

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EFFECTO DE CUATRO TIPOS DE ACELERADORES BIOLÓGICOS
EN LA CALIDAD DE COMPOST EMPLEANDO EL MODELO DE
COMPOSTAJE CHINAMPERO SIRDO EN LA COMUNIDAD SANTA
LUCIA, MUNICIPIO GUAYARAMERÍN**

Por:

Vladimir Octavio De La Cruz Miranda

EL ALTO – BOLIVIA

Diciembre, 2024

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EFFECTO DE CUATRO TIPOS DE ACELERADORES BIOLÓGICOS EN LA CALIDAD
DE COMPOST EMPLEADO EL MODELO DE COMPOSTAJE CHINAMPERO SIRDO EN
LA COMUNIDAD SANTA LUCIA, MUNICIPIO GUAYARAMERÍN**

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

Vladimir Octavio De La Cruz Miranda

Asesores:

M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

Tribunal Revisor:

M. Sc. Lic. Ing. Alfredo Ronald Veizaga Medina

Lic. Ing. Teófilo Serrano Canaviri

M. Sc. Lic. Ing. Simar Fernando Catari Condori

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA:

A Dios todo poderoso por sus bendiciones, amor infinito por darme sabiduría y misericordia al darme la vida.

Mi eterna gratitud a mi Padre Octavio De la Cruz Quispe, por haberme apoyado en mi formación académica, a mi Madre Rebeca Emma Miranda Quispe, quien me apoyo incondicionalmente.

A mi Sra. Esposa Karen Nayra Herrera Fernández por la paciencia y comprensión, tolerancia, por su constante apoyo para lograr otra meta más en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por siempre agradecer y por escucharme mis oraciones, darme la oportunidad de llegar hasta aquí y permitir a cumplir un sueño más.

A la Universidad Pública de El Alto y a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Agronómica.

A la Institución Composteras ECOFRACTAL, por la colaboración, apoyo, confianza y la oportunidad de trabajar y contribuir con la sociedad.

A mi asesor M.Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez por su tiempo y por su paciencia invertido en esta investigación.

A los miembros del tribunal por su tiempo invertido en esta investigación por la revisión y enriquecimiento del presente trabajo de investigación: Lic. Ing. Teófilo Serrano Canaviri, M.Sc. Lic. Ing. Alfredo Ronald Veizaga Medina y M.Sc. Lic. Ing. Simar Fernando Catari Condori.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
ABREVIATURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Hipótesis.....	6
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Compostaje.....	7
2.2. Importancia de la materia orgánica en descomposición	8
2.3. Tipos de compostera	8
2.4. Etapas de compostaje	9
2.5. Intervención de organismos en el compostaje	10
2.6. Propiedades biológicas de la compostera.....	12
2.7. Factores ambientales en la descomposición.....	12

2.7.1.	Temperatura	12
2.7.2.	Humedad	13
2.7.3.	Aireación	13
2.7.4.	pH	13
2.7.5.	Relación carbono nitrógeno.....	14
2.7.6.	Propiedades químicas.....	14
2.8.	Sistemas de compostaje	15
2.8.1.	Sistema de compostaje chinampero SIRDO	15
2.8.2.	El Terminó chinampero SIRDO significa	16
2.9.	Aceleradores biológicos en la compostera	16
2.9.1.	Acelerador biológico levadura	17
2.9.2.	Acelerador biológico suero de leche.....	17
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1.	Localización	19
3.1.1.	Ubicación geográfica.....	19
3.1.2.	Características edafoclimáticas.....	20
3.1.2.1.	Clima.....	20
3.1.2.2.	Suelo.....	21
3.1.2.3.	Flora y fauna	21
3.2.	Materiales	22
3.2.1.	Material de laboratorio.....	22
3.2.2.	Material de campo.....	22
3.2.3.	Material de gabinete.....	23
3.3.	Metodología	23
3.3.1.	Desarrollo del ensayo.....	23
3.3.1.1.	Trabajo de campo	23

3.3.1.2.	Prueba de laboratorio	25
3.3.2.	Diseño experimental	25
3.3.3.	Tratamientos de estudio.....	26
3.3.4.	Variables de respuesta.....	26
3.3.4.1.	Características físico-químicas del Compost	26
3.3.4.2.	Rendimiento de compost.....	27
3.3.4.3.	Análisis económico.....	27
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1.	Datos meteorológicos	28
4.2.	Características físicas.....	29
4.2.1.	Temperatura en las pilas de compost.....	29
4.2.2.	Número de días a la primera cosecha en los tratamientos	31
4.2.3.	Densidad aparente.....	33
4.2.4.	Densidad real.....	34
4.2.5.	Contenido de humedad	36
4.2.6.	Reacción de pH.....	37
4.2.7.	Conductividad eléctrica	39
4.2.8.	Porosidad.....	40
4.2.9.	Materia orgánica	42
4.2.10.	Carbono orgánico.....	43
4.2.11.	Nitrógeno total.....	44
4.2.12.	Fósforo total	46
4.2.13.	Potasio total	47
4.2.14.	Calcio total	49
4.2.15.	Magnesio total.....	50
4.2.16.	Sodio total.....	52

4.2.17. Rendimiento.....	53
4.3. Análisis económico	55
5. CONCLUSIONES.....	57
6. RECOMENDACIONES.....	59
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
8. ANEXOS	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Propiedades biológicas	12
Cuadro 2.	Parámetros de pH óptimos.....	14
Cuadro 3.	Características químicas del compost.....	15
Cuadro 4.	Análisis de Varianza de la variable días de la primera cosecha	32
Cuadro 5.	Análisis de Varianza de la variable densidad aparente	33
Cuadro 6.	Análisis de Varianza de la variable densidad real.....	35
Cuadro 7.	Análisis de Varianza de la variable contenido de humedad.....	36
Cuadro 8.	Análisis de Varianza de la variable reacción de pH.....	37
Cuadro 9.	Análisis de Varianza de la variable conductividad eléctrica	39
Cuadro 10.	Análisis de Varianza de la variable porosidad	40
Cuadro 11.	Análisis de Varianza de la variable materia orgánica	42
Cuadro 12.	Análisis de Varianza de la variable carbono orgánico.....	43
Cuadro 13.	Análisis de Varianza de la variable nitrógeno total	45
Cuadro 14.	Análisis de Varianza de la variable fósforo total	46
Cuadro 15.	Análisis de Varianza de la variable potasio total.....	48
Cuadro 16.	Análisis de Varianza de la variable calcio total	49
Cuadro 17.	Análisis de Varianza de la variable magnesio total.....	51
Cuadro 18.	Análisis de Varianza de la variable sodio total.....	52
Cuadro 19.	Análisis de Varianza de la variable rendimiento	54
Cuadro 20.	Costos de producción de los tratamientos.....	55
Cuadro 21.	Relación Beneficio/Costo de los tratamientos	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación geográfica.....	19
Figura 2.	Departamento de Beni	20
Figura 3.	Temperatura promedio externo habitual (Estación meteorológica de Apolo, 2024)	29
Figura 4.	Promedio de temperatura diaria entre tratamientos.....	31
Figura 5.	Prueba de media de Duncan al 5% de la variable días de la primera cosecha 33	
Figura 6.	Promedios de la variable densidad aparente.....	34
Figura 7.	Promedios de la variable densidad real.....	35
Figura 8.	Prueba de media de Duncan al 5% de la variable contenido de humedad	37
Figura 9.	Prueba de media de Duncan al 5% de la variable pH	38
Figura 10.	Prueba de media de Duncan al 5% de la variable conductividad eléctrica	40
Figura 11.	Promedios de la variable porosidad	41
Figura 12.	Promedios de la variable materia orgánica.....	43
Figura 13.	Prueba de media de Duncan al 5% de la variable carbono orgánico.....	44
Figura 14.	Promedios de la variable nitrógeno total.....	46
Figura 15.	Prueba de media de Duncan al 5% de la variable fósforo total.....	47
Figura 16.	Promedios de la variable potasio total.....	49
Figura 17.	Prueba de media de Duncan al 5% de la variable calcio total	50
Figura 18.	Prueba de media de Duncan al 5% de la variable magnesio total	52
Figura 19.	Promedios de la variable sodio total.....	53
Figura 20.	Prueba de media de Duncan al 5% de la variable rendimiento.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Resultados de análisis de la muestra T5R3	68
Anexo 2.	Resultados de análisis de la muestra T5R2	69
Anexo 3.	Resultados de análisis de la muestra T5R1	70
Anexo 4.	Resultados de análisis de la muestra T4R3	71
Anexo 5.	Resultados de análisis de la muestra T4R2	72
Anexo 6.	Resultados de análisis de la muestra T4R1	73
Anexo 7.	Resultados de análisis de la muestra T3R3	74
Anexo 8.	Resultados de análisis de la muestra T3R2	75
Anexo 9.	Resultados de análisis de la muestra T3R1	76
Anexo 10.	Resultados de análisis de la muestra T2R3	77
Anexo 11.	Resultados de análisis de la muestra T2R2	78
Anexo 12.	Resultados de análisis de la muestra T2R1	79
Anexo 13.	Resultados de análisis de la muestra T1R3	80
Anexo 14.	Resultados de análisis de la muestra T1R2	81
Anexo 15.	Resultados de análisis de la muestra T1R1	82
Anexo 16.	Croquis del experimento	83
Anexo 17.	Costos de producción.....	84
Anexo 18.	Pesaje de materia orgánica.....	85
Anexo 19.	Preparado de activadores biológicos.....	86
Anexo 20.	Mezcla de materia orgánica de los tratamientos.....	86
Anexo 21.	Armado de composteras SIRDO	87
Anexo 22.	Adición de activadores biológicos.....	87
Anexo 23.	Instalación del área experimental.....	87

ABREVIATURAS

1. ml = Mili litro
2. mm = Milímetro
3. B/C = Beneficio costo
4. msnm = Metros sobre el nivel del mar
5. °C = Grados Centígrados
6. % = Porcentaje
7. N = Nitrógeno
8. P = Fósforo
9. K = Potasio
10. ABT = Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra
11. ABL = Activadores Biológicos Locales

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Comunidad Santa Lucía, Municipio de Guayaramerín, durante la gestión 2023. El objetivo general fue evaluar el efecto de cuatro tipos de aceleradores biológicos en el proceso de compostaje, utilizando el modelo de compostera chinampero SIRDO. Para este propósito, se emplearon residuos orgánicos, incluyendo restos de materia orgánica de cocina, rastrojos de cosecha y estiércol de bovino. Asimismo, para el experimento se utilizó cuatro tipos de tratamiento y un testigo: (T) Testigo, agua; (T1) yogurt; (T2) levadura; (T3) suero de leche; (T4) bacteria chinampera. Por otra parte, en la investigación se implementó un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA). Se consideraron variables de respuesta como las características físico-químicas del compost, el rendimiento del compost y el análisis económico. El proceso de análisis se basó en el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de media de Duncan al 5%. Las variables evaluadas incluyeron la temperatura, el número de días hasta la primera cosecha, la densidad aparente, la densidad real, el contenido de humedad, la reacción de pH, la conductividad eléctrica, la porosidad, la materia orgánica, el carbono orgánico, los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, rendimiento y la relación Beneficio costo (B/C). Entre los hallazgos más importantes se tiene que los cuatro tratamientos (yogurt, levadura, suero de leche y bacteria chinampera) mostraron diferencias significativas, especialmente en la temperatura interna del compost. El tratamiento con bacteria chinampera (T4) tuvo la mayor temperatura (60°C) y aceleró el proceso de compostaje, reduciendo el tiempo hasta la primera cosecha a 32 días comparado con los otros tratamientos y el testigo. La densidad aparente fue homogénea entre los tratamientos, indicando descomposición uniforme bajo el sistema SIRDO. El contenido de humedad fue mayor en T3 (48,55%) debido a la actividad microbiana. Variaciones en pH y conductividad eléctrica se observaron, con el T4 teniendo el pH más alto y T2 la mayor conductividad eléctrica. La porosidad fue mayor en T2, mientras que T3 tuvo el mayor porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico. En cuanto a los nutrientes, Testigo presentó los mayores porcentajes de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, mientras que T3 tuvo más magnesio y el T4 más sodio. El rendimiento de compost fue mayor en T4, y el análisis económico mostró que T4 ofrece una relación beneficio/costo superior (2,41Bs) debido a la rápida descomposición y mayor número de cosechas en menor tiempo. En conclusión, T4 (bacteria chinampera) demostró ser el tratamiento más eficiente en rendimiento y económicamente viable bajo el modelo SIRDO.

ABSTRACT

The present research work was carried out in the Santa Lucía Community, Municipality of Guayaramerín, during the 2023 administration. The general objective was to evaluate the effect of four types of biological accelerators in the composting process, using the Chinampero SIRDO composter model. For this purpose, organic waste was used, including remains of kitchen organic matter, crop stubble and bovine manure. Likewise, for the experiment, four types of treatment and a control were used; (T) Witness, water. (T1) yogurtt. (T2) yeast. (T3) whey. (T4) chinampera bacteria. On the other hand, a randomized complete block experimental design (DBCA) was implemented in the research. Response variables such as the physical-chemical characteristics of the compost, the yield of the compost and the economic analysis were considered. The analysis process was based on analysis of variance (ANVA) and Duncan's mean test at 5%. The variables evaluated included temperature, number of days until first harvest, apparent density, true density, moisture content, pH reaction, electrical conductivity, porosity, organic matter, organic carbon, levels of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, yield and benefit cost ratio (B/C). Among the most important findings is that the four treatments (yogurtt, yeast, whey and chinampera bacteria) showed significant differences, especially in the internal temperature of the compost. The treatment with chinampera bacteria (T4) had the highest temperature (60°C) and accelerated the composting process, reducing the time until the first harvest to 32 days compared to the other treatments and the control. The apparent density was homogeneous between treatments, indicating uniform decomposition under the SIRDO system. The moisture content was higher in T3 (48.55%) due to microbial activity. Variations in pH and electrical conductivity were observed, with T4 having the highest pH and T2 the highest electrical conductivity. Porosity was highest in T2, while T3 had the highest percentage of organic matter and organic carbon. Regarding nutrients, Testigo presented the highest percentages of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium, while T3 had more magnesium and T4 more sodium. The compost yield was higher in T4, and the economic analysis showed that T4 offers a higher benefit/cost ratio (2.41Bs) due to rapid decomposition and a greater number of harvests in less time. In conclusion, T4 (chinampera bacteria) proved to be the most efficient in performance and economically viable treatment under the SIRDO model.

1. INTRODUCCIÓN

Lograr viabilidad en la agricultura moderna es centrar los esfuerzos en incrementar los rendimientos y productividad que asegure el crecimiento económico, pero que logre mantener los recursos naturales para las futuras generaciones.

El manejo de los recursos naturales, específicamente el suelo, es un factor clave para asegurar el incremento de la productividad agrícola, de acuerdo a Docampo (2012), el suelo es la capa de materiales minerales y orgánicos que cubre la superficie terrestre y en la cual las plantas se desarrollan y toman los alimentos necesarios. Está formado por sustancias en estado sólido, líquido y gaseoso. La parte sólida es en su mayor parte mineral, formada por los residuos de la descomposición de la roca madre. Sin embargo, comprende siempre una fracción orgánica de una importancia esencial para la productividad del suelo. Esa fracción orgánica está constituida de plantas y animales vivos o muertos, así como de sus productos.

El suelo entonces, es un organismo dinámico, un organismo “vivo” sujeto a permanentes cambios y evolución naturales. Cuando el equilibrio natural no es perturbado, los procesos se desarrollan con un ritmo tal que las remociones y modificaciones se equilibran en términos generales y finalizan con la formación de suelo nuevo, al cual la naturaleza le suministra procesos de defensa contra la erosión y degradación. Cuando el hombre comienza a explotar el suelo en su provecho, quita la vegetación protectora y destruye con el laboreo la superficie del terreno, eliminando así las barreras naturales contra la erosión. Por un lado, el proceso erosivo adquiere velocidad y se torna extremadamente perjudicial; por otro lado, el proceso natural de formación del suelo sigue su lenta evolución.

Según Chilon (2010), la provisión continua de nutrientes del suelo a la planta, para lograr una producción agrícola sostenible, solo es posible si se retorna al suelo la materia orgánica y los nutrientes que se extraen con las cosechas. Sin embargo, esta devolución debe realizarse con la aplicación de abonos orgánicos, la aplicación indiscriminada de fertilizantes químicos degrada las propiedades de los suelos, provocan salinidad y extinción de los microorganismos benéficos, responsables de la dinámica y el ciclo de nutrientes en el suelo.

El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola (Román *et al*, 2013). Se trata de una

técnica mediante la cual se crean las condiciones necesarias para las que a partir de residuos orgánicos los organismos descomponedores fabriquen un abono de elevada calidad.

1.1. Antecedentes

En referencia a la aplicación de aceleradores biológicos para la producción de compost se realizaron las siguientes investigaciones.

Un primer trabajo corresponde a Loayza (2020), quien realizó la investigación de grado “Incorporación de tres aceleradores biológicos en residuos de mercados, parques y jardines”, donde se evaluó la calidad, tiempo y rendimiento del compost elaborado a partir de residuos orgánicos de mercados, parques y jardines con la incorporación de tres aceleradores biológicos (microorganismos eficientes, bazofia de camal y vísceras de pescado). Los resultados obtenidos durante el proceso de compostaje, evidenciaron que las vísceras de pescado (T3) tuvieron un comportamiento distinto a los demás tratamientos. Asimismo, se concluyó que el uso de los aceleradores mejora la calidad tiempo y rendimiento del compost, siendo los mejores, los microorganismos eficientes (T1) y bazofia de camal (T2).

Un segundo trabajo de investigación fue realizado por Lescano (2015), cuyo trabajo de investigación está referida al “Efecto de tres aceleradores de degradación en el tiempo de compostaje utilizando residuos sólidos orgánicos urbanos en Huanchaco, Trujillo”, donde se aceleró el proceso de compostaje de residuos urbanos orgánicos inoculando tres aceleradores de degradación, aplicando cada uno de los tratamientos en las pilas de material hechas a base de los residuos mencionados. Los resultados indicaron que los inóculos fueron útiles para acelerar el proceso de compostaje con residuos sólidos urbanos, reduciendo los tiempos de cosecha de compost hasta el 22% del total de tiempo que demoró la cosecha de compost.

Asimismo Toro (2014), realizó el trabajo de investigación “Efecto de cuatro tipos de activadores biológicos locales en la calidad del compost en la comunidad de Corpa municipio de Tiahuanaco, provincia Ingavi del departamento de La Paz”, donde el estudio del efecto de cuatro tipos de activadores biológicos locales (yogurt, suero de leche, levadura y fermento de alfalfa). Características físicas del compost de todos los tratamientos fueron heterogéneos, y el tiempo de compostaje ha variado de 81 a 91 días según tratamiento.

Otro trabajo de investigación fue realizado por Naranjo (2013), denominado “Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost”, donde se empleó Compost Treet (P2) como aporte de microorganismos benéficos, para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost, se alcanzaron los mejores resultados, al reducirse el tiempo a la cosecha y obtener compost de mejor calidad, obteniéndose en los tratamientos de éste producto: menor tiempo a la obtención del compost. La aplicación de los microorganismos en la dosis de 30 cc/10 l de agua (D3), causó el mejor efecto en el proceso de descomposición, acelerando el tiempo a la cosecha del compost y obteniéndose mejor calidad en su contenido nutricional.

Mollinedo (2009), realizó el trabajo de investigación “Determinación de la calidad de compost, elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos en el municipio de Puerto Mayor de Carabuco, provincia Camacho”, donde para la investigación se utilizaron residuos sólidos orgánicos como ser: Residuos del lago (chanco), estiércoles (vacuno y ovino), residuos de forraje (avena y cebada) y residuos de cosecha (broza de tarwi y haba) como materia prima para el proceso de compostaje existen diferencias significativas en las mezclas de los cuatro tratamientos en el proceso de compostaje, la adecuada mezcla de esta investigación fue el tratamiento T3, con la siguiente composición, Residuos de forraje 40%, Mezcla de estiércol de bovino y ovino 30%, Residuos del lago 30%, que mejores resultados mostró, logrando obtener en un menor tiempo y motivo por el cual mostró también un mejor rendimiento en comparación de los demás tratamientos. El T4 de 58% residuos del lago 24% de residuos de cosecha y 18% de estiércol de bovino, resultó ser una de las mezclas que presentó una baja calidad.

