	53	III	D	30,74	III	D	2,5	III	D	12,3
			DAP/DR	Porosid										
				0,32	67,58									
				0,33	67,03									
				0,31	69,27									
				0,32	68,13									
				0,32	67,60									
				0,34	66,31									
				0,32	67,88									
				0,30	69,61									
				0,33	67,21									
				0,34	66,30									
				0,32	67,91									
				0,31	68,54									

ANEXO 6: COSTO DE PRODUCCION

COSTOS DE PRODUCCION DE MACERADOS

INSUMO	UNIDAD	CANT.	PRECIO	TOTAL /bs	cant. Prod
PLATANO	Unid	25	0,16	4	10 litros
NARANJA	Unid	100	0,4	40	10 litros
MANGO	Unid	100	0,15	15	10 litros
CHANCACA	kilo	2	20	40	10 litros
				99	40 litros

COSTOS DE TRATAMIENTOS

ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
recoleccion de restos vegetales	jornal	5	70	350
picado de restos vegetales	jornal	3	70	210
traslado de estiercol	contrato	1	100	100
elaboracion de macerado de platano	unidad	50	16	0,32
armado de compostera	jornal	2	70	140
riego y volteo de compost	jornal	6	70	420
tamizado	jornal	3	70	210
				1430,32

ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
recoleccion de restos vegetales	jornal	5	70	350
picado de restos vegetales	jornal	3	70	210

traslado de estiercol	contrato	1	100	100
elaboracion de macerado de mango	unidad	100	15	0,15
armado de compostera	jornal	2	70	140
riego y volteo de compost	jornal	6	70	420
tamizado	jornal	3	70	210
				1430,15

ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
recoleccion de restos vegetales	jornal	5	70	350
picado de restos vegetales	jornal	3	70	210
traslado de estiercol	contrato	1	100	100
elaboracion de macerado de naranja	unidad	100	40	0,4
armado de compostera	jornal	2	70	140
riego y volteo de compost	jornal	6	70	420
tamizado	jornal	3	70	210
				1430,4

COSTOS DE PRODUCCION

	Costos de Produccion	Rend/kilos	Beneficio Bruto	B/C
compost + ferm naranja	1230,4	644	1932	1,57
compost + ferm platano	1230,32	736	2208	1,79
compst + ferm mango	1230,15	782	2346	1,91
testigo	1230	770	2310	1,88

BENEFICIO BRUTO

Activador	Tratamiento	Rendimiento	Precio	Beneficio bruto
platano	T1	736	3	2208
naranja	T2	644	3	1932
mango	T3	782	3	2346
testigo	T4	770	3	2310