Otra investigación corresponde a Moreno y Oñate (2001), denominado “Producción de un inóculo acelerador de compostaje a partir de bacterias lipolíticas y proteolíticas aisladas de un tren de tratamiento de residuos en una industria láctea”, donde con el fin de disminuir el tiempo de compostaje se preparó un inóculo mesófilico a partir de bacterias nativas aisladas. Estos organismos presentaron alta efectividad en la producción de enzimas y se inoculó en campo para observar dicha efectividad y aceleración de compostaje, donde en 6 semanas ha madurado del compost en campo, demostrando su efectividad en disminuir el tiempo de compostaje.

1.2. Planteamiento del problema

El rendimiento en la producción de alimentos, depende de la sostenibilidad del entorno productivo, siendo que gran parte de dicha sostenibilidad se basa en el uso y aplicación de abono orgánicos; se puede disponer abonos orgánicos de alta riqueza nutricional empleando el compostaje.

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.

La comunidad de Santa Lucia del municipio de Guayaramerín, es una localidad productora de productos agropecuarios y forestales, cuyos rendimientos se ven afectados por la incidencia de plagas y enfermedades, en cuyo control emplean indiscriminadamente plaguicidas no permitidos, los cuales no solo vienen degradando los ecosistemas, si no la fertilidad y biodiversidad del suelo por el uso de herbicidas; dicha degradación de suelos se viene acentuando por efecto de las lluvias intensas y recurrentes, incrementado la erosión de los suelos y al no tener cobertura vegetal que proteja al suelo este de acelera exponencialmente.

Por otro lado, la mala práctica de cultivar monocultivos como el arroz y yuca por gestiones prolongadas también incide en la degradación del suelo. Este efecto de degradación no tiene una gestión que proteja y/o restaure el mismo. Por lo que se requiere la generación de un plan gestión que restaure la degradación del suelo, incorporando vegetación apta y nutriendo el suelo, con técnicas de abonado o compostaje entre otras. De allí que resulta importante optimizar el tiempo, de mejorar la calidad y rendimiento del proceso de compostaje, que involucre la incorporación de aceleradores biológicos y se emplee sistemas de compostaje modernos y rendidores, como lo que pretende la presente investigación. Por lo que, dado los antecedentes, se realiza el planteamiento del problema de la investigación:

1.3. Justificación

El efecto del uso de los aceleradores biológicos en el proceso de compostaje, debe permitir acelerar el proceso de compostaje, además de mejorar su calidad y rendimiento permitiendo de esta manera la obtención de materia orgánica para incorporar en los suelos de la comunidad de Santa Lucia que tiene procesos de degradación.

El aumento de la degradación de los ecosistemas de la comunidad constituye una preocupación importante respecto al desarrollo sostenible y esta será más urgente en el futuro, puesto que la demanda humana de servicios ecológicos va en aumento. El aumento de la vulnerabilidad y fragilidad ambiental han sido considerablemente altos en las últimas décadas en Bolivia, explicado en buena medida por la deforestación y el deterioro de cuencas con alta fragilidad y por ende la degradación del suelo.

La sostenibilidad y el incremento de la fertilidad del suelo es aún un reto para la producción sostenible, por lo que es necesario difundir tecnologías de mejoramiento de suelos en la agricultura.

Por lo que, la investigación contribuirá ampliar el conocimiento sobre la producción de compost empleando cuatro aceleradores biológicos bajo el modelo de compostaje chinampero SIRDO, que viene siendo empleado en México con gran éxito, ya que permite incrementar en rendimiento en la producción de compost en menor tiempo comparado con otros sistemas de compostaje, el sistema no produce malos olores ni lixiviados, por lo que puede ser empleado incluso a niveles residenciales. A esto se añaden los impactos positivos del empleo de esta tecnología en la producción agropecuaria y forestal de comunidad Santa Lucia y el municipio de Guayaramerín. El efecto inmediato impactará positivamente en el incremento de la producción agrícola y en la economía comunal y familiar, favoreciendo la seguridad alimentaria.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de cuatro tipos de aceleradores biológicos en el proceso de compostaje empleando el modelo de compostaje chipampero SIRDO en la comunidad Santa Lucia, municipio Guayaramerín.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar las características físico-químicas del compost en función a cuatro activadores biológicos.
- Determinar el tiempo de producción de compost a la primera extracción de los cuatro activadores biológicos.
- Realizar un análisis económico preliminar del proceso de compostaje bajo el modelo SIRDO con el empleo de los aceleradores biológicos.

1.5. Hipótesis

- Los cuatro aceleradores biológicos empleando el sistema de compostaje chinampero SIRDO producen la mismas características físico-químicas en el compost.
- No existen diferencias significativas en el tiempo de producción a la primera extracción de compost en función a cuatro activadores biológicos.
- El uso de aceleradores biológicos en el proceso de compostaje bajo el modelo SIRDO reducirá significativamente el costo total del compostaje y aumentará su viabilidad económica.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Compostaje

Haug (1993), describe el compostaje como una materia orgánica que se ha estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo, libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos o vectores, que puede ser manejada y almacenada sin ocasionar molestias y que es beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas.

El destino final del compost limita así los materiales a los que realizarle el proceso de compostaje y deben cumplir unos requisitos y pasar unos procesos que posibiliten y generen finalmente un producto de calidad, con características que resulten de aplicar un tratamiento adecuado con el medio ambiente acorde con una gestión racional de los residuos y que tenga como objetivo fabricar un producto destinado para su uso en el suelo o como sustrato. La característica principal del compost es la obtención de un producto que aporta una serie de efectos beneficiosos para el suelo y los cultivos (Álvarez, 2006).

Asimismo, Tiquia (2005) señala que todos los organismos vegetales y animales, en presencia de humedad y con la necesaria intervención de las poblaciones microbianas se descomponen, es decir, degradan moléculas complejas a moléculas más sencillas, liberando agua, nutrientes y CO₂. Por lo anterior la descomposición es un proceso natural, sin embargo, el compostaje es una forma especial de descomposición, manejada o inducida por el hombre.

La palabra compost procede del latín *compositum* que significa “reunión de diferentes materiales”, es el producto resultante de la maduración y puede ser aprovechado como abono orgánico o como sustrato (Gonzalez *et al*, 2018). El mismo autor define el compost producto de la fermentación aerobia de una mezcla de materiales orgánicos en condiciones específicas de humedad, aireación, temperatura y nutrientes. también puede definirse como un proceso biooxidativo y controlado en el que intervienen una gran diversidad de microorganismos, que requiere una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en su composición y homogéneos en cuanto a su tamaño y básicamente en estado sólido, dando al final como producto de los diferentes procesos de transformación dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada, rica en poblaciones

microbianas útiles, en sustancias húmicas y en bioactivadores de la fisiología vegetal.

Subtitulo

2.2. Importancia de la materia orgánica en descomposición

Román *et al.* (2013), menciona que la materia orgánica es uno de los más importantes para la composición del suelo que proviene de la descomposición de residuos de animales, plantas y microorganismos presentes en el suelo o de materiales fuera del predio. Con la mayor descomposición donde radica su importancia, en aportar materia orgánica en el suelo.

Chino (2007), señala que el compost es una manera de aprovechar de forma más optimizada el estiércol producido por los animales, los restos de alimentos no consumidos por ellos, los restos vegetales de cultivos no aprovechados en su alimentación y las hierbas, arbustos y árboles nativos que se tienen en distintas regiones. Mamani (2001), sugiere el uso del abono natural o compost, que tiene la propiedad de liberar paulatinamente los elementos nutritivos en proporciones considerables, incrementando naturalmente la fertilidad del suelo.

El compost es la material orgánico que se obtiene como producto de la acción microbiana controlada sobre residuos orgánicos como hojas, rastrojos, cascaras, residuos orgánicos caseras, subproductos maderables (aserrín y virutas), ramas, estiércoles, y residuos industriales de origen orgánico, la manipulación en forma separada o mezcladas, en presencia de humedad y oxígeno se forman pilas, que por acción de los microorganismos dará origen a un material (en materia orgánica) de gran utilidad para los suelos agrícolas ya que mejora la estructura y la fertilidad de estos (Callisaya, 2019).

2.3. Tipos de compostera

La elaboración de compost está determinada por las características y factores ecológicos del lugar; clima, temperatura, humedad, los insumos vegetales de la zona donde se elaborará la compostera. En el caso de zonas húmedas subtropicales, se recomienda la modalidad de compostaje alto relieve, 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).

2.4. Etapas de compostaje

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. La oxidación de materia orgánica mediante distintas bacterias se obtiene aparte de compost, células nuevas, CO₂, H₂O, NH₃, SO₄ y calor, de la siguiente forma: Materia orgánica + O₂ $\xrightarrow[\text{aerobias}]{\text{bacterias}}$ Compost + Células nuevas + CO₂ + H₂O + NH₃ + SO₄ + Calor y durante la degradación existe 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, entre otros, materiales húmicos, esencialmente estables y de difícil o muy lenta descomposición (Barradas, 2009).

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

- a) **Etapa mesófila:** Cuando el material comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días, la temperatura aumenta hasta los 45 °C. debido a la actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor, la descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y por tanto el pH puede descender hasta cerca de 4,0 a 4,5. Esta etapa dura pocos días (dos y ocho días).
- b) **Etapa termófila:** Cuando el material aumenta de temperatura mayores de 45 °C. los microorganismos se desarrollan a temperaturas medias los microorganismos mesófilos, son reemplazados por microorganismos que crecen a mayores temperaturas, llamados bacterias termófilas, actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio se vuelve alcalino. En especial, a partir de los 60 °C. aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta etapa tiene una duración desde unos días hasta meses, según el material en descomposición y las condiciones climáticas de distintas zonas. Esta etapa también denominado etapa de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen

fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* En esta etapa las temperaturas llegan por encima de los 55 °C. eliminando los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas.

- c) **Etapa mesófila:** También llamado etapa de enfriamiento las fuentes de carbono y en especial el nitrógeno en el material de compostaje, la temperatura desciende hasta los 40 – 45 °C. en esta etapa, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar los 40 °C. los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, manteniéndose ligeramente alcalino. Esta etapa de enfriamiento requiere de varias semanas.
- d) **Etapa de maduración:** Es un periodo que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y proliferación de compuestos carbonados para la formación de ácido húmicos y fúlvicos.

2.5. Intervención de organismos en el compostaje

Los microorganismos como ser las bacterias, actinomicetos y hongos, especies verdaderamente que 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 en la descomposición, Constituyéndose un sistema eficiente en diferentes niveles de la microflora, esencial para el funcionamiento del proceso de compostaje (Miller, 2004), teniendo los siguientes niveles:

- a) **Nivel de consumidores primarios:** Callisaya (2019), indica que son las que consumen materia orgánica muerta como ser:
- **Bacterias:** Organismos más pequeños, en mayor cantidad son primeros en comenzar el trabajo, desempeñando el papel más destacado en la descomposición de la materia, 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. Asimismo, Alexander (1981), indica que la población de bacterias, según

estimaciones por microscopio, dan valores de 10^8 a 10^{10} por gramo de suelo. Por lo tanto, con las técnicas de enumeración de organismos viables, se obtiene no más del 10% y hasta menos del 1% de estos valores; una proporción del 1 al 10%, aproxima el porcentaje de la cifra total que se observa por métodos del cultivo.

- **Hongos:** Menores en número que las bacterias o actinomicetos, pero con mayor masa. responsables de descomponer polímeros vegetales complejos, secos, ácidos o pobres en nitrógeno para ser descompuestos por bacterias, permitiendo continuar el proceso de descomposición en mayor parte de dichos polímeros degradados. Viven en las capas externas del compost cuando la temperatura es alta, creciendo en forma de filamentos, formando colonias blancas o grises de textura aterciopelada en la superficie de la.
 - **Macroorganismos fermentos:** Son organismos visibles que consumen la materia orgánica directamente, como ser lombrices, moscas, ácaros de fermentación, cochinillas, caracoles, limacos etc. Son más activos en las etapas finales de la composta.
 - **Protozoos:** Son animales unicelulares encontrándose en las gotas de agua presentes en el residuo a compostar, su importancia en la descomposición es muy escasa, pero obtienen su alimento de la materia orgánica de la misma manera que las bacterias, aunque pueden actuar también como consumidores secundarios ingiriendo hongos y bacterias.
- b) Nivel de consumidores secundarios:** Representan a los macroorganismos que se alimentan de los consumidores primarios. Agrupando podemos citar: tijeretas, ácaros de molde, rotíferos, protozoos, escarabajos, nemátodos y gusanos planos de tierra (Callisaya, 2019).
- c) Nivel de consumidores terciarios:** Son los que se alimentan de la materia orgánica viva, como de los consumidores primarios y secundarios. En este nivel encontramos arañas, pseudo escorpiones, ácaros predadores, ciempiés, hormigas y escarabajos. (Callisaya, 2019).

2.6. Propiedades biológicas de la compostera

Las propiedades biológicas de la compostera son fundamentales para entender el proceso de compostaje y cómo se convierte la materia orgánica en compost. Aquí se describen algunas de las propiedades biológicas clave:

Cuadro 1. Propiedades biológicas

PROPIEDADES BIOLÓGICAS	CANTIDAD BIOLÓGICA
Bacterias totales	133 x 10 ⁷ (U.F.C./g)
Actinomicetos	41x10 ⁴ (U.F.C./g)
Hongos	48x10 ³ (U.F.C./g)
Actividad biológica global	0,93u g/ml
Germinación	Inferior al 8%

Fuente: Koni (2007)

El cuadro 1, muestra un compost que es biológicamente activo con una alta concentración de bacterias y una presencia significativa de Actinomycetos y hongos, lo que sugiere un buen proceso de descomposición. La alta actividad biológica global refuerza esta idea. Sin embargo, la baja tasa de germinación podría indicar que el compost aún no está completamente maduro o que tiene compuestos inhibidores de la germinación que deben ser tratados antes de su uso en la siembra.

2.7. Factores ambientales en la descomposición

2.7.1. Temperatura

El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica, para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente. Es deseable que la temperatura no disminuya demasiado rápido, ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización (Fundesyram, 2016). Un cambio en la temperatura, causará la alteración en la composición de la especie de la flora activa y al mismo tiempo tendrá una influencia directa sobre cada organismo de la comunidad. El metabolismo microbiano y por ende la mineralización de carbono, son menores a temperaturas bajas (Alexander, 1981).

2.7.2. Humedad

La humedad óptima para el proceso de compostaje y el crecimiento bacteriano, el contenido óptimo es de un 50 % a un 60 % en relación con el peso de la mezcla, cuando la humedad está debajo de 30%. Si está muy seco, la descomposición es muy lenta (disminuye la actividad de los microorganismos). Si está muy húmedo falta oxígeno y puede haber putrefacción de los materiales, ya que el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico; sin oxígeno (Silva *et al.*, 2000).

2.7.3. Aireación

Conjuntamente con la relación C/N uno de los principales parámetros en controlar los procesos de compostaje aeróbico. Las consecuencias de una mala aireación la concentración de oxígeno alrededor de las partículas baja a valores inferiores al 20% (concentración normal en el aire), se producen condiciones favorables para el inicio de las fermentaciones y las respiraciones anaeróbicas (Robles, 2015).

2.7.4. pH

Román *et al.* (2013), indican (Cuadro 2) que el pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4,5 a 8,5). En las primeras etapas, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase Termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, finalmente para estabilizarse en valores cercanos al neutro tal como se observa en el cuadro 2. El mismo autor menciona el pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0 – 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5 – 8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2.

Cuadro 2. Parámetros de pH óptimos

pH	CAUSAS ASOCIADAS		SOLUCIONES
< 4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C: N
4,5 – 8,5 RANGO IDEAL			
> 8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C: N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoniaco alcalinizado el medio.	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Fuente: Roman *et al.* (2013)

2.7.5. Relación carbono nitrógeno

Para Sztern (1991), La relación debe mantenerse entre 25 a 35 partes de carbono por 1 parte de nitrógeno. Si la relación C/N es muy elevada disminuye la actividad biológica; si es muy baja no afecta al proceso de compostaje, pero se pierde nitrógeno en forma de amoniaco. Asimismo, la relación C/N, expresa las unidades de Carbono por unidades de Nitrógeno que contiene un material. la relación C/N óptima, es decir de material "crudo o fresco" a compostar es de 25 unidades de Carbono por una unidad de Nitrógeno, $C (25) / N (1) = 25$.

Por otra parte, según Trivierge y Seito (2005), en términos generales, una relación C/N inicial de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje. Si la relación C/N está en el orden de 10 nos indica que el material tiene relativamente más Nitrógeno. Si la relación es de por ejemplo 40, manifiesta que el material tiene relativamente más Carbono.

2.7.6. Propiedades químicas

Alfonso (2010), menciona el compost puede tener las siguientes características químicas variando de acuerdo a la procedencia de los materiales y zonas geográficas:

Cuadro 3. Características químicas del compost

CARACTERÍSTICAS	% DE VALORES
M.O.	35-40%
C/N	14
Humedad	40-45%
C.I.C.	167meq/100g
Nitrógeno	2-2,6
Fósforo	1,5-2%
Potasio (K)	1,50%
Calcio (Ca)	2%
Magnesio	1-1,3%

Fuente: Alfonso (2010)

2.8. Sistemas de compostaje

Según Costa *et al.* (1991), existen dos grandes sistemas de compostaje para el tratamiento de un mismo tipo de residuo: Los sistemas abiertos (en pilas al aire) y los sistemas cerrados (en fermentadores), en función de si las condiciones en las que se lleva a cabo el proceso de compostaje son aerobias o anaerobias.

Para, Bueno (2008), hace referencia a que los distintos sistemas de compostaje pretenden conseguir una aireación óptima y llegar a las temperaturas termófilas. Se debe de tratar de eliminar los microorganismos patógenos durante el proceso, ya que muchos de los residuos a compostar pueden contenerlos, por lo que se considera un sistema efectivo aquel que logre transformar gran parte de la materia orgánica contenida en los residuos.

2.8.1. Sistema de compostaje chinampero SIRDO

SIRDOS (2012), indica que la compostera chinampera SIRDO es un sistema desarrollado en México, con fundamento científico cuyo diseño ha sido estudiado para lograr la transferencia tecnológica en el proceso de la descomposición de desechos sin llegar a un proceso de putrefacción. Esto ayuda a evitar la emanación de gases de efecto invernadero (Gas metano, CO₂, CH₄, etc.) que pueden ser contaminantes para el medio ambiente. Éste puede alcanzar una garantía de duración de hasta 10 años.

El mismo autor menciona que para que la bacteria cumpla su función es necesario estar expuesta al sol, dentro de su contenedor compostero, el cual está fabricado especialmente con plástico reciclado, de esta manera, la bacteria se va multiplicando gracias a los residuos que se le depositan. Estos deben ser cortados en pedazos pequeños para que el proceso sea más rápido

2.8.2. El Termino chinampero SIRDO significa

SIRDOS (2012), El termino SIRDO (Sistema Integral de Reciclaje de Desechos Orgánicos) es una Patente Mexicana que permite reciclar los desechos líquidos y sólidos generados por la vivienda y su equipamiento básico, El desarrollo tecnológico del SIRDO ha generado 5 modalidades o sistemas de acuerdo al tipo de desecho que procesa y a los productos que crea: 2 son sistemas húmedos y 3 son secos.

SIRDOS (2012), señala Las características de los lodos generados en las Chinampas de Xochimilco (chinampero) fueron investigados en términos de la relación carbón/nitrógeno, pH, oxígeno disuelto, etc. El reto para era generar lodos de características semejantes, acelerar el proceso de descomposición aeróbica, producir un biofertilizante con las características deseables, y llevar todo esto a cabo sin el empleo de aditamentos mecánicos (aireadores, mezcladoras, etc.)

2.9. Aceleradores biológicos en la compostera

Larreategui (2013), define como fuente de productoras de microorganismos que aceleran la descomposición del material durante el proceso, reduciendo el tiempo requerido para la degradación de la materia orgánica del compostaje por medio de la interacción que estas realizan.

FAO (1991), indica que los activadores son los productos químicos u orgánicos que proporcionan una fuente de nutrición para acelerar la reproducción de microorganismos y la descomposición de la materia orgánica, elevando 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 y relacionados con un contenido proteico significativo, aportan microorganismos en el proceso de compostaje, activando a los microorganismos presentes en el material inicial, se responsabilizan del proceso de descomposición. El mismo autor, indica que Activadores

Biológicos Convencionales (ABC) son sustancias orgánicas resultantes del procesamiento de la leche como el yogurt, suero de leche y también del aislamiento de microorganismos de levadura, que aportan al proceso de compostaje. Descartando totalmente los productos químicos.

2.9.1. Acelerador biológico levadura

Carrillo (2006), describe que las levaduras son hongos que forman sobre los medios de cultivos colonias pastosas, constituidas en su mayor parte por células aisladas que suelen ser esféricas, ovoides o alargadas, las levaduras son organismos aeróbicos, aunque muchas especies son fermentadoras y otras no lo son; el género *Sacharomyces* son fermentadores energéticos de los azúcares bajo condiciones anaerobias. Las levaduras componen microorganismos muy activos, con gran capacidad de reproducción, durante el proceso generando vitaminas y proteínas vegetales de un valor biológico.

2.9.2. Acelerador biológico suero de leche

El suero de leche es una fuente de proteína de alta calidad, derivado de la leche, subproducto del proceso de elaboración de queso. El suero de leche es un término colectivo que describe las proteínas solubles en la leche bovina en un ambiente de bajo pH, como existe durante la elaboración del queso, proceso donde se liberan las proteínas de suero de leche (Foots, 2007).

Carrillo (2006), menciona en la industria lechera, forman parte de los contaminantes más severos, el caso del suero de leche, subproducto de la manufactura de quesos, caseína, caseinatos y mantequilla, 80 al 90 por ciento del volumen del lácteo transformado por la industria lechera, para su tratamiento biológico demanda una elevada cantidad de oxígeno. Anualmente a nivel mundial se estima la producción de suero lácteo de aproximadamente 145 millones de toneladas, de las cuales el 47 por ciento es descargado en suelo, drenajes y cuerpos de agua, provocando en serio problema para el ambiente. Cuando un compuesto con una alta demanda bioquímica de oxígeno, como el suero de leche, se vierte a un sistema ecológico acuático como un río o un lago, los microorganismos que lo degradan necesitan una gran cantidad de oxígeno disuelto en el agua y si la cantidad de éste baja significativamente, se producen olores fétidos por putrefacción y se provoca la muerte por asfixia de la fauna de estos ecosistemas.

El mismo autor señala si el suero es descargado en suelos, puede filtrarse hasta las aguas freáticas del subsuelo, convirtiéndose de esa manera en una amenaza para la salud de los animales y humanos. Además, cuando el suero de leche se descarga en las plantas de tratamiento de aguas residuales, los procesos biológicos que se llevan a cabo en el interior de dichas plantas se perturban significativamente.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

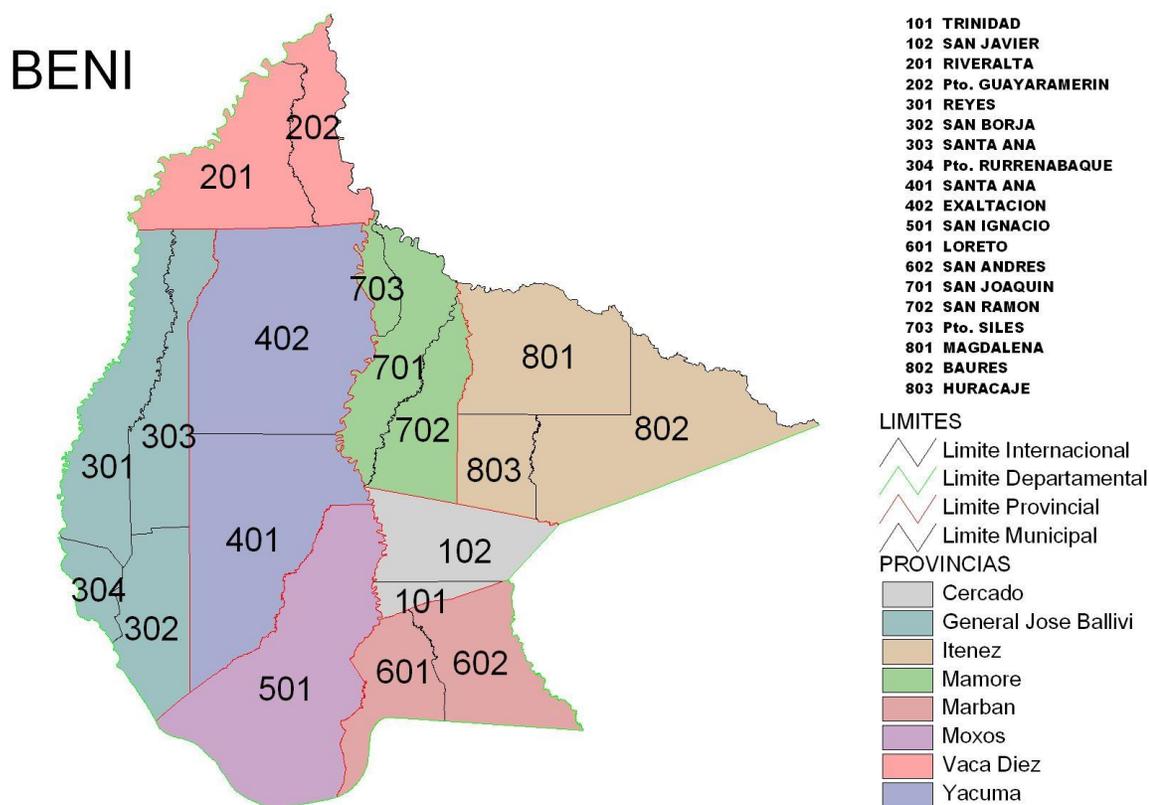
3.1.1. Ubicación geográfica

La comunidad de Santa Lucía, del Municipio de Guayaramerín del departamento del Beni, está ubicada a $10^{\circ}46'28,09''$ Latitud Sur y $65^{\circ}23'23,90''$ Longitud Oeste, a una altitud media de 120 m.s.n.m. La comunidad pertenece al Distrito Rural N° 2 – Cachuela esperanza y se encuentra a 16 km del área urbana de Guayaramerín. Tiene una superficie total de 992 ha, donde en 250 ha se dedican al pastoreo, 40 ha son cultivables, 2 ha se implementan cultivos secanos y 700 ha de uso forestal (Gobierno Autónomo Municipal de Guayaramerín, 2024).



Fuente: Google Maps (2024)

Figura 1. Ubicación geográfica



Fuente: PTDI Municipio de Guayaramerín (2024)

Figura 2. Departamento de Beni

3.1.2. Características edafoclimáticas

3.1.2.1. Clima

Su clima corresponde según la clasificación de THORNTHWAITE al clima húmedo megatermal, con un promedio anual que fluctúa entre los 25°C y 27°C de temperatura. Por su ubicación del Municipio y su escasa altitud, el clima de la región tiene un carácter típicamente tropical, es cálido con temperaturas medias altas durante la mayor parte del año con vientos predominantes provenientes del norte. Con una precipitación pluvial media anual de 1.778,6 mm. La época de mayor precipitación corresponde a los meses de octubre a abril con 2.248,10 mm. y las más bajas en los meses de junio agosto con 1.309,10 mm.

Temperaturas menores no extremas registradas en invierno conocidas como “surazos” o vientos fríos, algunas veces acompañados de llovizna o “chilche”, que lo tornan húmedo, llegan de la Patagonia Argentina, oscilan entre 18°C a 15°C. El Municipio de Guayaramerín no registra precipitaciones pluviales causantes de inundaciones en la zona, los periodos de

precipitaciones son marcados, cuyo periodo de lluvias se inicia a partir del mes de noviembre y/o diciembre, acentuándose en los meses de enero hasta marzo, donde se registran los mayores volúmenes de precipitación.

3.1.2.2. Suelo

El municipio de Guayaramerín presenta 4 paisajes en los cuales varían desde:

- Bien drenado del sub paisaje muy levemente convexo.
- Imperfectamente drenado del sub paisaje muy levemente cóncavo.
- Imperfectamente drenado del sub paisaje transición.
- Levemente convexo a levemente cóncavo.

El material de origen de estos suelos está constituido provienen de las rocas graníticas y cuarcíticas del precámbrico. La influencia humana sobre estos suelos está relacionada con los chaqueos por ciclos de 5 a 6 años. Los suelos de esta unidad dentro el paisaje de planicie levemente ondulada ocupa las partes altas y convexas, con topografía ligeramente inclinada y dependiente de 1 a 2%. Por su inclinación y la buena permeabilidad que muestran estos suelos tienen buen drenaje superficial e interno, el color en el suelo varía del pardo muy oscuro al pardo rojizo oscuro, en el sub suelo del pardo rojizo al pardo amarillo; el matiz en el suelo es variable de 10 YR a 7.6 YR y 5 YR, en el subsuelo el 5 YR es dominante, la textura varía de fango a fango arcilloso limoso en el suelo y se hace arcilloso en el subsuelo.

3.1.2.3. Flora y fauna

La amazonia florística, con características ecológicas similares en cuanto a clima, topografía y otros aspectos hacen de la Provincia Vaca Díez y del Municipio de Guayaramerín un potencial, con una flora y vegetación natural. Un gran porcentaje de las tierras tienen deficiencias de drenaje y están con cobertura de gramíneas y pastizales arbolados. Una parte de la provincia próxima al río Itenez tiene vegetación semidecídúos. En general el 50% del Escudo Precámbrico tiene formaciones boscosas y los otros 50% de pastizales (PTDI de Guayaramerín, 2016).

En el Municipio de Guayaramerín, la flora y vegetación está protegida por altos bosques. El asaí o palmito, la piña, cítricos son variedades que tienen un mercado internacional asegurado y siendo explotadas con un plan de manejo adecuado. Asimismo, en cuanto a los recursos forestales, en el Municipio no existe una reserva forestal, aspecto por el cual se ha generado y se viene generando una deforestación con muy poco control pese a los esfuerzos de la ABT (Autoridad de Fiscalización y control social de Bosques y Tierra). Por otro lado, la región cuenta con una riqueza forestal muy grande, representativa de ecosistemas y biogeográfica única para el país con especies biológicas que permiten la conservación de la amazonia en conjunto con las áreas aledañas con el Estado de Brasil (PTDI de Guayaramerín, 2016).

En cuanto a la fauna silvestre en la zona, por las características de su territorio, rico en bosques, ríos, lagos y lagunas, ambientes propicios para la reproducción y cría de la fauna. La concentración de biodiversidad es muy alta en la zona norte y la parte media del municipio en donde predomina el área boscosa y es muy baja en la zona sur oeste en donde predominan las llanuras con poca cobertura de bosque (PTDI de Guayaramerín, 2016).

3.2. Materiales

3.2.1. Material de laboratorio

El material de laboratorio a ser empleado es el siguiente:

- Probetas de 100 ml
- Agua destilada
- Balanza analítica
- Vasos de precipitación
- pH metro
- Conductivímetro

3.2.2. Material de campo

- Compostera modelo chinampero SIRDO
- Residuos orgánicos: Restos de materia orgánica de cocina, rastrojos de cosecha y estiércol de bovino
- Balde

- Tamizador
- Balanza
- Regadera
- Flexómetro
- Termómetro
- Bolsas nylon
- Cuaderno de anotaciones

3.2.3. Material de gabinete

El material de gabinete a ser empleado es el siguiente:

- Computadora
- Calculadora
- Hojas bond tamaño carta
- Lápiz
- Bolígrafos
- Cuaderno de registro

3.3. Metodología

3.3.1. Desarrollo del ensayo

3.3.1.1. Trabajo de campo

a) Preparación del área para la instalación del sistema de compostera chinampera SIRDO

El área requerida para la instalación de las composteras chinampera SIRDO fue de 32 m², el cual fue nivelado retirado todo elemento que produzca sombra, ya que el sistema requiere de insolación diaria máxima, para después se instaló composteras de acuerdo al croquis y problema planteado.

b) Acopio de residuos orgánicos:

El acopio de residuos orgánicos de cocina: Cáscaras de tomate, zanahoria y yuca; rastros de cosecha: rastrojo de maíz y guineo y estiércol de bovino (Anexo 18), fueron materiales

de acopio cada uno de ellos por partes igual para cada tratamiento, los residuos orgánicos fueron picado en un tamaño uniforme de menor tamaño para su deposición en la compostera chinampera SIRDO.

c) Preparación de los activadores biológicos:

El día del inicio de compostaje, se preparó los activadores biológicos (Anexo 19) para los tratamientos 2, 3 y 4, de la siguiente manera:

- Tratamiento 2: Diluir 2 litros de yogurt en 4 litros de agua.
- Tratamiento 3: Diluir 0,5 kg levadura en 4 litros de agua.
- Tratamiento 4: Diluir 2 litros de suero de leche en 4 litros de agua.

Los tratamientos 1 y 5 no requieren preparación alguna, el tratamiento 1 fue el testigo y el tratamiento 5 se empleó una solución pura de bacterias chinamperas.

d) Armado de pila de compost:

Se introdujo dentro de cada contenedor SIRDO y por cada tratamiento: una capa de tierra de 4 cm de altura, para posterior deposición de la materia orgánica picada: 2 kg de cascara de tomate, 2 kg de cascara de zanahoria, 2 kg de cascara de yuca, 2 kg de rastrojo de maíz, 4 kg de rastrojo de guineo y 4 kg de estiércol de bovino semihúmedo. Toda esta deposición de la materia orgánica se realizó el día 1 de la prueba de campo.

Posteriormente se introdujo los activadores biológicos (Anexo 19) para cada tratamiento a razón de 4 litros de activador biológico para los tratamientos 2, 3 y 4, y 250 ml, para el tratamiento 5. Toda vez depositado el material orgánico se cubrió con tierra a razón de 2 cm de altura, para luego tapar la compostera.

e) Volteo y riego:

El primer volteo se realizó a los 15 días, posteriormente cada semana, cada volteo se dispersó de arriba abajo el material en descomposición, aplicando 4 litros de agua en cada volteo hasta el momento de la cosecha del compost.

f) Muestreo:

Una vez maduro el compost, se separó partes del mismo mediante un cuarteo aleatorio previo tamizado, extrayendo 1 kg del compost maduro, embolsándolo y etiquetándolo para su envío a laboratorio para su posterior análisis.

3.3.1.2. Prueba de laboratorio

a) Análisis físico – químico:

En el análisis físico – químico se determinó:

- Temperatura
- Densidad aparente
- Densidad real
- Porcentaje de humedad
- Capacidad de retención de agua
- Porosidad
- pH
- Conductividad eléctrica

3.3.2. Diseño experimental

Debido a las condiciones del terreno y de campo se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). conformándose 5 tratamientos con 3 bloques totalizando 15 unidades experimentales y se designaron al azar para su respectiva evaluación (Ochoa, 2009).

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij}** = Es una observación cualquiera
μ = Media poblacional
β_j = Efecto del j-ésimo bloque
α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento
ε_{ij} = Error experimental

3.3.3. Tratamientos de estudio

Los factores que se estudiaron, las variables independientes (causa), normalmente si el trabajo es experimental, se considerará si es simple o complejo.

Los tratamientos de la investigación fueron:

T0 = Testigo: Materia orgánica + (agua).

T1 = Tratamiento 1: Materia orgánica + Acelerador biológico (yogurt/agua solución).

T2 = Tratamiento 2: Materia orgánica + Acelerador biológico (levadura/agua de solución).

T3 = Tratamiento 3: Materia orgánica + Acelerador biológico (suero de leche/agua de solución).

T4 = Tratamiento 4: Materia orgánica + Acelerador biológico (bacteria chinampera; solución pura).

3.3.4. Variables de respuesta

3.3.4.1. Características físico-químicas del Compost

La determinación de las características físico-químicas para cada tratamiento, se muestran a continuación:

a) Características físicas. Los parámetros a determinar son:

- Temperatura
- Densidad aparente
- Densidad real
- % de humedad
- Capacidad de retención de agua
- Porosidad

b) Características químicas. Los parámetros a determinar son:

- pH
- Conductividad eléctrica

- Materia orgánica
- Carbono orgánico
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Potasio total
- Sodio total
- Calcio total
- Magnesio total

3.3.4.2. Rendimiento de compost

El rendimiento de compost se determinó por la cantidad producida de compost en relación a la capacidad volumétrica del sistema SIRDO.

3.3.4.3. Análisis económico

El análisis económico se realizó la determinación de la Relación Beneficio/Costo, determinando costos directos, indirectos y beneficio bruto.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Datos meteorológicos

De acuerdo al PTDI de Guayaramerín (2016), la altura media es de 130,39 msnm., con una variación entre los 100 y 200 msnm., concordante con la región amazónica. Su clima corresponde según la clasificación de THORNTHWAITE al clima húmedo mega-termal, con un promedio anual que fluctúa entre los 25°C y 27°C de temperatura. Por su ubicación del municipio y su escasa altitud, el clima de la región tiene un carácter típicamente tropical, es cálido con temperaturas medias altas durante la mayor parte del año con vientos predominantes provenientes del norte. Con una precipitación pluvial media anual de 1.778,6 mm.

La época de mayor precipitación corresponde a los meses de octubre a abril con 2.248,10 mm. y las más bajas en los meses de junio agosto con 1.309,10 mm. Temperaturas menores no extremas registradas en invierno conocidas como “surazos” o vientos fríos, algunas veces acompañados de llovizna o “chilche”, que lo tornan húmedo, llegan de la Patagonia Argentina, oscilan entre 18°C a 15°C. El clima en su contexto general que involucra, calor, agua, sequía, humedad y vientos en todo el globo terráqueo, genera situaciones diversas, unas veces positivas y otras negativas que inciden principalmente en la producción agropecuaria, pilar angular de la economía de estos pueblos; son tres los factores que inciden en las estaciones marcadas como son inundaciones, sequias y surazos. Asimismo, menciona que, el Municipio de Guayaramerín no registra precipitaciones pluviales causantes de inundaciones en la zona, los periodos de precipitaciones son marcados, cuyo periodo de lluvias se inicia a partir del mes de noviembre y/o diciembre, acentuándose en los meses de enero hasta marzo, donde se registran los mayores volúmenes de precipitación (PTDI de Guayaramerín, 2016).

Por otro lado, indica que, el clima en su contexto general que involucra, calor, agua, sequía, humedad y vientos en todo el globo terráqueo, genera situaciones diversas, unas veces positivas y otras negativas. El mayor promedio de la humedad contenida en atmósfera se registró en la época de lluvias con el 85% en el mes de marzo. Por su parte el menor promedio de humedad contenida en la atmósfera se registró en la época seca, en el mes de agosto con el 72% de humedad relativa. Los vientos predominantes en el año en toda la jurisdicción municipal son los que soplan en dirección Nor – Noreste. Los vientos más o

menos fuertes se registran en el mes de agosto y septiembre con una media de 32,5 Km por hora, con una máxima de 40 Km/h y una mínima de 25 Km/h.

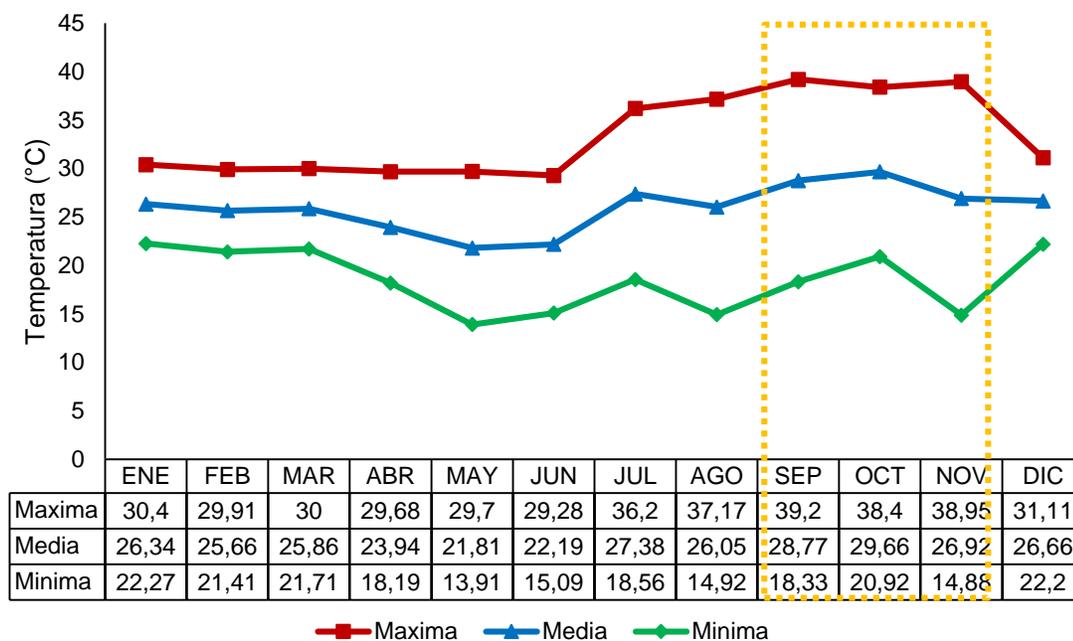


Figura 3. Temperatura promedio externo habitual (Estación meteorológica de Apolo, 2024)

La temperatura externa habitual en los meses de septiembre a noviembre (época de primavera ingresando a la época de verano) y que corresponde a un ecosistema tropical puede apreciarse en la Figura 3. El promedio en la zona del estudio fue de 28,77 °C (septiembre), 29,66 °C (octubre) y 26,92 °C (noviembre).

4.2. Características físicas

4.2.1. Temperatura en las pilas de compost

La temperatura juega un papel crucial en el proceso de compostaje, ya que influye en la actividad microbiana que descompone la materia orgánica.

En la Figura 4, se observa el comportamiento de la temperatura hasta la primera cosecha en los cinco tratamientos, mostrando datos heterogéneos.

El proceso de compostaje en el sistema SIRDO la temperatura inicial más alta fue con el T4: Tratamiento 4 (Materia orgánica + Acelerador biológico bacteria chinampera; solución

pura) con 60°C en promedio, seguido del T3: Tratamiento 3 (Materia orgánica + Acelerador biológico suero de leche/agua de solución 2l:4l) con 58,33°C en promedio, como parámetro medio fue el Testigo (Materia orgánica + agua) con 57,33°C en promedio. Las temperaturas más bajas se registraron con el T2: Tratamiento 2 (Materia orgánica + Acelerador biológico levadura/agua de solución 0,5 Kg:4l) con 46,33°C y el T1: Tratamiento 1 (Materia orgánica + Acelerador biológico yogurt/agua solución 2l:4l) con 45,67°C. Estas temperaturas posteriormente presentaron un aumento debido a la aparición de microorganismos (entre hongos y bacterias) responsables de la degradación de la materia orgánica denominada fase mesolítica inicial, a lo cual Ahumado (2005), menciona que en la fase mesofílica inicial, la temperatura en la pila de compostaje aumenta desde la temperatura ambiente hasta aproximadamente los 40°C con la aparición de hongos y bacterias productoras de ácidos.

Una vez realizado el primer volteo a los 15 días, el comportamiento de la temperatura en el proceso de compostaje muestra un descenso a los primeros días, presentando la temperatura alta el T2 (Materia orgánica + Acelerador biológico levadura/agua de solución 0,5 Kg:4l) con 43,33°C, seguido del T1 (Materia orgánica + Acelerador biológico yogurt/agua solución 2l:4l) con 41,58°C, como parámetro medio fue el Testigo (Materia orgánica + agua) con 38,92°C, seguido del T4 (Materia orgánica + Acelerador biológico bacteria chinampera; solución pura) con 38,58°C y el T3 (Materia orgánica + Acelerador biológico suero de leche/agua de solución 2l:4l) obtuvo el promedio más bajo con 33,67°C.

Posteriormente cada semana realizada el volteo dispersando de arriba abajo el material en descomposición, el comportamiento de la temperatura en todos los tratamientos se mantienen relativamente homogéneos, casi igualando a la temperatura ambiente, esto debido a que el modelo de compostaje SIRDO, al compostar materia orgánica en contenedores de plástico al aire libre, está influenciado por las condiciones meteorológicas (temperatura, precipitación, humedad, vientos, entre otros), el modelo de compostaje SIRDO ha promovido que las prácticas de operación hayan sido más eficientes (como la mezcla homogénea de la materia orgánica, la monitorización de la temperatura y la humedad, y la gestión adecuada de los materiales). estas prácticas coadyuvaron a mantener un proceso de compostaje saludable y producción de compost homogéneo de alta calidad.

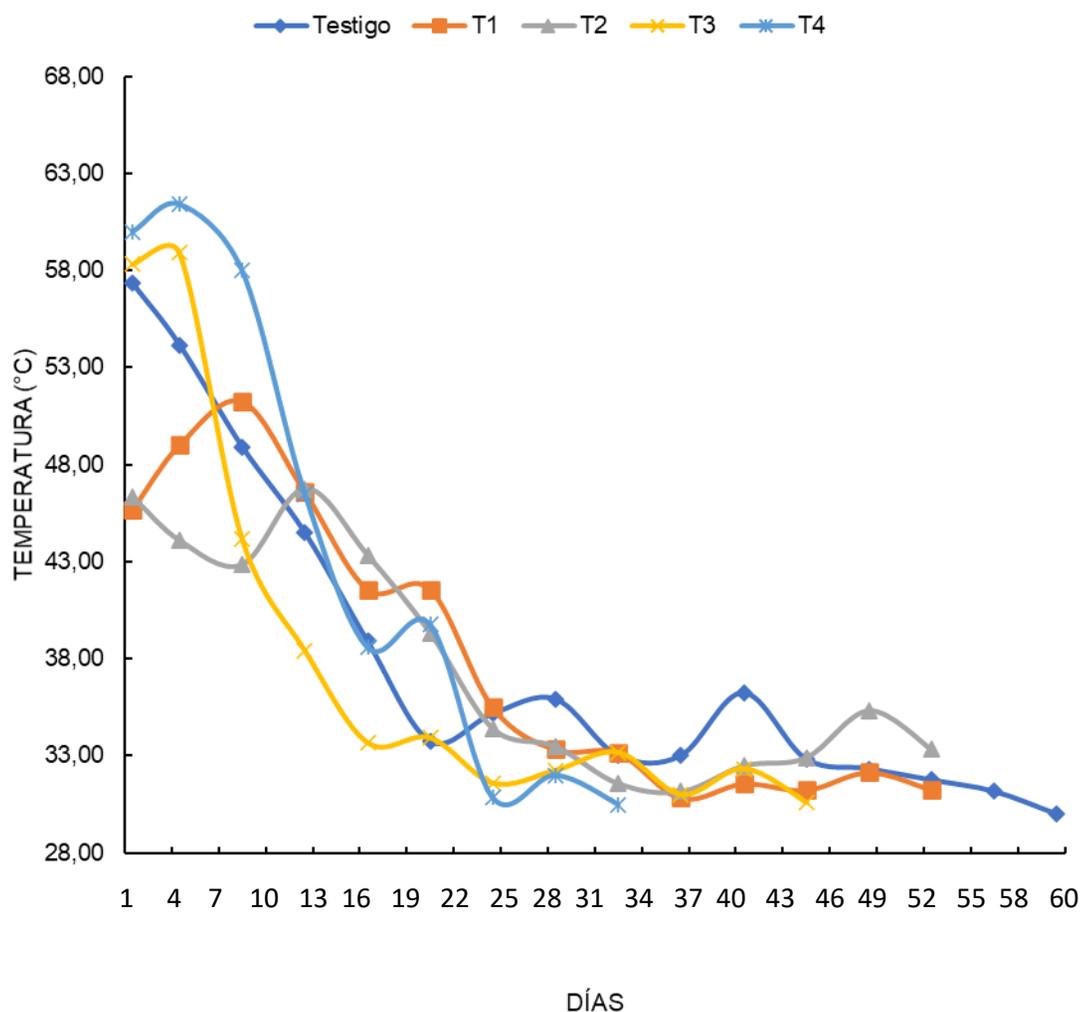


Figura 4. Promedio de temperatura diaria entre tratamientos

4.2.2. Número de días a la primera cosecha en los tratamientos

El número de días a la primera cosecha depende de la eficacia y velocidad de los aceleradores biológicos empleados en cada tratamiento, ya que la diversidad de microorganismos empleados ha sido diferente, por otro lado, la temperatura, humedad y aireación del sistema de compostaje SIRDO influye en la velocidad de acción de los aceleradores biológicos.

En los resultados obtenidos del Cuadro 4, de análisis de varianza para la variable de días de la primera cosecha, para los tratamientos se observan diferencias altamente significativas entre los resultados obtenidos con un valor $Pr > F$ de (0,0003), lo que

demuestra que diferentes tratamientos conducen a diferentes tiempos de maduración en el proceso de compostaje. Sin embargo, el bloque no mostró un efecto significativo en los días de la primera cosecha, lo que indica que las condiciones ambientales no afectaron significativamente, se destacó un coeficiente de variación de 3,5%, lo cual indica que los datos son confiables, por encontrarse debajo del 30% siendo este el límite de confiabilidad.

Cuadro 4. Análisis de Varianza de la variable días de la primera cosecha

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	1311,60	327,90	0,0003**
Bloque	2	11,20	5,600	0,357ns
Error	8	38,133	4,767	
Total	14	1666,40		
CV(%)= 3,5				

**= Altamente significativo

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la figura 5, se observa la prueba de media de Duncan al 5% para la variable días de la primera cosecha, donde el T4 (compost con bacteria chinampera) obtuvo el menor periodo con 32 días en promedio siendo el primer tratamiento que se realizó la primera cosecha, el T3 (compost con suero de leche) presentó una duración de 46 días en promedio, en cambio el T2 (compost con levadura) mostró un promedio de 51 días en promedio, el T1 (compost con yogurt) presentó una duración de 53 días en promedio y la duración más larga fue el Testigo (Materia orgánica + agua) con una duración de 60 días en promedio. La diferencia entre el número de días a la primera cosecha del compost, es atribuida en primera instancia al tipo de acelerador biológico, ya que como se mencionó, la eficacia y velocidad de los aceleradores biológicos depende de la diversidad de microorganismos que la contiene.

Según un estudio previo de Delgado *et al.* (2019), el tiempo de maduración es un indicador clave de la calidad del compost, ya que afecta directamente la estabilidad y la madurez del producto final. Durante el proceso de compostaje, la materia orgánica se descompone y se transforma en un producto más estable y rico en nutrientes, que puede ser utilizado como fertilizante orgánico. Sin embargo, si el proceso de compostaje no se completa adecuadamente, el compost puede contener patógenos y compuestos tóxicos que pueden ser perjudiciales para las plantas y el medio ambiente.

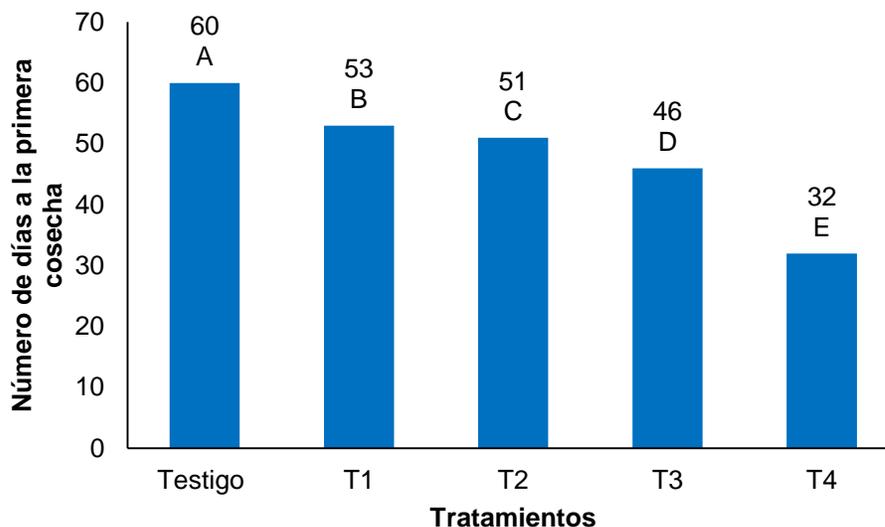


Figura 5. Prueba de media de Duncan al 5% de la variable días de la primera cosecha

4.2.3. Densidad aparente

En el Cuadro 5, se observa el análisis de varianza de la variable de densidad aparente, para los tratamientos muestran un valor no significativo, lo que indica que no hubo diferencia en los datos de densidad aparente entre los tratamientos. El bloque tampoco mostró un efecto significativo en la densidad aparente, lo que indica que las condiciones ambientales no afectan la densidad aparente del compost, lo que se muestra en los anexos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15). El coeficiente de variación muestra un valor de 9,6% indicado la confiabilidad de los datos.

Cuadro 5. Análisis de Varianza de la variable densidad aparente

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	0,012	0,003	0,5309ns
Bloque	2	11,20	5,600	0,3568ns
Error	8	0,028	0,0035	
Total	14	0,0483		

CV(%)= 9,6

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la figura 6, se observa los promedios para la variable densidad aparente, siendo el T4 (compost con bacteria chinampera) con promedio de $0,67\text{g}/\text{cm}^3$, los tratamientos T2 (compost con levadura) y Testigo (Materia orgánica + agua) tuvieron promedios de

0,61g/cm³, finalmente los tratamientos T3 (compost con suero de leche) y el T1 (compost con yogurt) tuvieron promedios de 0,60g/cm³.

Según un estudio previo de Bohórquez *et al.* (2015), la densidad aparente es un indicador importante de la calidad del compost, ya que afecta la porosidad, la aireación y la capacidad de retención de agua del compost. Sin embargo, en este estudio, la densidad aparente no parece ser un indicador adecuado para evaluar la calidad del compost producido mediante el modelo de compostaje chinampero SIRDO. Se necesitan más estudios para evaluar otros indicadores de calidad del compost y confirmar estos resultados.

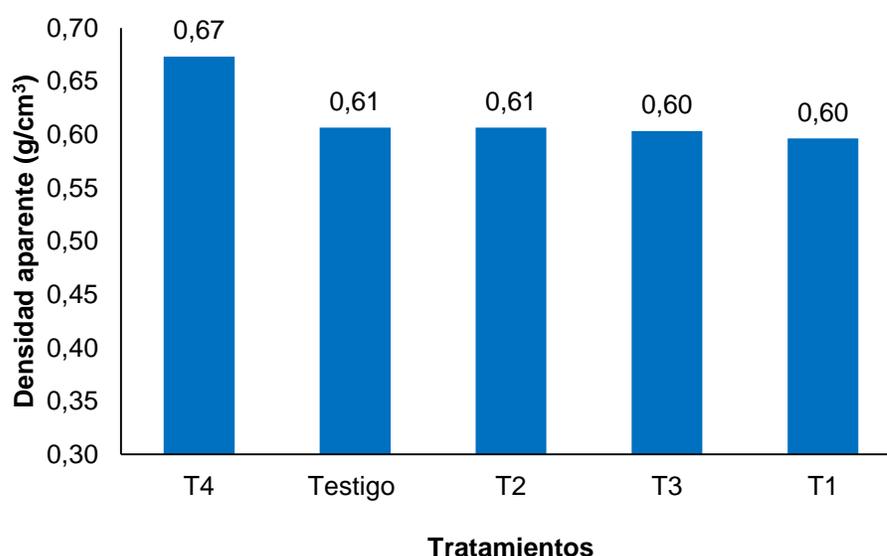


Figura 6. Promedios de la variable densidad aparente

4.2.4. Densidad real

En el análisis de varianza para la variable de densidad real (Cuadro 6), muestran para los tratamientos un resultado no significativo, lo que demuestra que no hubo diferencias en la toma de datos de densidad real en tratamientos evaluados. También se observan valores no significativos en los bloques, demostrando que las condiciones ambientales no afectaron en la densidad real. Se destacó un coeficiente de variación de 8,11%, lo cual indica que los datos son confiables, por encontrarse debajo del 30% siendo este el límite de confiabilidad.

Cuadro 6. Análisis de Varianza de la variable densidad real

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	0,125	0,003	0,1927ns
Bloque	2	0,052	0,026	0,2541ns
Error	8	0,127	0,016	
Total	14	0,0483		

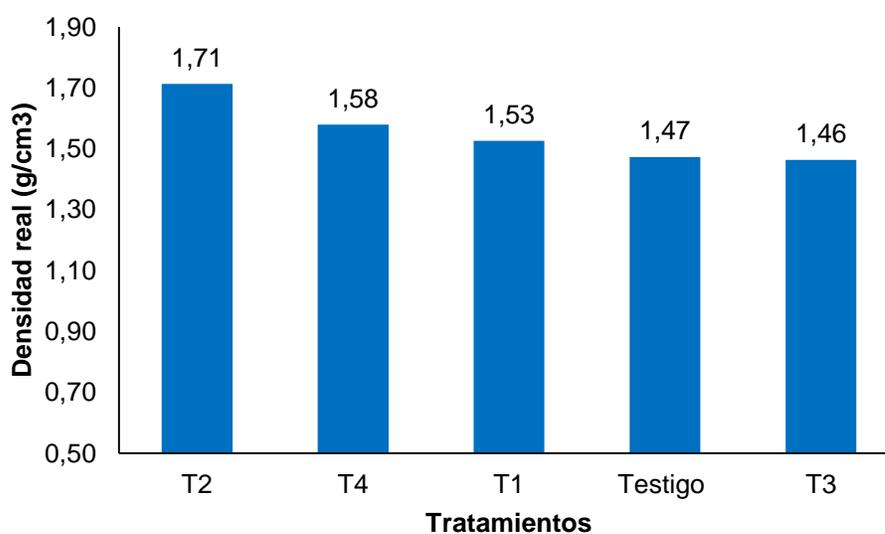
CV(%)= 8,11

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En los promedios para la variable de densidad real (Figura 6), se tiene como mejor promedio el T2 (compost con levadura) con un valor de 1,71g/cm³, seguido del T4 (compost con bacteria chinampera) con un promedio de 1,58g/cm³, como parámetro medio fue el T1 (compost con yogurt) con 1,53g/cm³, los promedios bajos se registraron con el Testigo (Materia orgánica + agua) y el T3 (compost con suero de leche) con valores de 1,47g/cm³ y 1,46g/cm³ respectivamente. Según Escobar *et al.* (2012) la densidad real es un indicador importante de la calidad del compost, ya que está relacionada con la estabilidad y la madurez del producto final.

En la investigación realizada por Paty (2004), reporto promedio de densidad real media de 1,5g/cm³, siendo similar con los resultados obtenidos con el T1 (compost con yogurt). Por otra parte Toro (2014), obtuvo valores estadísticamente no significativos reportando un promedio general de 0,93g/cm³.

**Figura 7. Promedios de la variable densidad real**

4.2.5. Contenido de humedad

En el Cuadro 7, se observa el análisis de varianza de la variable contenido de humedad, donde nos muestra valores altamente significativos ($P < 0,0006$), lo cual indica que los tratamientos evaluados reportaron diferentes niveles de humedad en el proceso de compostaje. Sin embargo el bloque no mostró un efecto significativo en el contenido de humedad, indicando que las condiciones ambientales no afectaron significativamente en el contenido de humedad en el compost. El coeficiente de variación fue de 4,69%, estando en el rango de aceptación.

Cuadro 7. Análisis de Varianza de la variable contenido de humedad

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	280,218	70,054	0,0006**
Bloque	2	9,585	4,792	0,3611ns
Error	8	33,046	4,130	
Total	14	322,849		
CV(%)= 4,69				

**= Altamente significativo

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la Figura 8, se muestra la prueba de media de Duncan al 5% para la variable contenido de humedad, teniendo como mejor promedio el T3 (compost con suero de leche) con un promedio de 48,55%, seguido del Testigo (Materia orgánica + agua) con un valor de 46,90%, como parámetro medio se reportó el T1 (compost con yogurt) con 44,76%, los promedios bajos se registraron con el T2 (compost con levadura) y el T4 (compost con bacteria chinampera), con valores de 39,12% y 37,53% respectivamente.

Según Campos *et al.* (2016) el contenido de humedad es un indicador importante de la calidad del compost, ya que afecta la estabilidad, la madurez y la capacidad de retención de nutrientes del compost. Por otra parte Kalil *et al.* (2007), señala que la humedad óptima durante el proceso de compostaje esta entre 40% a 50%, menor a esto puede afectar en el desarrollo de los microorganismos y la mayor humedad provoca el anaerobiosis desplazando el oxígeno. Por lo tanto, los resultados del T3 (compost con suero de leche) sugiere que el acelerador biológico utilizado puede ser más efectivo para mejorar la calidad de compost en términos de contenido de humedad en el modelo de compostaje chinampero SIRDO.

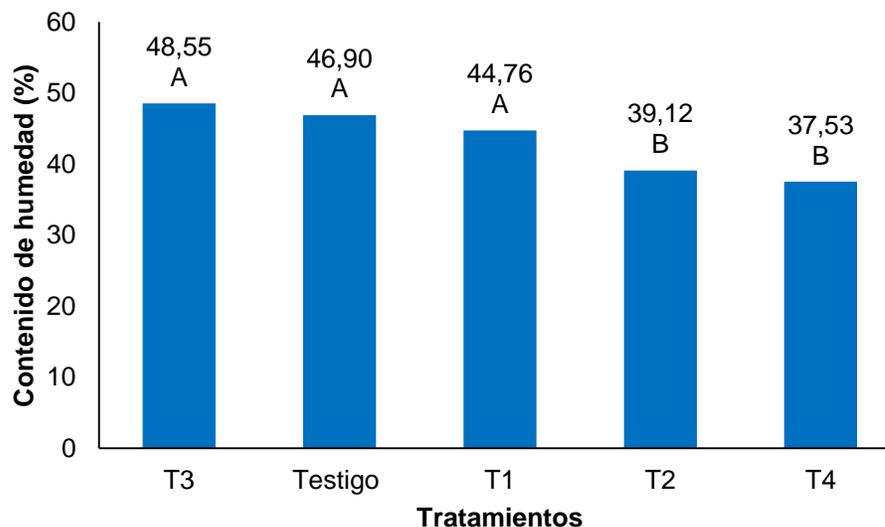


Figura 8. Prueba de media de Duncan al 5% de la variable contenido de humedad

4.2.6. Reacción de pH

En el análisis de varianza de la variable de reacción de pH (Cuadro 8), se muestra que los tratamientos son altamente significativos, lo que indica que los diferentes tratamientos utilizados condujeron a diferentes niveles de pH en el proceso de compostaje. Sin embargo, el bloque mostro resultados no significativos, demostrando que las condiciones ambientales no influyeron en el pH del compost. Se destacó un coeficiente de variación de 3,5%, lo cual indica que los datos son confiables, por encontrarse debajo del 30% siendo este el límite de confiabilidad.

Cuadro 8. Análisis de Varianza de la variable reacción de pH

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	2,708	0,677	0,0044**
Bloque	2	0,316	0,158	0,180ns
Error	8	0,590	0,074	
Total	14	3,615		

CV(%)= 3,15

**= Altamente significativo

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la Figura 9, se observa la prueba de media de Duncan al 5% para la variable de reacción de pH, el T4 (compost con bacteria chinampera) tuvo el pH más elevado con un valor de

9,39 en promedio, seguido del T2 (compost con levadura) con un valor de 8,99 en promedio, el T1 (compost con yogurt) tuvo un nivel de pH intermedio de 8,58 en promedio, el T3 (compost con suero de leche) se registró un pH de 8,38 y finalmente el Testigo (Materia orgánica + agua), registro el pH más bajo con 8,22 en promedio. Estas diferencias de pH entre los tratamientos, están influenciadas por las etapas del proceso de compostaje, ya que, al inicio del proceso de degradación de la materia orgánica, los microorganismos acidifican dicha materia, como consecuencia de esta reacción, se incrementa la temperatura y en el transcurrir del proceso el medio ácido se estabiliza producto de la disminución del carbono orgánico.

Según (Hanna, s. f.), señala que el sistema de compostaje SIRDO coadyuva a tener una mejor aireación en el proceso de compostaje lo que incide en que la mezcla orgánica favorezca a la disponibilidad de carbono que incide en que el pH sea menos ácido, producto de las reacciones aeróbicas, ya que en las últimas etapas de maduración del compost los rangos están entre 8,22 a 9,39, como consecuencia, el pH vuelve a subir ligeramente, para mantenerse estable. Por lo general se mantuvieron en valores cercanos a neutro y ligeramente ácido. Ramirez (2012), en la investigación de compost con dos tipos de material vegetal y con el uso de bioindicadores, registro valores de pH: 8,2 a 8,3.

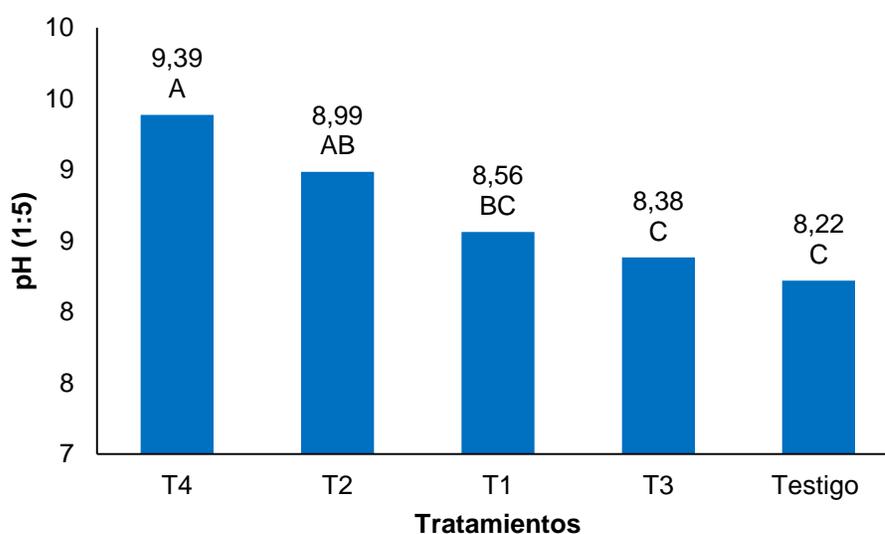


Figura 9. Prueba de media de Duncan al 5% de la variable pH

4.2.7. Conductividad eléctrica

En el Cuadro 9, se observa el análisis de varianza de la variable de conductividad eléctrica, para los tratamientos muestran valores significativos ($p < 0,0160$), lo que indica que los tratamientos utilizados conducen a diferentes niveles de conductividad eléctrica en el proceso de compostaje. En cambio, el bloque mostró un efecto no significativo, lo que indica que las condiciones ambientales no afectaron en la conductividad eléctrica del compost. El coeficiente de variación dio un valor de 21,64%, lo cual demuestra que los datos obtenidos son aceptables.

Cuadro 9. Análisis de Varianza de la variable conductividad eléctrica

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	13,188	3,297	0,0160*
Bloque	2	1,911	0,956	0,2382ns
Error	8	4,429	0,554	
Total	14	19,528		
CV(%)= 21,64				

*= Significativo

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la prueba de media de Duncan al 5% para la variable de conductividad eléctrica, muestra con mejor conductividad al T2 (compost con levadura) con un valor de 4,87 dS/m en promedio, seguido del T3 (compost con suero de leche) con 3,75dS/m en promedio, como parámetro medio se tiene al Testigo (Materia orgánica + agua) con 3,42 dS/m en promedio, el T1 (compost con yogurt) registro un promedio de 3,20dS/m y el T4 (compost con bacteria chinampera) obtuvo el promedio más bajo con 1,95dS/m. Estos resultados contradicen parcialmente la hipótesis planteada, ya que se demostró que los cuatro aceleradores biológicos no producen las mismas características físico-químicas en el compost en función de la conductividad eléctrica.

Según Camacho *et al.* (2018) la conductividad eléctrica es un indicador importante de la calidad del compost, ya que está relacionada con la presencia de sales y nutrientes disponibles para las plantas. Por lo tanto, los resultados de este estudio sugieren que el acelerador biológico levadura es el más efectivo para mejorar la conductividad eléctrica en el modelo de compostaje chinampero SIRDO, ya que produjo un aumento significativo en la conductividad eléctrica del compost. La conductividad eléctrica del compost puede

aumentar con niveles más altos de humedad, ya que el agua actúa como un conductor eléctrico, sin embargo, niveles extremadamente altos de humedad no son óptimos para el proceso de compostaje en general (Castillo, 2020).

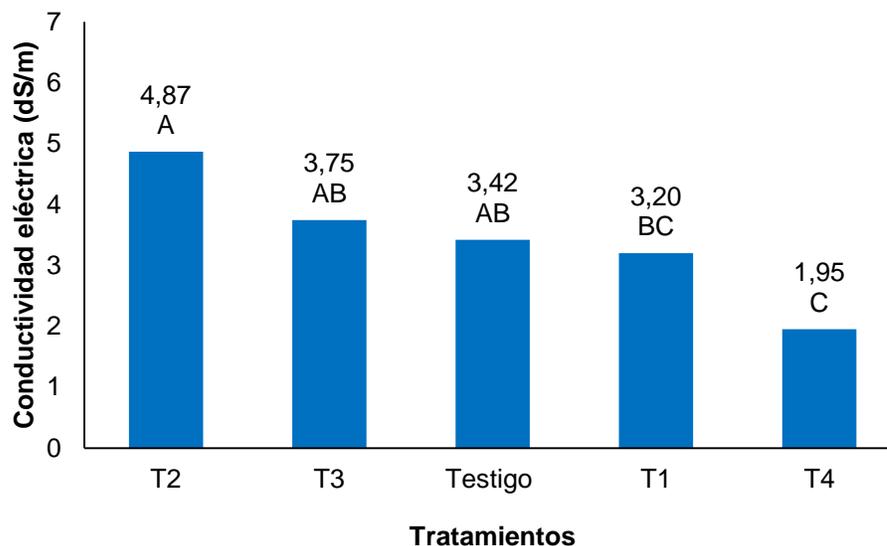


Figura 10. Prueba de media de Duncan al 5% de la variable conductividad eléctrica

4.2.8. Porosidad

En el análisis de varianza de la variable porosidad (Cuadro 10), se observa que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual muestra que no se encontró un efecto significativo en el tipo de tratamiento utilizado en relación a la porosidad, de la misma forma ocurre con el bloque dando valores no significativos, esto indica que los tratamientos no fueron afectados por las condiciones ambientales en la variable de porosidad, el coeficiente de variación da un valor de 9,41%, demostrando la confiabilidad de los datos.

Cuadro 10. Análisis de Varianza de la variable porosidad

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	95,218	23,804	0,5834ns
Bloque	2	112,519	56,260	0,2295ns
Error	8	252,945	31,618	
Total	14	460,682		

CV(%)= 9,41

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la Figura 11, se observa los promedios para la variable de porosidad, siendo el T2 (compost con levadura) el mejor promedio con 64,31%, seguido del T1 (compost con yogurt) con un promedio de 60,60%, como parámetro medio se registró el T3 (compost con suero de leche) y el Testigo (Materia orgánica + agua) con un promedio de 58,38% y finalmente el T4 (compost con bacteria chinampera) obtuvo el promedio más bajo 57,20%. Esta relativa homogeneidad de porosidad, ha sido influenciado por la presencia de la materia orgánica fibrosa empleada en el estudio, el cual incremento la proporción de porosidad en la estructura del compost, por otro lado, la influencia de la relación carbono/nitrógeno también ha incidido en la misma, ya que en una descomposición más completa de los materiales y una mayor producción de compuestos orgánicos estables contribuyen a una mayor porosidad, que a su vez esta influenciada por el grado de descomposición de la materia orgánica, ya que la descomposición de materia orgánica fibrosa puede generar espacios porosos adicionales, mientras que la descomposición de materiales más densos puede compactar el compost y reducir la porosidad (Martínez *et al.*, 2008).

Barrena (2006), señala que el valor óptimo de la porosidad óptima del compost fluctúa entre 30% a 60%, comparando con los resultados obtenidos de esta investigación, los valores de porosidad están dentro del rango.

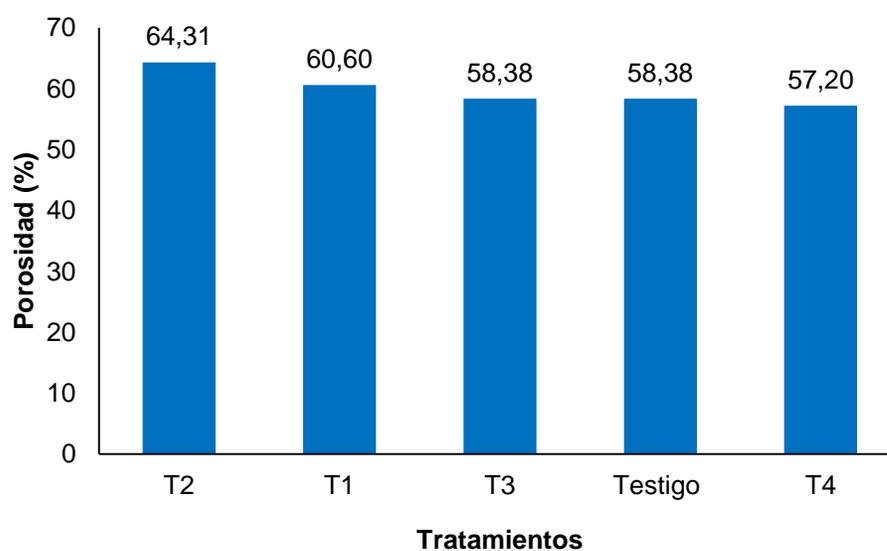


Figura 11. Promedios de la variable porosidad

4.2.9. Materia orgánica

En el Cuadro 11, se observa el análisis de varianza para la variable materia orgánica, mostrando resultados no significativos entre los tratamientos. Lo que indica que los tratamientos no actuaron de manera diferente en relación a la materia orgánica. Igualmente ocurre con el bloque mostrando valores no significativos, esto demuestra que las condiciones ambientales no afectaron a los tratamientos en la variable de materia orgánica, finalmente el coeficiente de variación fue de 9,41%, estando en el rango de aceptación.

Cuadro 11. Análisis de Varianza de la variable materia orgánica

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	827,579	206,895	0,1237ns
Bloque	2	251,809	125,904	0,2729ns
Error	8	656,601	82,075	
Total	14	1735,989		
CV(%)= 9,41				

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la Figura 12, se observa los promedios para la variable materia orgánica, siendo como mejor tratamiento el T3 (compost con suero de leche) con un valor de 63,35% en promedio, como parámetro medio se tienen el T1 (compost con yogurt) y el Testigo (Materia orgánica + agua) con valores de 60,69% y 60,67% respectivamente, los promedios más bajos se registraron con el T4 (compost con bacteria chinampera) y T2 (compost con levadura) con promedios de 49,77% y 44,39% respectivamente. Según Castillo (2020), la materia orgánica es un indicador importante de la calidad del compost, ya que afecta la estabilidad y la madurez del producto final. Según Pierre *et al.* (2009), los rangos de variación de materia orgánica en un compost de calidad en sus valores se ubican entre 25% y 70%. En este sentido, los resultados de este estudio sugieren que el acelerador biológico a base de levadura podría ser el más efectivo para reducir la cantidad de materia orgánica en el compost.

Toro (2014), en la investigación que realizó obtuvo promedios de 20% a 30% de materia orgánica, siendo estos resultados diferentes a los valores obtenidos, esta diferencia puede atribuirse al grado de madurez.

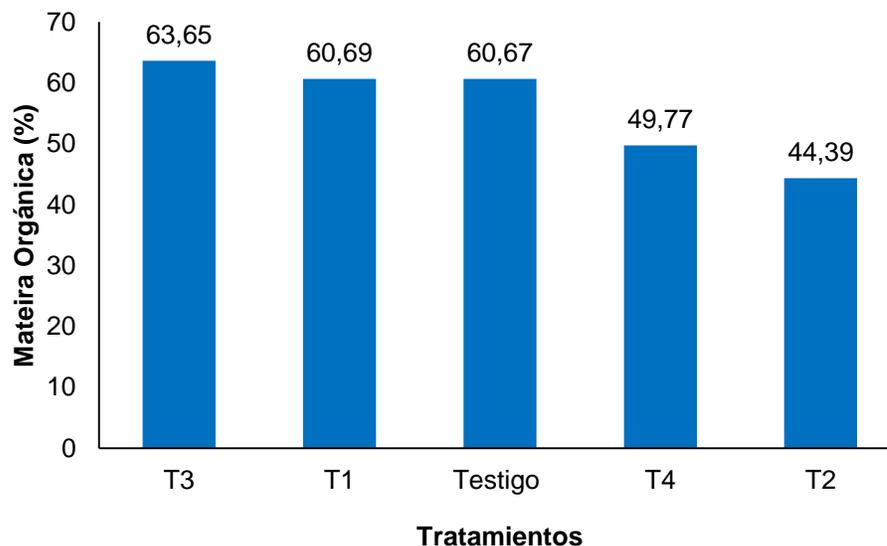


Figura 12. Promedios de la variable materia orgánica

4.2.10. Carbono orgánico

En el análisis de varianza de la variable carbono orgánico (Cuadro 12), se observa que no hubo diferencias significativas en los tratamientos de estudio, lo cual indica que los tratamientos de estudio no tuvieron un efecto significativo en la variable de carbono orgánico. El bloque igual forma no mostró un efecto significativo, demostrando que las condiciones ambientales no afectaron en la variable de carbono orgánico. El coeficiente de variación dio un valor de 16,23%, demostrando que los datos obtenidos son aceptables.

Cuadro 12. Análisis de Varianza de la variable carbono orgánico

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	278,659	69,665	0,1236ns
Bloque	2	84,729	42,364	0,2730ns
Error	8	220,991	27,624	
Total	14	584,38		

CV(%)= 16,23

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la Figura 13, se observa los promedios para la variable de carbono orgánico, siendo el mejor promedio el T3 (compost con suero de leche) con un valor de 36,92%, como valores intermedios se tiene el T1 (compost con yogurt) y el Testigo (Materia orgánica + agua) con promedios de 35,21% y 35,19%, los promedios bajos se registraron con el T4 (compost con

bacteria chinampera) y el T2 (compost con levadura) con valores de 28,87% y 25,74% respectivamente.

Estos resultados sugieren que el acelerador biológico a base de levadura es el más efectivo para reducir el contenido de carbono orgánico en el compost, mientras que el suero de leche es el acelerador biológico que produce el mayor contenido de carbono orgánico en el compost. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el modelo no fue estadísticamente significativo, lo que indica que otros factores pueden estar influyendo en el contenido de carbono orgánico en el compost. Castillo (2015), menciona que el contenido y la transformación del carbono orgánico en el compostaje dependen de un equilibrio adecuado de materiales ricos en carbono y nitrógeno, y de condiciones óptimas de temperatura, humedad, aireación y actividad microbiana. Mantener estas condiciones asegura una descomposición eficiente del carbono orgánico, produciendo un compost de alta calidad y rico en nutrientes. Materiales ricos en carbono, se descomponen lentamente y aportan la estructura y energía necesarias para los microorganismos.

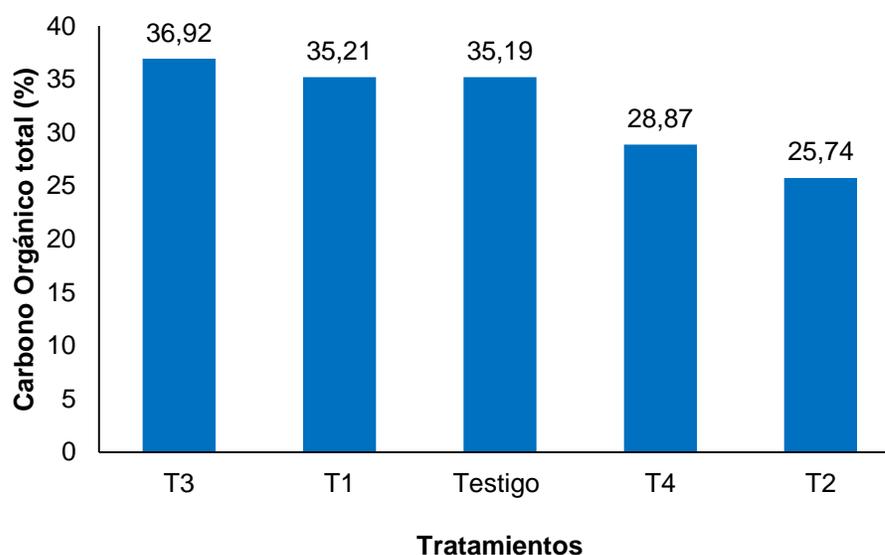


Figura 13. Prueba de media de Duncan al 5% de la variable carbono orgánico

4.2.11. Nitrógeno total

En el análisis de varianza de la variable nitrógeno (Cuadro 13), se observa para los tratamientos un valor no significativo, lo que indica que no hubo diferencias en los datos de nitrógeno entre los tratamientos, de igual forma se muestra el bloque dando un resultado no significativo, indicando que las condiciones ambientales no afectaron en la variable de

nitrógeno, finalmente el coeficiente de variación tiene un valor de 26,85% estando en el parámetro de confiabilidad.

Cuadro 13. Análisis de Varianza de la variable nitrógeno total

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	0,919	0,230	0,0538ns
Bloque	2	0,187	0,093	0,2775ns
Error	8	0,494	0,062	
Total	14	1,600		

CV(%)= 26,85

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En los promedios para la variable de Nitrógeno (Figura 14), se observa que el promedio más sobresaliente fue el Testigo (Materia orgánica + agua) con un valor de 1,42%, el T1 (compost con yogurt) reporto un promedio de 0,82%, como parámetro medio se registró el T2 (compost con levadura) y T3 (compost con suero de leche) con valores de 0,80% y finalmente el T4 (compost con bacteria chinampera) obtuvo un valor de 0,79%.

Estos resultados sugieren que el testigo podría ser el más efectivo para aumentar el contenido de nitrógeno en el compost, mientras que los otros aceleradores biológicos no mostraron un efecto significativo en esta variable. Pilar (2000), señala que el material orgánico se descompone y se libera el carbono y la concentración relativa del nitrógeno se ve aumentada encontrándose disponible en forma de nitratos y amonio así mismo plantea que la pila de compost es un almacén de nitrógeno ya que el que es soluble en agua permanece retenida y por tanto se evita su oxidación y lavado.

Los resultados de la investigación realizada por Toro (2014), reporta que el nitrógeno total en el testigo fue de 1,49, con el activador de yogurt fue de 1,4%, con el suero de leche y con la levadura obtuvo promedios de 1,26%. Siendo el valor del testigo similar a los resultados obtenidos, la diferencia de valores de los activadores biológicos puede atribuirse a los factores climáticos.

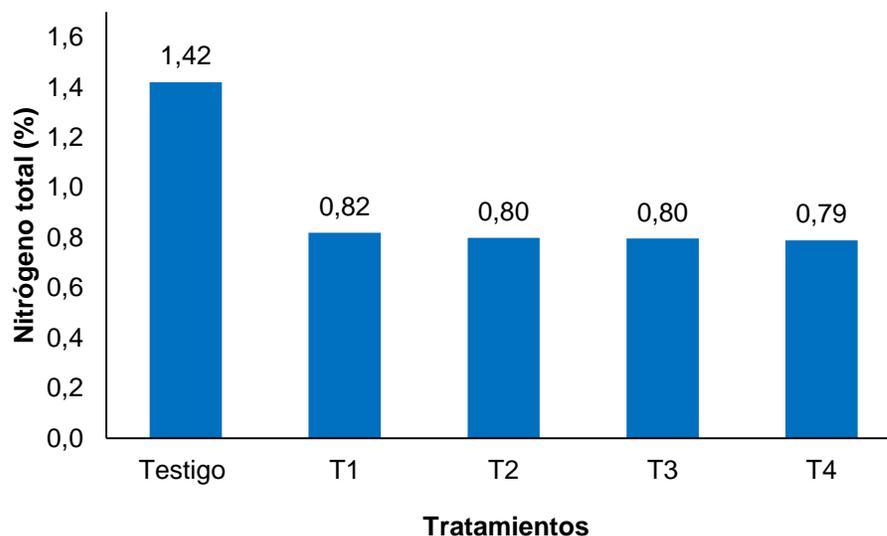


Figura 14. Promedios de la variable nitrógeno total

4.2.12. Fósforo total

En el Cuadro 14, se observa el análisis de varianza de la variable de fósforo total, mostrando un resultado no significativo, lo que sugiere que diferentes tratamientos no tuvieron diferencia en la variable de fósforo total. El bloque muestra un efecto no significativo, lo que indica que las condiciones ambientales no afectaron en la variable de fósforo total. El coeficiente de variación da un valor de 21,94% estando en el rango de aceptación.

Cuadro 14. Análisis de Varianza de la variable fósforo total

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	0,075	0,019	0,0713ns
Bloque	2	0.020	0,010	0,2287ns
Error	8	0,0454	0,0057	
Total	14	0,1403		

CV(%)= 21,94

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la Figura 15, se puede observar los promedios para la variable de fósforo total, siendo el valor más sobresaliente del Testigo (Materia orgánica + agua) con un promedio de 0,45% los tratamientos el T2 (compost con levadura), T3 (compost con suero de leche) y T1 (compost con yogurt) tuvieron contenidos similares de fosforo total con valores de 0,36%, 0,35% y 0,32% respectivamente, el T4 (compost con bacteria chinampera) tuvo el menor

contenido de fósforo total, con un promedio de 0,23%. Estos resultados sugieren que el testigo podría ser el más efectivo para aumentar el contenido de fósforo en el compost, mientras que los otros aceleradores biológicos no mostraron un efecto significativo en esta variable. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el modelo no fue significativo, lo que indica que otros factores pueden estar influyendo en el contenido de fósforo en el compost.

Toro (2014), reporto los tratamientos de compost, donde el T5 (compost con fermento de alfalfa) tubo el mayor porcentaje de fósforo de 0,46%, el resto T1 (testigo), T3 (compost con suero de leche), T4 (compost con levadura) tienen 0,45% de fosforo y el T2 (compost con yogurt) con 0,42% respectivamente. reporto Paty (2004), logró obtener un promedio de 0,46% de fósforo en compost a base de estiércol de bovino en diferentes modalidades. Comparando con los resultados citados estamos dentro del rango permitido, así mismo entre el testigo no hay mucha variación están entre 0,45% del contenido de fósforo, la variación del resto de tratamientos puede atribuirse al cambio de factores climáticos ya que esta investigación se realizó en un clima tropical y las investigaciones citadas se realizaron en zonas de altiplano.

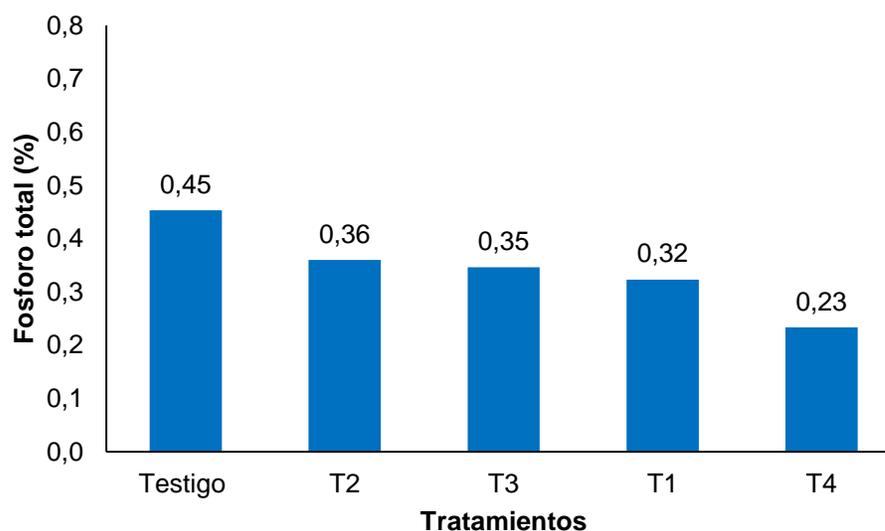


Figura 15. Prueba de media de Duncan al 5% de la variable fósforo total

4.2.13. Potasio total

En el análisis de varianza de la variable potasio total (Cuadro 15) se observa un valor no significativo, lo que indica que los tratamientos utilizados no tuvieron diferencias en la

variable de potasio total, el bloque no mostro un efecto significativo, demostrando que los factores ambientales no afectaron en la variable evaluada. Se observa un coeficiente de variación de 28,73%, lo cual demuestra que los rangos de aceptación son aceptables.

Cuadro 15. Análisis de Varianza de la variable potasio total

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	0,909	0,227	0,5313ns
Bloque	2	0.074	0,037	0,8720ns
Error	8	2,137	0,267	
Total	14	3,121		
CV(%)= 28,73				

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En los promedios para la variable de potasio total, se observa que el Testigo (Materia orgánica + agua) y el T1 (compost con yogurt) tuvieron los valores más altos de potasio total (2,08% y 2,02% respectivamente), estas diferencias no fueron estadísticamente significativas en comparación con los otros tratamientos como puede apreciarse en la Figura 16.

En la investigación realizada por Toro (2014), reportó el contenido de Potasio de cuatro tratamientos con diferentes activadores biológicos y el testigo, el T1 (compost testigo) tuvo un valor de 1.85% de potasio siendo esto el rango mayor debido a que este tratamiento tubo menor humedad durante el proceso, y con el rango menor el T2 (compost con yogurt) esto debido al mayor contenido de bacterias y una variación de temperatura y de humedad. El resto de los tratamientos el T4 con 1,77%, el T5 con 1,73% y el T3 con 1,69%, observando los resultados no existe mucha variación entre los tratamientos, estos resultados se asemejan a los resultados obtenidos.

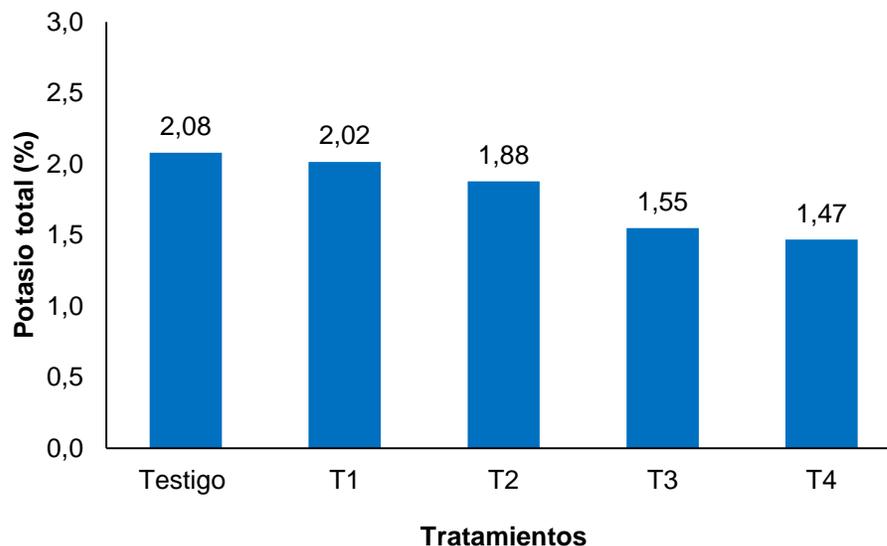


Figura 16. Promedios de la variable potasio total

4.2.14. Calcio total

En el Cuadro 16, se observa el análisis de varianza de la variable calcio total, mostrando para los tratamientos un valor altamente significativo ($P < 0,0004$), lo que indica que los tratamientos utilizados conducen a diferentes niveles de calcio total en el proceso de compostaje. El bloque no mostró un efecto significativo, esto indica que los tratamientos evaluados no fueron afectados por las condiciones ambientales. El coeficiente de variación registra un valor de 15,66%, estando en el parámetro de confiabilidad.

Cuadro 16. Análisis de Varianza de la variable calcio total

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	2,104	0,526	0,0004**
Bloque	2	0,177	0,088	0,0929ns
Error	8	0,218	0,027	
Total	14	2,5		

CV(%)= 15,66

**= Altamente significativo

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la Figura 17 se observa la prueba de media de Duncan al 5% para la variable de calcio total, donde el Testigo (Materia orgánica + agua) tuvo el nivel más alto de calcio total (1,52%), mientras que el T4 (compost con bacteria chinampera) presentó el nivel más bajo (0,38%). Los tratamientos T1 (compost con acelerador biológico yogurt), T3 (compost con

acelerador biológico suero de leche) y T2 (compost con acelerador biológico levadura), tuvieron niveles similares de calcio total, con promedios de 1,21%, 1,09% y 1,08% respectivamente.

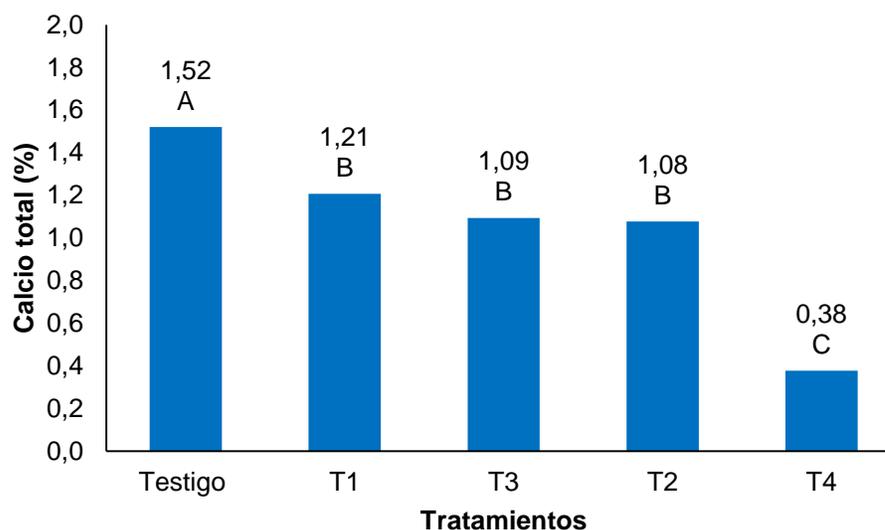


Figura 17. Prueba de media de Duncan al 5% de la variable calcio total

Estos resultados contradicen la hipótesis planteada, ya que se demostró que los cuatro aceleradores biológicos no producen las mismas características físico-químicas en el compost en función del calcio. Es importante mencionar que, aunque el testigo mostró ser el más efectivo en términos de niveles de calcio, esto no necesariamente significa que sea el mejor acelerador biológico en general. Otros estudios han encontrado que diferentes aceleradores biológicos pueden ser más efectivos en términos de otros indicadores de calidad del compost, como la relación carbono/nitrógeno o la actividad biológica (Delgado *et al.*, 2019).

4.2.15. Magnesio total

En el análisis de varianza de la variable magnesio total (Cuadro 17) se observa un valor altamente significativo ($p < 0,0001$), indicando que los tratamientos tuvieron un efecto distinto en la variable de magnesio total, por otra parte el bloque no mostró un efecto significativo en la variable de magnesio total. El coeficiente de variación es de 14,97%, lo cual indica que los datos evaluados son confiables.

Cuadro 17. Análisis de Varianza de la variable magnesio total

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	0,351	0,088	0,0001**
Bloque	2	0.021	0,010	0,1060ns
Error	8	0,277	0,0035	
Total	14	0,399		
CV(%)= 14,97				

**= Altamente significativo

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la prueba de media de Duncan al 5% para la variable magnesio total (Figura 18), mostró que el tratamiento T3 (compost con acelerador biológico suero de leche) tuvo el nivel más alto en magnesio total con 0,54%, mientras que el T4 (compost con bacteria chinampera) tuvo el nivel más bajo con un promedio de 0,10%. Los tratamientos T2 (compost con acelerador biológico levadura), Testigo (Materia orgánica + agua) y T1 (compost con acelerador biológico yogurt) tuvieron niveles similares de magnesio total con valores de 0,47%, 0,46% y 0,40% respectivamente.

De la misma forma que en la investigación realizada Toro (2014), obtuvo el mejor nivel de magnesio total con el acelerador biológico a base de suero de leche con un promedio de 0,73%. Esto sugiere que el suero de leche es el acelerador biológico más efectivo para aumentar los niveles de magnesio total en el proceso de compostaje.

Mikkelsen (s.f.), señala que en el compost la proporción de magnesio se encuentra inferiores a 1%, también indica que el magnesio es inferior en abundancia que el calcio, en cambio para el compost menciona que el magnesio en residuos animales y compostas es totalmente disponible para la planta durante el ciclo del cultivo.

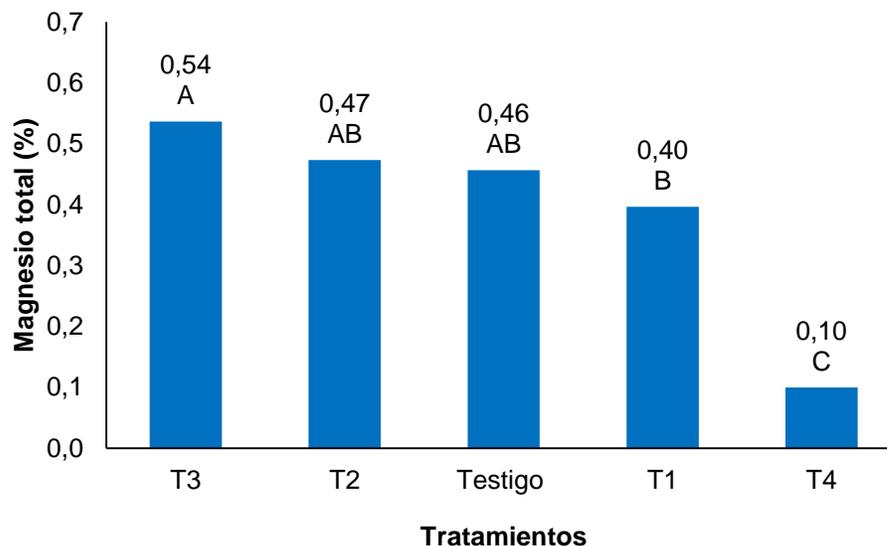


Figura 18. Prueba de media de Duncan al 5% de la variable magnesio total

4.2.16. Sodio total

En el Cuadro 18 se observa el análisis de varianza de la variable sodio total, mostrando un valor no significativo para los tratamientos, esto demuestra que no se encontró diferencias en los tratamientos utilizados en el contenido de sodio total, de la misma forma el bloque tampoco mostro un efecto significativo en la variable evaluada, lo que se muestra en los anexos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15). El coeficiente de variación fue de 21,12%, indicando que los valores analizados son confiables, estando dentro del margen de aceptación (<30%).

Cuadro 18. Análisis de Varianza de la variable sodio total

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	0,010	0,0026	0,3628ns
Bloque	2	0,0017	0,00083	0,6832ns
Error	8	0,0165	0,002	
Total	14	0,029		

CV(%)= 21,12

ns= No significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En los promedios para la variable de sodio total, se evidencia que todos los tratamientos y el testigo tuvieron valores similares de nivel de sodio total, que oscilaron entre 0,17% a 0,25% como puede apreciarse en la Figura 19.

Estos resultados respaldan la hipótesis planteada, ya que se demostró que los aceleradores biológicos producen características similares en el compost en función del contenido de sodio. Según un estudio de Castillo (2020), el sodio no es un parámetro importante para medir la calidad del compost, ya que no afecta significativamente la calidad del mismo. Por lo tanto, los resultados de este estudio sugieren que los cuatro aceleradores biológicos son igualmente efectivos en términos del contenido de sodio en el proceso de compostaje empleando el modelo de compostaje chinampero SIRDO. Sin embargo, se necesitan más estudios para evaluar otros indicadores de calidad del compost y confirmar estos resultados.

En la investigación realizada por Toro (2014), obtuvo promedios que oscilaron entre 0,11% a 0,14%, estos son inferiores a los resultados obtenidos, esto puede atribuirse a la diferencia de temperaturas en los puntos de evaluación. Según Jaramillo y Zapata (2008), señalan que el nivel de sodio no deberá sobrepasar el límite de 0,5% sobre su contenido total de manera seca, mayor a esto provoca problemas de salinidad. En teoría los resultados de los cuatro tratamientos y el testigo están dentro del margen indicado anteriormente, siendo esta libre de problemas de exceso de sodio (Salinidad).

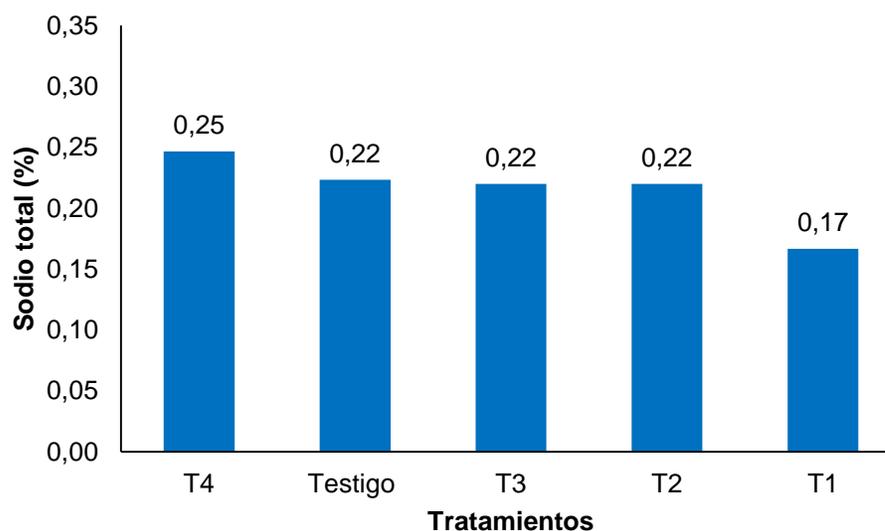


Figura 19. Promedios de la variable sodio total

4.2.17. Rendimiento

En el análisis de varianza de la variable de rendimiento (Cuadro 19) se observa diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) en tratamientos evaluados, esto señala que cada

tratamiento conduce a diferentes rendimientos en proceso de compostaje. El bloque también mostro un efecto altamente significativo ($p < 0,0001$), lo que indica que las condiciones ambientales pueden afectar el proceso de compostaje. El coeficiente de variación es de 0,41%, estando dentro del margen de confiabilidad.

Cuadro 19. Análisis de Varianza de la variable rendimiento

FV	GL	SC	CM	Pr>F
Tratamientos	4	218,369	54,592	<,0001**
Bloque	2	0,412	54,592	<,0001**
Error	8	0,0347	0,004	
Total	14	218,816		
CV(%)= 0,41				

**= Altamente significativo

CV (%)= Coeficiente de variación en porcentaje

En la prueba de media de Duncan al 5% para la variable rendimiento (Figura 20), mostro que el tratamiento T4 (compost con bacteria chinampera) tuvo el rendimiento más alto (23,47kg/50l), seguido del T3 (compost con suero de leche) con 16,37kg/50l. los tratamientos T1 (compost con yogurt), T2 (compost con levadura) tuvieron rendimientos medios similares, que oscilaron entre 14,70kg/50l y 14,13kg/50l, finalmente el Testigo (Materia orgánica + agua) presento e rendimiento más bajo (12,53kg/50l).

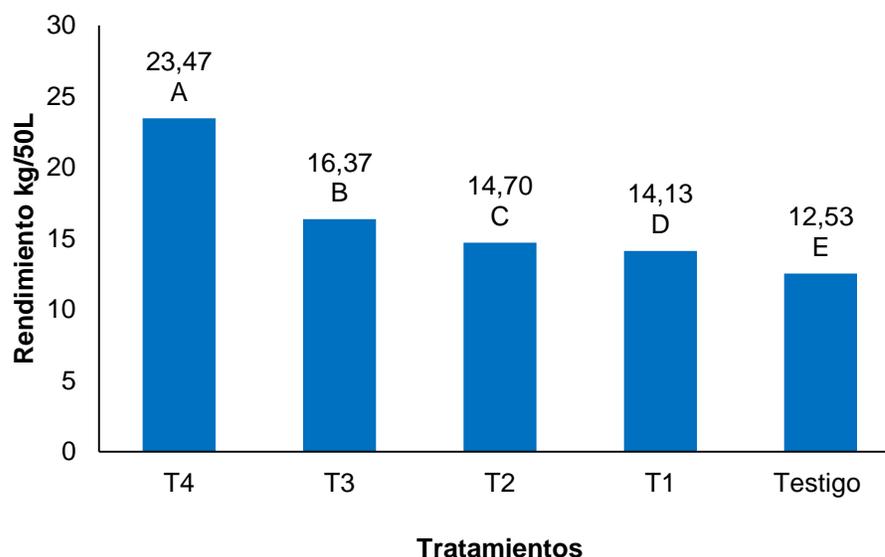


Figura 20. Prueba de media de Duncan al 5% de la variable rendimiento

Estos resultados contradicen la hipótesis planteada, ya que se demostró que los cuatro aceleradores biológicos no producen las mismas características físico-químicas en el compost en función del rendimiento.

Según un estudio previo de Bohórquez *et al.* (2015), el rendimiento es un indicador clave de la calidad del compost, ya que afecta la cantidad de compost producido y, por lo tanto, su uso y comercialización.

Por lo tanto, los resultados de este estudio sugieren que la bacteria chinampera es el acelerador biológico más efectivo para mejorar la calidad del compost en el modelo de compostaje chinampero SIRDO en términos de rendimiento.

4.3. Análisis económico

Los costos empleados en el proceso de compostaje en los diferentes tratamientos se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 20. Costos de producción de los tratamientos

DESCRIPCIÓN	Testigo	T1	T2	T3	T4
Sistema de compostaje SIRDO	450	450	450	450	450
Recolección de residuos orgánicos	24	24	24	24	24
Recolección de estiércol	50	50	50	50	50
Activador biológico	0	6	1	6	120
triturado y apilado de material orgánico	50	50	50	50	50
Volteo y riego	96	42	42	66	48
Tamizado y cosecha	15	15	15	15	15
TOTAL	685	637	632	661	757

Como se observa en el Cuadro 20, el T4 (bacteria chinampera) fue el tratamiento más costoso con un costo de 757Bs, seguido del testigo con 685Bs. Los tratamientos T1 (yogurt), T2 (levadura) y T3 (suero de leche) tuvieron costos de 637Bs, 632Bs y 661Bs respectivamente.

El análisis económico realizado al sistema de compostaje SIRDO y en el proceso de compostaje, se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 21. Relación Beneficio/Costo de los tratamientos

	Testigo	T1	T2	T3	T4
Costo total (Bs)	685	637	632	661	757
Cantidad de Compost 1ra cosecha	12,53	14,13	14,7	16,37	23,47
Precio Compost (Bs7kg)	20	20	20	20	20
Número de cosechas a los 120 días	2	2,3	2,3	2,9	3,9
Cantidad de Compost a los 120 días	40	46	46	58	78
Beneficio Bruto (Bs)	501,2	649,98	676,2	949,46	1830,66
Beneficio Neto (Bs)	-183,8	12,98	44,2	288,46	1073,66
Relación Beneficio Costo	0,73	1,02	1,07	1,43	2,41

Como se observa en el Cuadro 22, la relación Beneficio/Costo (B/C) el tratamiento que resalta es el T4 (bacteria chinampera) con 2,41Bs, lo que significa que por cada 1Bs invertido se gana 1,41Bs, seguido del T3 (suero de leche) con 1,43Bs representando una ganancia de 0,43Bs. Los tratamientos con menor beneficio fueron el T2 (levadura) con 1,07Bs y tratamiento T1 (yogurt) con 1,02Bs, representando ganancias de 0,07Bs y 0,02Bs respectivamente. Los beneficios económicos son superiores a los costos de producción, siendo el Testigo el tratamiento que presenta una B/C inferior a 1, indicando que los costos de producción son superiores a los beneficios.

5. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el presente estudio, nos permite sustentar las siguientes conclusiones:

- Los tratamientos con aceleradores biológicos tuvieron efectos significativamente diferentes el proceso de compostaje, cumpliendo los objetivos de evaluar las características físico-químicas del compost, determinar el tiempo de producción y realizar un análisis económico preliminar.
- En las características físicas, hubo diferencias significativas entre los tratamientos, especialmente en la temperatura interna inicial del compost. Siendo el T4 (compost con bacteria chinampera) el que presentó el mayor promedio con 60°C, comparada con el T3 (compost con suero de leche) con 58,33°C, Testigo (Materia orgánica + agua) con 57,33°C, T2 (compost con levadura) con 46,33°C y T1 (compost con yogurt) con 45,67°C.
- La densidad aparente y real mostró homogeneidad entre los tratamientos, sin diferencias significativas en la densidad real, lo que sugiere que el sistema SIRDO favoreció una descomposición uniforme. El contenido de humedad fue mayor en el tratamiento T3 (compost con suero de leche) con 48,55%. En cuanto a la porosidad, el tratamiento T2 (compost con levadura) tuvo el mayor porcentaje (64,31%) debido al tipo de material orgánico usado.
- El pH y la conductividad eléctrica mostraron variaciones entre los tratamientos. El T4 (compost con bacteria chinampera) tuvo el pH más alto (9,39) y el tratamiento T2 (compost con levadura) presentó la conductividad eléctrica más alta (4.87 dS/m), debido al tipo de material orgánico y el activador biológico empleado. En cuanto a la porosidad, el tratamiento T2 (compost con levadura) tuvo el mayor porcentaje (64,31%) debido al tipo de material orgánico usado. El tratamiento T3 (compost con suero de leche) mostró el mayor porcentaje de materia orgánica (63,65%) y carbono orgánico (36,92%), favorecido por la rapidez de descomposición del suero de leche y factores del sistema SIRDO.
- En la disponibilidad de macro y micronutrientes, el Testigo (Materia orgánica + agua) tuvo el mayor porcentaje de nitrógeno (1,42%), fósforo (0,5%), potasio (2,08%) y calcio

(1.52%), mientras que el tratamiento T3 (compost con suero de leche) presentó más porcentaje en el contenido de magnesio (0,54%) y el T4 (compost con bacteria chinampera) tuvo más porcentaje en sodio (0,25%).

- El tiempo hasta la primera cosecha varió considerablemente entre los tratamientos, con el tratamiento T4 (compost con bacteria chinampera) reduciendo el tiempo a 32 días, en comparación con 46 días para el tratamiento T3 (compost con suero de leche), 51 días para tratamiento T2 (compost con levadura), 53 días para el tratamiento T1 (compost con yogurt) y 60 días para el Testigo (Materia orgánica + agua). Esto indica que la bacteria chinampera es el activador biológico más eficiente en las condiciones del estudio.
- El rendimiento de compost fue mayor en tratamiento T4 (bacteria chinampera 23,47 kg/50l), gracias a la eficiencia de la bacteria chinampera en descomponer la materia orgánica. El análisis económico muestra que el tratamiento T4 presenta una relación beneficio/costo superior (2,41Bs) al resto de los tratamientos, debido principalmente a que se puede obtener una mayor cantidad de cosechas en un menor tiempo, ya que la velocidad de compostaje de la bacteria chinampera tiene mayor eficiencia en la descomposición de materia orgánica. El tratamiento T4 (bacteria chinampera) mostró mejores resultados en rendimiento, tiempo hasta la primera cosecha y relación beneficio/costo, indicando su alta eficiencia y viabilidad económica en el proceso de compostaje bajo el modelo SIRDO.

6. RECOMENDACIONES

En base a los objetivos, resultados y conclusiones del presente trabajo, se pueden formular las siguientes recomendaciones:

- Aunque la bacteria chinampera mostró ser el acelerador más eficaz, se recomienda realizar más estudios para confirmar estos resultados y evaluar otros indicadores de calidad del compost. Es importante considerar las condiciones ambientales locales y adaptar las prácticas de compostaje para optimizar la producción y calidad del compost.
- El uso del sistema de compostaje SIRDO muestra ventajas al momento de compostar, ya que permite regular la temperatura, humedad y aireación para obtener compost de calidad, por lo que se recomienda su uso y aplicación para la práctica de la agricultura rural y urbana.
- El uso de activadores biológicos acelera el tiempo de compostaje e incrementa el rendimiento del mismo, por lo que se recomienda su uso, de acuerdo a sus características técnicas.
- Dentro de los activadores biológicos de mayor eficiencia en la degradación de materia orgánica empleados en el estudio, la bacteria chinampera empleada en el tratamiento T4 (bacteria chinampera), que ha mostrado mejores resultados que vale la pena su aplicación y extensión.
- Finalmente, se recomienda dar a conocer a los agricultores de la zona, el sistema de compostaje con activadores biológicos para su uso y aplicación como medida de mejora a la producción agrícola.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, N., Zhang, B., Bozdar, B., Chachar, S., Rai, M., Li, J., Li, Y., Hayat, F., Chachar, Z., & Tu, P. 2023. The power of magnesium: Unlocking the potential for increased yield, quality, and stress tolerance of horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1285512. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1285512>
- Ahumado, 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.
- Alexander, M. 1981. Introducción a la microbiología del suelo. México.
- 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. 2005. Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica. 48 p.
- APROLAB. 2007. Apoyo a la formación profesional para la inserción laboral en el Perú, producción de abono orgánico con microorganismos eficaces. Lima, Perú. 15-17.
- Bárbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., Riera, N., Bárbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. 2019. Caracterización De Diferentes Compost Para Su Uso Como Componente De Sustratos. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(2), 126-136. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>
- Barradas, A. 2009. Gestión integral de residuos sólidos municipales Estado del Arte. Veracruz, México. 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. 225-233.
- Bohórquez, A., Puentes, Y., Menjivar, J. 2015. Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15, 73. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:398

- Bueno, P., Díaz, M., & Cabrera, F. (2008). Factores que afectan al proceso de Compostaje.
- Callisaya., D. 2019. Elaboración de compost acelerado utilizando cuatro activadores en la localidad de carabuco. Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía.
- Camacho, A. D., Martínez, L., Ramírez Saad, H., Valenzuela, R., Valdés, M., Camacho, A. D., Martínez, L., Ramírez Saad, H., Valenzuela, R., & Valdés, M. 2014. Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. Terra Latinoamericana, 32(4), 291-300.
- Camacho, F., Uribe, L., Newcomer, Q., Masters, K., Kinyua, M. 2018. Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO). Cuadernos de Investigación UNED, 10(2), 330-341.
<https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.2163>
- Campos, R., Brenes, L., Jiménez, M. 2016. Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. Revista Tecnología en Marcha, 29, 25-32.
<https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2982>
- Carrillo, E., 2006. Inoculación de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Entre Ríos Paraná, Argentina. En línea, disponible en.
Biologia2@bioingenieria.edu.ar
- Castillo, L. C. 2020. Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019. Universidad Continental.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8245>
- Castillo, J. 2015. Evaluación de la calidad de abonos ecológicos (Compost, Bokashi y Lumbrifert) elaborados a partir de residuos sólidos orgánicos de la ciudad de El Alto [Thesis]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/6835>
- Chilon, E. 2008. Manual de capacitación acción el compost alimento para el suelo vivo. Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía La Paz, Bolivia, 9pp.

- Chilon, E. 2010. Compostaje alto andino, suelo vivo y cambio climático. Ciencia Agro volumen 2. En línea. Disponible en: www.ibepa.org.
- Chilon, E., (2011) "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.
- Chino, R. 2007. Evaluación del compostaje de estiércol de bovino en alto relieve en la comunidad de Achaca Municipio de Tiahuanaco Universidad Católica Boliviana "San Pablo".
- Corrales, L. C., Antolinez Romero, D. M., Bohórquez Macías, J. A., & Corredor Vargas, A. M. 2015. Bacterias anaerobias: Procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. Nova, 13(24), 55-81.
- Costa, F., Garcia, C., Hernández, T., Polo, A. 1991. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Centro de Edafología y Biología Aplicada de la Segura. Consejo Superior de Investigadores Científicos. Murcia- España. 155 p.
- Delgado, M., Mendoza, L., González, M.I., Tadeo J., Martín, J. 2019. Evaluación Del Proceso De Compostaje De Residuos Avícolas Empleando Diferentes Mezclas De Sustratos. Revista internacional de contaminación ambiental, 35(4), 965-977. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.15>
- Docampo R. 2012. Seminario de actualización técnica frutales de pepita. Instituto Nacional de Investigación agropecuaria Uruguay. Programa de investigación en producción frutícola. Serie de actividades de Difusión 687, 81. Disponible en: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429191112103959.pdf>.
- Escobar, F., Sánchez J., Azero, M. 2012. Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. Acta Nova, 5(3), 390-410.
- FAO. 1991. Producción y uso del composte en ambientes tropicales y sub tropicales Publicación No 56, Roma, Italia. 86-88.

- Fernández, G. 2022. Carbono y nitrógeno o cafés y verdes: El balance adecuado para el compostaje. Composteros. <https://composteros.go.cr/blog>
- Foots, D., 2007. Propiedades de las proteínas del suero de leche. En línea, disponible en. www.alimentacion.org.ar/index.php
- Fundesyam. 2016. Como afrontar el cambio climático, desde la perspectiva comunitaria. 33p.
- García, E., Luna, H., Zamora, E. 2015. Indicadores físicos, químicos y biológicos de la vermiestabilización de residuos orgánicos. Revista Iberoamericana de Ciencias, 2(5), 1-13.
- Gobierno Autónomo Municipal de Guayamerin 2024. En línea, disponible en <https://www.guayamerin.gob.bo/>
- Gonzalez, E., Veroz, O., Gil, J. y Ordoñez, R. 2018. El carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Google Maps 2024. Municipio de Guayamerin. En línea. Disponible en <https://maps.google.com/>
- Hanna. Sf. Temperatura y pH en el proceso de compostaje. Agricultura Hanna Instruments. Recuperado 19 de junio de 2024, de <https://www.hannacolombia.com/agro/blog/item/temperatura-y-ph-en-el-proceso-de-compostaje>
- Haug, R. 1993. Manual práctico de ingeniería del compost. Nueva York. 752 p.
- Jaramillo, G.; Zapata, L., 2008. Aprovechamiento de los residuos orgánicos en Colombia, Universidad de Antioquia, Colombia. 42-49.
- Kalil, S. 2007. Seguimiento del proceso de humificación en compost. Universidad Javeriana. Carrera de microbiología industrial Bogotá, Tesis de Grado.
- Koni, A. 2007. Producción orgánica. “El compost”, consultado en línea el 10 de Julio de 2011, disponible en: <http://produccionorganica.com/index.html>.

- Larreategui, R. 2013. Estudio comparativo en la producción de dos tipos de compost con residuos orgánicos en la pre-parroquia San Gabriel del Baba cantón Santo Domingo. Tesis Ing. Agr. Tsáchilas, Ecuador U.A.
- Lescano C. 2015. Efecto de tres aceleradores de degradación en el tiempo de compostaje utilizando residuos sólidos orgánicos urbanos en Huanchaco, Trujillo”. Facultad de Ciencias Agropecuarias – Escuela Académico Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de Trujillo.
- Loayza R. 2020. Incorporación de tres aceleradores biológicos en residuos de mercados, parques y jardines. Facultad de Ingeniería de Procesos - Escuela Profesional de Ingeniería Química - Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa: 23 – 67.
- Martínez H, E., Fuentes E, J. P., & Acevedo H, E. 2008. Carbono Orgánico Y Propiedades Del Suelo. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 8(1), 68-96.
<https://doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Mamani, E. 2001. Análisis comparativo de tres leguminosas en la elaboración de compost en la reserva del parque nacional Madidi en el Norte de La Paz. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. pp 33-45.
- Mikkelsen, R., sin fecha. Informaciones agronómicas fuentes de magnesio y su ciclo. pp 20-35.
- Miller, R. 2004. Intercambio de genes bacterianos en la naturaleza. Investigación y ciencia México. pp 102-125.
- Mollinedo S. 2009. Determinación de la calidad de compost, elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos en el municipio de Puerto Mayor de Carabuco, provincia Camacho. Facultad de Agronomía – Carrera de Ingeniería Agronómica - Universidad Mayor de San Andrés. 20 – 75.
- Moreno P. y Oñate L. 2001. Producción de un inóculo acelerador de compostaje a partir de bacterias lipolíticas y proteolíticas aisladas de un tren de tratamiento de residuos en una industria láctea. Facultad de Ciencias - Carrera de Microbiología Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana: 22 – 65.

- Naranjo, I. 2013. Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost. Tesis Ing. Agr. UTA. Ambato, Ecuador. 78p.
- Ochoa, R. 2009. Diseños experimentales. La Paz, Bolivia
- Oviedo, R., Marmolejo, L., Torres, P. 2014. Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. Revista internacional de contaminación ambiental, 30(1), 91-100.
- Paty, F. 2004. Evaluación de tres modalidades de compostaje en el altiplano norte Zona Tiahuanaco. Universidad Católica Boliviana "San Pablo". La Paz, Bolivia. pp 37-50.
- 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.
- Pilar, M., 2000. Estudio sobre la preparación del compost estático y su calidad. Universidad de Camagüey, Cuba. pp 12-34.
- PTDI. 2016. Plan Territorial de Desarrollo Integral del Municipio de Guaramerin para vivir bien 2016-2020. 177 p.
- 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.
- Ramos, D., Terry, E. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos Tropicales, 35(4), 52-59.
- Román P., Martínez M., Pantoja A. 2013. Manual del compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. p 22.
- Román, P., Martínez, M., Pantoja, A. 2018. Manual del compostaje del agricultor. FAO, 18 p.

- Robles, J. 2015. Evaluación de parámetros de temperatura, pH y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la Municipalidad provincial de Leoncio Prado. Tesis Ing. Agr. Tingo Maria, Perú U.N.A.S. 59 p.
- Silva, J.; López, P.; Valencia, P., 2000. Recuperación de nutrientes en fase solida a través del compostaje. Cali, Colombia. 20-35
- SIRDOS 2020. Composteo con proceso chinampero. Consultado 20/05/2024. Disponible en <https://es.Slideshare.net/slideshow/sirdoscomposterodesechosorganicosfertilizante/12252996>
- 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.
- Tiquia, 2005. Parámetros microbiológicos como indicadores de la madurez del compost. Departamento de Ciencias Naturales, U. M. 816-828.
- Triviergue, C., Seito, M. 2005. Nuevas Tecnologías de vivero en Nicaragua, bandejas de compost y sustratos mejorados- compost. 1ª edición. Managua, Nicaragua. 23-43
- 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 del departamento de La Paz, Facultad de Agronomía – Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Mayor de San Andrés: 9 – 78.
- Yanasupo K. 2018. Compostaje de proporciones de residuos de cosecha de maíz y estiércol de vacuno, con y sin microorganismos eficientes. Ayacucho 2017.

8. ANEXOS

Anexo 1. Resultados de análisis de la muestra T5R3



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental
 "La Casa del Agricultor"

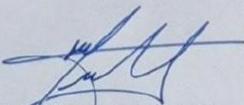
N° PURUMA 329- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T5R3	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T5R3
		Código Laboratorio	LMOS-094

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	37,29	Gravimétrico
pH (1:5)	-	9,70	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	3,15	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm3	0,69	Probeta
Densidad real	g/cm3	1,70	Picnómetro
Porosidad	%	59,62	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	70,94	Ignición
Carbono orgánico total	%	41,15	Ignición
Nitrógeno total	%	0,70	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,23	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	1,38	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	0,32	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,09	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,23	Espectroscopia de emisión atómica



Ing. Miguel Angel Lopez
Responsable técnico
 PURUMA Agricultura Regenerativa





CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CEN. Puruma, 2015. Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com
 Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819

Anexo 2. Resultados de análisis de la muestra T5R2



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental
 "La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 328- 2024

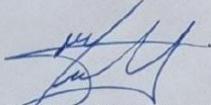
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA
Código de la Muestra	T5R2
Fecha de Muestreo	12/12/2023
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA

Datos del Laboratorio	
Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Código de la muestra	T5R2
Código Laboratorio	LMOS-093

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	39,96	Gravimétrico
pH (1:5)	-	9,78	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	3,16	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm ³	0,66	Probeta
Densidad real	g/cm ³	1,46	Picnómetro
Porosidad	%	54,53	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	31,98	Ignición
Carbono orgánico total	%	18,55	Ignición
Nitrógeno total	%	0,78	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,23	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	1,56	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	0,41	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,11	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,28	Espectroscopia de emisión atómica



Ing. Miguel Angel Lopez
Responsable técnico
 PURUMA Agricultura Regenerativa





CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb. CAN, Viacha - 2015, Cochabamba, Bolivia. Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com
 Redes sociales: Puruma Celular: +591 77732819

Anexo 3. Resultados de análisis de la muestra T5R1



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental
 "La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 327- 2024

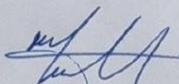
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE COMPOST

Datos del Cliente	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA
Código de la Muestra	T5R1
Fecha de Muestreo	12/12/2023
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA

Datos del Laboratorio	
Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Código de la muestra	T5R1
Código Laboratorio	LMOS-092

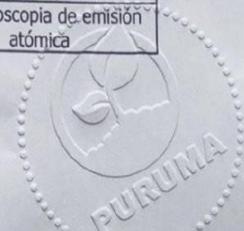
RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	35,33	Gravimétrico
pH (1:5)	-	9,68	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	2,55	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm3	0,67	Probeta
Densidad real	g/cm3	1,58	Picnómetro
Porosidad	%	57,45	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	46,38	Ignición
Carbono orgánico total	%	26,90	Ignición
Nitrógeno total	%	0,89	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,24	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	1,47	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	0,40	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,10	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,23	Espectroscopia de emisión atómica



Ing. Miguel Angel Lopez
Responsable técnico
 PURUMA Agricultura Regenerativa





CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Puruma 2024, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com
 Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819

Anexo 4. Resultados de análisis de la muestra T4R3



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental
 "La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 311- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T4R3	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T4R3
		Código Laboratorio	LMOS-089

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	48,95	Gravimétrico
pH (1:5)	-	8,38	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	3,79	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm ³	0,60	Probeta
Densidad real	g/cm ³	1,36	Picnómetro
Porosidad	%	55,71	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	65,30	Ignición
Carbono orgánico total	%	37,88	Ignición
Nitrógeno total	%	0,78	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,36	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	1,58	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	0,95	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,53	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,22	Espectroscopia de emisión

PURUMA Agricultura Regenerativa

CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819



Anexo 5. Resultados de análisis de la muestra T4R2



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental
 "La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 310- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T4R2	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T4R2
		Código Laboratorio	LMOS-088

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	48,07	Gravimétrico
pH (1:5)	-	8,44	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	3,66	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm3	0,60	Probeta
Densidad real	g/cm3	1,40	Picnómetro
Porosidad	%	56,76	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	64,70	Ignición
Carbono orgánico total	%	37,53	Ignición
Nitrógeno total	%	0,87	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,32	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	1,39	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	1,04	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,48	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,21	Espectroscopia de emisión atómica

Ing. Miguel Angel Lopez
Responsable técnico

PURUMA Agricultura Regenerativa

CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819



Anexo 6. Resultados de análisis de la muestra T4R1



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental

"La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 309- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T4R1	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T4R1
		Código Laboratorio	LMOS-087

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	48,64	Gravimétrico
pH (1:5)	-	8,33	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	3,79	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm ³	0,61	Probeta
Densidad real	g/cm ³	1,63	Picnómetro
Porosidad	%	62,68	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	60,94	Ignición
Carbono orgánico total	%	35,35	Ignición
Nitrógeno total	%	0,74	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,36	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	1,68	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	1,29	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,60	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,23	Espectroscopia de emisión atómica

Ing. Miguel Angel Lopez
Responsable técnico

PURUMA Agricultura Regenerativa

CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819



Anexo 7. Resultados de análisis de la muestra T3R3



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental
 "La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 308- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T3R3	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T3R3
		Código Laboratorio	LMOS-086

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	39,80	Gravimétrico
pH (1:5)	-	8,83	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	4,88	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm ³	0,60	Probeta
Densidad real	g/cm ³	1,64	Picnómetro
Porosidad	%	63,18	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	45,36	Ignición
Carbono orgánico total	%	26,31	Ignición
Nitrógeno total	%	0,72	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,36	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	2,28	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	1,06	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,49	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,23	Espectroscopia de emisión atómica


 Ing. Miguel Angel Lopez
Responsable técnico
 PURUMA Agricultura Regenerativa



CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819

Anexo 8. Resultados de análisis de la muestra T3R2



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental

"La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 307- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T3R2	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T3R2
		Código Laboratorio	LMOS-085

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	39,45	Gravimétrico
pH (1:5)	-	9,07	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	4,70	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm ³	0,60	Probeta
Densidad real	g/cm ³	1,82	Picnómetro
Porosidad	%	66,84	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	44,78	Ignición
Carbono orgánico total	%	25,97	Ignición
Nitrógeno total	%	0,79	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,34	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	2,38	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	1,05	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,45	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,23	Espectroscopia de emisión atómica


Ing. Miguel Angel Lopez
Responsable tecnico
PURUMA Agricultura Regenerativa



CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045 ,Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819

Anexo 9. Resultados de análisis de la muestra T3R1



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio Agro Ambiental

"La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 306- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T3R1	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T3R1
		Código Laboratorio	LMOS-084

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	38,12	Gravimétrico
pH (1:5)	-	9,06	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	5,02	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm ³	0,62	Probeta
Densidad real	g/cm ³	1,68	Picnómetro
Porosidad	%	62,90	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	43,02	Ignición
Carbono orgánico total	%	24,95	Ignición
Nitrógeno total	%	0,89	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,38	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	0,98	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	1,12	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,48	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,20	Espectroscopia de emisión atómica


Ing. Miguel Angel Lopez
Responsable técnico
PURUMA Agricultura Regenerativa



CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819

Anexo 10. Resultados de análisis de la muestra T2R3



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental
 "La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 305- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T2R3	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T2R3
		Código Laboratorio	LMOS-083

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	41,22	Gravimétrico
pH (1:5)	-	8,70	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	2,51	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm ³	0,60	Probeta
Densidad real	g/cm ³	1,39	Picnómetro
Porosidad	%	57,09	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	64,44	Ignición
Carbono orgánico total	%	37,38	Ignición
Nitrógeno total	%	0,81	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,19	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	1,29	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	0,92	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,31	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,10	Espectroscopia de emisión atómica


 Ing. Miguel Ángel López
Responsable técnico
 PURUMA Agricultura Regenerativa



CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819

Anexo 11. Resultados de análisis de la muestra T2R2



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio Agro Ambiental
 "La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 304- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T2R2	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T2R2
		Código Laboratorio	LMOS-082

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	47,34	Gravimétrico
pH (1:5)	-	8,55	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	3,07	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm ³	0,60	Probeta
Densidad real	g/cm ³	1,44	Picnómetro
Porosidad	%	58,60	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	64,90	Ignición
Carbono orgánico total	%	37,65	Ignición
Nitrógeno total	%	0,95	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,27	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	2,38	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	1,06	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,34	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,14	Espectroscopia de emisión atómica

Ing. Miguel Ángel Lopez
Responsable técnico
 PURUMA Agricultura Regenerativa



CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819

Anexo 12. Resultados de análisis de la muestra T2R1



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental

"La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 303- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T2R1	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T2R1
		Código Laboratorio	LMOS-081

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	45,71	Gravimétrico
pH (1:5)	-	8,44	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	4,03	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm ³	0,59	Probeta
Densidad real	g/cm ³	1,75	Picnómetro
Porosidad	%	66,11	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	52,74	Ignición
Carbono orgánico total	%	30,59	Ignición
Nitrógeno total	%	0,70	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,51	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	2,38	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	1,64	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,54	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,26	Espectroscopia de emisión atómica


Ing. Miguel Angel Lopez
Responsable técnico
PURUMA Agricultura Regenerativa



CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819

Anexo 13. Resultados de análisis de la muestra T1R3



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental
 "La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 302- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T1R3	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T1R3
		Código Laboratorio	LMOS-080

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	44,68	Gravimétrico
pH (1:5)	-	8,19	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	3,41	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm3	0,76	Probeta
Densidad real	g/cm3	1,38	Picnómetro
Porosidad	%	45,03	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	61,52	Ignición
Carbono orgánico total	%	35,68	Ignición
Nitrógeno total	%	0,85	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,50	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	2,28	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	1,60	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,50	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,25	Espectroscopia de emisión atómica


 Ing. Miguel Angel Lopez
Responsable técnico
 PURUMA Agricultura Regenerativa



CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819

Anexo 14. Resultados de análisis de la muestra T1R2



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio AgroAmbiental
 "La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 301- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T1R2	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T1R2
		Código Laboratorio	LMOS-079

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	46,91	Gravimétrico
pH (1:5)	-	8,43	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	3,30	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm3	0,52	Probeta
Densidad real	g/cm3	1,52	Picnómetro
Porosidad	%	65,61	Calculo Aritmético
Materia orgánica	%	63,56	Ignición
Carbono orgánico total	%	36,87	Ignición
Nitrógeno total	%	1,46	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,38	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	1,78	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	1,37	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,38	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,19	Espectroscopia de emisión atómica


 Ing. Miguel Angel Lopez
Responsable técnico
 PURUMA Agricultura Regenerativa



CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb. CBN, Viacha #2045, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819

Anexo 15. Resultados de análisis de la muestra T1R1



PURUMA Agricultura Regenerativa
Laboratorio Agro Ambiental
 "La Casa del Agricultor"

N° PURUMA 300- 2024

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE COMPOST

Datos del Cliente		Datos del Laboratorio	
Cliente	VLADIMIR O. DE LA CRUZ MIRANDA	Responsables de análisis	Ing. Daniela Tola Garfias ANALISTA DE LABORATORIO
Código de la Muestra	T1R1	Fecha de recepción de muestra	14/12/2023
Fecha de Muestreo	12/12/2023	Fecha de emisión de informe	03/01/2024
Ubicación de la muestra	Departamento: BENI Municipio: GUAYARAMERIN Provincia: VACA DIEZ Comunidad: SANTA LUCIA	Código de la muestra	T1R1
		Código Laboratorio	LMOS-078

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de humedad	%	49,10	Gravimétrico
pH (1:5)	-	8,04	Potenciometría
Conductividad eléctrica	dS/m	3,55	Potenciometría
Densidad aparente	g/cm ³	0,54	Probeta
Densidad real	g/cm ³	1,52	Picnómetro
Porosidad	%	64,49	Calculo Aritmético
Materia Orgánica	%	56,92	Ignición
Carbono orgánico total	%	33,02	Ignición
Nitrógeno total	%	1,95	Kjeldahl
Fosforo total	%	0,48	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio total	%	2,18	Espectroscopia de emisión atómica
Calcio total	%	1,59	Espectrofotómetro de absorción atómica
Magnesio total	%	0,49	Espectrofotómetro de absorción atómica
Sodio total	%	0,23	Espectroscopia de emisión atómica

Ing. Miguel Angel Lopez

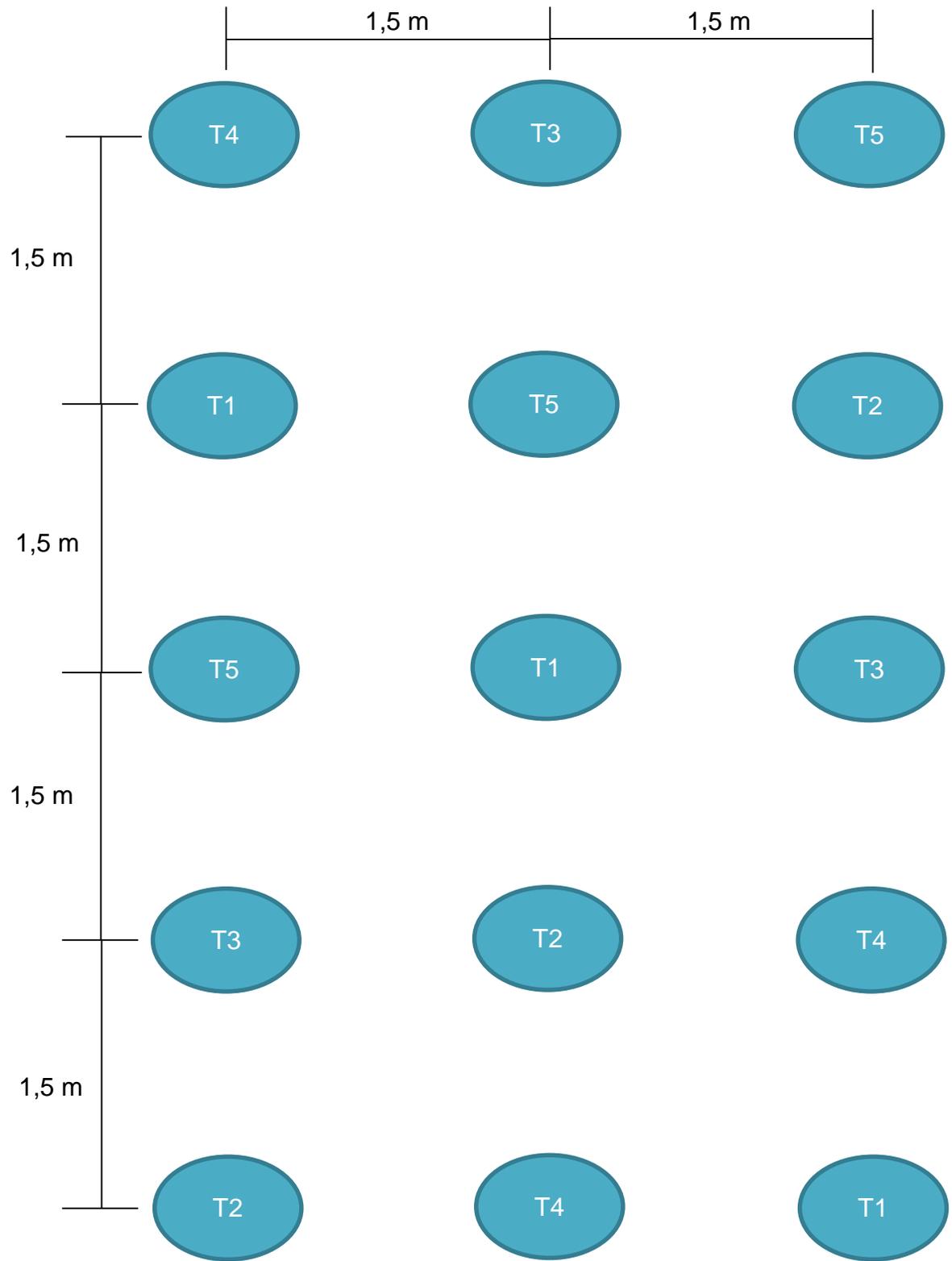
Responsable técnico
 PURUMA Agricultura Regenerativa



CONTACTOS: Empresa: Avenida Hacia el mar, Urb: CBN, Viacha #2045, Correo Electrónico: puruma.bolivia@gmail.com

Redes sociales: Puruma Celular: +591 74015451; +591 77732819

Anexo 16. Croquis del experimento



Anexo 17. Costos de producción

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO UNIT. BS	Testigo		T1		T2		T3		T4	
			CANTIDAD	COSTO (Bs.)								
Sistema de compostaje SIRDO	PIEZA	150	3	450	3	450	3	450	3	450	3	450
Recolección de residuos orgánicos	HORAS	3	8	24	8	24	8	24	8	24	8	24
Recolección de estiércol	JORNAL	50	1	50	1	50	1	50	1	50	1	50
Activador biológico	LITRO	1	0	0	6	6	1	1	6	6	3	120
triturado y aplicado de material orgánico	JORNAL	50	1	50	1	50	1	50	1	50	1	50
Volteo y riego	HORAS	6	16	96	7	42	7	42	11	66	8	48
Tamizado y cosecha	HORAS	3	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15
TOTAL				685		637		632		661		757

Anexo 18. Pesaje de materia orgánica



Anexo 19. Preparado de activadores biológicos



Anexo 20. Mezcla de materia orgánica de los tratamientos



Anexo 21. Armado de composteras SIRDO**Anexo 22. Adición de activadores biológicos****Anexo 23. Instalación del área experimental**